

# **Anhang zur Dissertation**

## **Die Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung, die der Konzeption Chemie im Kontext folgt.**

Eine zur Erlangung des akademischen Grades eines

### **Doktors der Pädagogik**

dem Fachbereich Chemie der

Universität Dortmund

vorgelegte

### **Dissertation**

von

Ingrid Hoffmann

1. Gutachter: Prof. Dr. B. Ralle

2. Gutachterin: Prof. Dr. I. Melle

## Inhaltsverzeichnis des Anhanges

<b>1. Anhang L zu Kapitel 3.3</b>	<b>L</b>	<b>1</b>
1.1. Rahmenplan für den Kontext „Atmen unter Extrembedingungen“	L	2
1.2. Die Lernstationen	L	5
• Blackout	L	6
• Taucherflöhe	L	12
• Barotrauma	L	21
• Sauerstofftherapie	L	28
• Atmen in großen Höhen	L	35
• Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen	L	42
• Puffer im Vergleich	L	51
1.3. Internetadressen und Informationen	L	60
1.4. Erste Erprobung	L	70
1.5. Klausur zum Kontext „Atmen unter Extrembedingungen“	L	74
1.6. Exemplarische Langzeithausaufgabe	L	80
<b>2. Anhang C zu Kapitel 4.4</b>	<b>C</b>	<b>1</b>
2.1. Datenaufbereitung der Gruppe k1	C	2
• Transkription der Filmaufnahme k1	C	3
• Auswertung der Filmaufnahme k1	C	12
• Facetten des Lernens und Erinnerns	C	15
• Beobachtungsbogen k1	C	17
• Lehrernetz	C	19
• Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C	20
• Schülernetz k1	C	23
• Datenaufbereitung 1: k1	C	24
• Datenaufbereitung 2: k1	C	27
• Datenaufbereitung 3: k1	C	35
• Datenaufbereitung 4: k1	C	36

2.2.	Datenaufbereitung Gruppe kg	C	39
	• Transkription der Filmaufnahme kg	C	40
	• Auswertung der Filmaufnahme kg	C	48
	• Beobachtungsbogen kg	C	51
	• Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C	53
	• Lehrernetz	C	55
	• Schülernetz kg	C	56
	• Datenaufbereitung 1: kg	C	57
	• Datenaufbereitung 2: kg	C	61
	• Datenaufbereitung 3: kg	C	68
	• Datenaufbereitung 4: kg	C	69
2.3.	Datenaufbereitung Gruppe bz	C	72
	• Transkription der Filmaufnahme bz	C	73
	• Auswertung der Filmaufnahme bz	C	81
	• Beobachtungsbogen bz	C	83
	• Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C	86
	• Lehrernetz	C	88
	• Schülernetz bz	C	89
	• Datenaufbereitung 1: bz	C	90
	• Datenaufbereitung 2: bz	C	95
	• Datenaufbereitung 3: bz	C	101
	• Datenaufbereitung 4: bz	C	102
2.4.	Datenaufbereitung Gruppe k2	C	105
	• Transkription der Filmaufnahme k2	C	106
	• Auswertung der Filmaufnahme k2	C	121
	• Beobachtungsbogen k2	C	124
	• Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C	126
	• Lehrernetz	C	128
	• Schülernetz k2	C	129
	• Datenaufbereitung 1: k2	C	130
	• Datenaufbereitung 2: k2	C	136
	• Datenaufbereitung 3: k2	C	143
	• Datenaufbereitung 4: k2	C	144

2.5.	Datenaufbereitung des Referenznetzes	C	147
	• Lehrernetz	C	148
	• Datenaufbereitung 1	C	149
	• Datenaufbereitung 3	C	151
	• Datenaufbereitung 4	C	152
	• Flussdiagramme im Vergleich	C	156
2.6.	Auswertungsgespräch der Beobachter und Beobachterinnen	C	159
2.7.	Überprüfung der Filmtranskriptionen mit den Beobachtern	C	166
2.8.	Datenaufbereitung der Gruppe JEJC	C	178
	• Transkription der Gruppendiskussion JEJC	C	179
	• Aktivitätsprofil JEJC	C	181
	• Leitfragen an den Beobachter	C	181
	• Schülernetz JEJC	C	182
2.9.	Datenaufbereitung der Gruppe SIF	C	183
	• Transkription der Gruppendiskussion SIF	C	184
	• Aktivitätsprofil SIF	C	185
	• Leitfragen an den Beobachter	C	185
	• Schülernetz SIF	C	186
2.10.	Datenaufbereitung der Gruppe HUGO	C	187
	• Transkription der Gruppendiskussion HUGO	C	188
	• Aktivitätsprofil HUGO	C	190
	• Leitfragen an den Beobachter	C	190
	• Schülernetz HUGO	C	191
2.11.	Datenaufbereitung der Gruppe KRÜCKE	C	192
	• Transkription der Gruppendiskussion KRÜCKE	C	193
	• Aktivitätsprofil KRÜCKE	C	194
	• Leitfragen an den Beobachter	C	194
	• Schülernetz KRÜCKE	C	195
2.12.	Aussagen der Netze im Vergleich	C	197
	• Referenznetz KSN	C	196



2.13.	Befragung zum Concept - Mapping	C	200
	• Fragebogen	C	201
	• Mittelwerte und Streuungen	C	203
	• Korrelationsanalyse	C	206
	• Faktorenanalyse	C	207
2.14.	Leistungstest	C	209
	• Aufgabenstellung und Ergebnisse	C	210
	• Transkription der Gruppendiskussion	C	214
<b>3.</b>	<b>Anhang F zu Kapitel 4.3</b>	<b>F</b>	<b>1</b>
3.1.	Fragebogen II	F	2
3.2.	Fragebogen I	F	7
3.3.	Codierung der Fragebögen	F	11
3.4.	Mittelwerte zum Fragebogen II	F	12
3.5.	Korrelationsanalyse zum Fragebogen II	F	18
3.6.	Aufbereitung der Daten zur Korrelationsanalyse II	F	29
3.7.	Mittelwerte zum Fragebogen I	F	33
3.8.	T – Werte	F	38
3.9.	Faktorenanalyse zum Fragebogen I	F	48
3.10.	Faktorenanalyse zum Fragebogen II	F	50
<b>4.</b>	<b>Anhang Abbildungen zu Kapitel 3.4</b>	<b>B</b>	<b>1-5</b>
<b>5.</b>	<b>Anhang Internetadressen zu den Kapiteln 3.3 und 3.4</b>		

**1. Anhang L zu Kapitel 3.3:**

<b>Der Lernzyklus - eine Kontextgestaltung</b>	<b>L</b>	<b>1</b>
1.1 Der Rahmenplan für den Kontext	L	2
1.2 Die Lernstationen	L	5
1.3 Internetadressen und Informationen	L	60
1.4 Die erste Erprobung	L	70
1.5 Die Klausur zum Kontext	L	74
1.6 Exemplarische Langzeithausaufgabe	L	80

## **1.1 Der Rahmenplan für den Kontext**

**„Atmen unter Extrembedingungen“**

**L 2**

## Rahmenplan für den Kontext ‚Atmen unter Extrembedingungen‘

Phase	Leitfrage (LF)/Aspekte der Basiskonzepte (BK)	Vorkenntnisse	Methode	Intention
<u>Begegnung</u>	,Taravana', Schnupperkurs ‚Tauchen‘			motivieren, narrativ einführen, Vorkenntnisse aktivieren
<u>Neugier</u>	Warum treten Beschwerden am Ende der Tauchgänge auf? Welchen Einfluss hat die Tauchtiefe? Woher kommt die Gasblasenbildung? Was sind die Ursachen.....? Warum ?		Mind Map	
<u>Erarbeitung</u>	<u>Taucherflöhe</u> <u>LF<sup>1</sup></u> : Woher kommen nach dem Tauchgang die Stickstoffblasen im arteriellen Kreislauf und im Gehirn?  <u>BK<sup>2</sup></u> : Löslichkeitsgleichgewicht von N <sub>2</sub> und seine Beschreibung auf der Teilchenebene; das Gesetz von Henry, eine mathematische Beschreibung von Löslichkeitsgleichgewichten;	<i>aus Kontext Ozeane:</i>  unvollständig ablaufende und umkehrbare Reaktionen, die c- T- p- abhängig sind.	Gruppenarbeit Experimente	Vorkenntnisse aktivieren; Wissen anwenden; problematisieren; recherchieren
	<u>Barotrauma</u> <u>LF</u> : Warum wölbt sich das Trommelfell nach innen, wenn Sie erkältet sind und abtauchen?  <u>BK</u> : Gesetz von Boyle-Mariotte; Auswirkungen von Druckänderungen auf luftgefüllte Hohlräume im Körper;	<i>aus dem Chemieunterricht der SEK I</i>	Gruppenarbeit Experimente	Vorkenntnisse aktivieren; Wissen anwenden; problematisieren; recherchieren
	<u>Blackout</u> <u>LF</u> : Warum kann eine Hyperventilation vor dem Tauchgang eine plötzliche Ohnmacht auslösen?  <u>BK</u> : Die wechselseitige Beeinflussung des Löslichkeitsgleichgewichtes von Kohlenstoffdioxid mit der Protolyse von Kohlensäure; das Prinzip von Le Chatelier als prognostisches Maß; bewusste Hyperventilation – verstärkter Export von Kohlenstoffdioxid – Alkalose – Reduktion des Atemantriebs	<i>aus Kontext Ozeane:</i>  unterschiedliche Löslichkeit von CO <sub>2</sub> in saurem oder alkalischen Oberflächenwasser	Gruppenarbeit Experimente	Vorkenntnisse aktivieren; Wissen anwenden; problematisieren; recherchieren
	<u>Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall</u> <u>LF</u> : Warum hilft eine Sauerstoffüberdrucktherapie im Fall einer Dekompressionskrankheit?  <u>BK</u> : Löslichkeitsgleichgewicht von Sauerstoff, das Gesetz von Henry; das Gesetz von Dalton; die Bindung von O <sub>2</sub> an ein Transportmolekül, eine Reaktion, die im Gleichgewicht endet mit Konzentrationen im Gleichgewicht, die druckabhängig sind.	<i>aus Station Taucherflöhe</i>  Löslichkeitsgleichgewicht von N <sub>2</sub> , das Gesetz von Henry,	Gruppenarbeit Experimente	Vorkenntnisse aktivieren; Wissen anwenden; problematisieren; recherchieren
	<u>Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen</u> <u>LF</u> : Welche Faktoren bestimmen den pH – Wert des Blutes?  <u>BK</u> : Hyperventilation bei pH – Werterniedrigung des Blutes; Ereigniskette: pH – Werterniedrigung durch Säureeintrag – erhöhte Kohlenstoffdioxidlöslichkeit – verstärkter Atemantrieb – Massenwirkungsgesetz; Henderson – Hasselbalch - Gleichung	<i>aus Kontext Ozeane:</i>  geringere Löslichkeit von CO <sub>2</sub> in Salzsäure	Gruppenarbeit Experimente	Vorkenntnisse aktivieren; Wissen anwenden; problematisieren; recherchieren

<sup>1</sup> LF: Leitfrage

<sup>2</sup> BK: Basiskonzepte

Phase	Leitfrage (LF)/Aspekte der Basiskonzepte (BK)	Vorkenntnisse	Methode	Intention
	<p><u>Atmen in großen Höhen</u>  <u>LF:</u> <i>Wie lässt sich die Höhenkrankheit erklären?</i></p> <p><u>BK:</u> Ereigniskette: O<sub>2</sub> – Mangel, Hyperventilation, Alkalose, Kompensation durch Hydrogencarbonatausscheidung, pH – Abhängigkeit der O<sub>2</sub> – Bindung des Hämoglobins</p>	<p>aus Station  <i>Blackout und aus Station Blutpuffer</i></p> <p>respiratorische Alkalose, Henderson – Hasselbalch - Gl.</p>	<p>Gruppenarbeit            Experimente</p>	<p>Wissen anwenden, festigen, erweitern; recherchieren</p>
Vertiefung und Vernetzung	<p><u>Turboeffekt der Carboanhydrase</u>  <u>LF:</u> Warum ist in Wasser 99,8% des CO<sub>2</sub> physikalisch gelöst und nur 0,2% als Hydrogencarbonat? Warum sind im Blut 80% des Kohlenstoffdioxids in Hydrogencarbonat überführt und nur 12% physikalisch gelöst?  <u>BK:</u> Beschleunigung der Gleichgewichtseinstellung durch die Carboanhydrase</p>	<p>aus den Stationen ‚Blackout‘, ‚Blutpuffer‘ und ‚Puffervergleich‘</p> <p><i>Einführung in das Reaktionskinetik-konzept</i></p>	<p>Gruppenarbeit            Experimente</p>	<p>Wissen anwenden, festigen, erweitern; recherchieren</p>
	<p><u>Puffer im Vergleich</u>  <u>LF:</u> <i>Warum bleibt der pH – Wert im Blut trotz Säureeintrag konstant?</i></p> <p>Pufferkapazität in Abhängigkeit vom Stoffmengenverhältnis Pufferbase zur Puffersäure; rechnerische Bestätigung und damit Bestätigung des MWG</p>		<p>Gruppenarbeit            Experimente</p>	<p>Wissen anwenden, festigen, erweitern; recherchieren</p>

<b>1.2</b>	<b>Die Lernstationen</b>	<b>L 5</b>
	• Blackout	L 6
	• Taucherflöhe	L 12
	• Barotrauma	L 21
	• Sauerstofftherapie	L 28
	• Atmen in großen Höhen	L 35
	• Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen	L 42
	• Puffer im Vergleich	L 51

## Station 1

### „Blackout“ – plötzliche Ohnmacht

Ein Schwimmer wurde bewusstlos an die Wasseroberfläche getrieben. Bevor er den Wettkampf mit seinem Freund im Streckentauchen begann, hatte er mehrfach kurz hintereinander verstärkt ein- und ausgeatmet, also hyperventiliert, um seine Tauchzeit zu verlängern und damit das Gefühl der Atemnot hinauszuzögern. Ein erhöhter Kohlenstoffdioxidpartialdruck ist verantwortlich für das Gefühl der Atemnot, das als Auftauchsignal den Zeitpunkt des Auftauchens bestimmt.

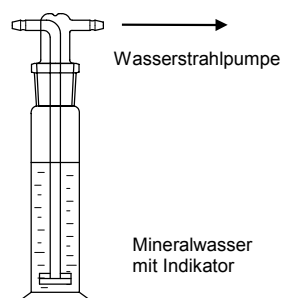
**Warum kann eine Hyperventilation vor dem Tauchgang eine plötzliche Ohnmacht auslösen? Untersuchen Sie die Auswirkungen der Hyperventilation in den folgenden Simulationsexperimenten<sup>3/4</sup>:**

#### Experiment 1<sup>5</sup>

##### Geräte und Chemikalien

Waschflasche, Universalindikatorlösung pH 5 (Merck Nr. 6140), Wasser, Wasserstrahlpumpe

##### Versuchsaufbau



##### Durchführung

Geben Sie nicht perlendes Mineralwasser in eine Waschflasche und fügen Sie mit Hilfe einer Pasteurpipette Universalindikator bis zur deutlichen Färbung hinzu..

Verbinden Sie die Waschflasche mit einer Wasserstrahlpumpe und stellen Sie die Pumpe für zwei Minuten an.

<sup>3</sup> H. Wambach (Hrsg): Materialienhandbuch Kursunterricht Chemie, Bd 3, Kinetik – Gleichgewichte Massenwirkungsgesetz, Aulis Verlag, 1993, S. 186 –187.

<sup>4</sup> W. Jansen, B. Ralle, R. Peper: Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht. AulisVerlag, Köln, 1984, S. 153.

<sup>4</sup> H. Wambach (Hrsg): Materialienhandbuch Kursunterricht Chemie, Bd 3, Kinetik – Gleichgewichte Massenwirkungsgesetz, Aulis Verlag, 1993, S. 186 –187.

<sup>5</sup> H. Wambach (Hrsg): Materialienhandbuch Kursunterricht Chemie. Kinetik – Gleichgewichte Massenwirkungsgesetz.. Aulis Verlag, 1993, S. 186 –187.

**Experiment 2**<sup>6</sup>Geräte und Chemikalien

Kolbenprober mit Hahn, Universalindikatorlösung pH = 5 (Merck Nr. 6130), Kohlenstoffdioxid, Becherglas, verd. Ammoniaklösung, Tropfpipette

Durchführung

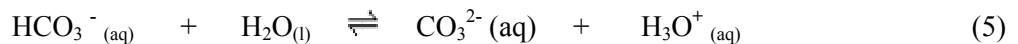
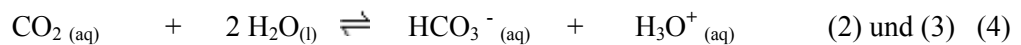
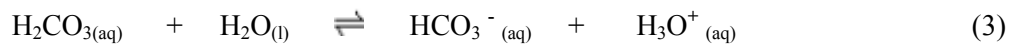
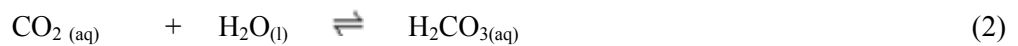
- Geben Sie in 200 ml Aqua dest. etwa 2 ml Universalindikatorlösung pH = 5 und fügen Sie mit der Tropfpipette einige Tropfen einer Ammoniaklösung  $c = 0,1 \text{ mol/l}$  hinzu, so dass der Indikator eine kräftige rote Farbe bekommt.
- In einen ausnahmsweise mit Motorenöl gefetteten Kolbenprober mit Hahn füllen Sie 10 ml Kohlenstoffdioxid ein.
- Saugen Sie 20 ml der zuvor vorbereiteten Indikatorlösung hinzu. Anschließend schütteln Sie den Kolbenprober bei geschlossenem Hahn und drücken dann den Kolben kräftig ein.
- Danach ziehen Sie den Kolben soweit zurück, dass ein großer Unterdruck entsteht.

Beobachtungen

1. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Auswertung

2. Deuten Sie die Farbänderungen des Indikators mit Hilfe von Gleichgewichtsbetrachtungen. Gehen Sie davon aus, dass Kohlenstoffdioxid mit Wasser unter Bildung von Oxoniumionen nach folgenden Gleichgewichtsreaktionen reagiert:



3. Erklären Sie die Auswirkungen der Hyperventilation auf die vorgegebenen Gleichgewichte (1), (2) und (3).
4. Wie verändert sich der pH – Wert im Blut nach einer Hyperventilation und welche Folgen sind damit verknüpft?
5. Warum wird der Schwimmer bewusstlos?
6. Wenn Sie 4 m tief ohne Gerät tauchen, dann ausatmen, 5 Sekunden warten und wieder auftauchen, dann spüren Sie in der Regel ein leichtes Kribbeln in den Fingern. Nicht selten geht damit ein kurzfristiger Schwindel einher und es stellen sich Schweregefühle in den Oberschenkeln ein. Geben Sie an, wie sich

- Wasserdruck
- Brustvolumen
- Sauerstoffpartialdruck
- und Sauerstoffversorgung

beim Abstieg und beim Aufstieg verändern und erklären Sie die leichten Beschwerden, die sich einstellen können.

<sup>6</sup> W. Jansen, B. Ralle, R. Peper: Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht. AulisVerlag, Köln, 1984, S. 153.



## Informationen

### *Die Kohlenstoffdioxidaufnahme im Blut und die Abgabe in die Lunge*

Das arterielle Blut tritt mit einem Kohlenstoffdioxidpartialdruck von ca. 5,3 kPa in die Gewebekapillare ein. In den Zellen der Kapillarumgebung liegt infolge der ständigen Kohlenstoffdioxidproduktion ein höherer Partialdruck vor, so dass die physikalisch gelösten Kohlenstoffdioxidmoleküle im Konzentrationsgradienten vom Gewebe in die Kapillaren diffundieren. Im Gegensatz zum Wasser ist im Kapillarblut nur ein geringer Teil des Kohlenstoffdioxids physikalisch gelöst. Der überwiegende Teil reagiert im Blut weiter gemäß der Gleichungen (1),(2), (3) bzw. 4.

Die nachfolgende chemischen Reaktion



ist im Blut zu vernachlässigen<sup>7</sup>.

Aufgrund des niedrigen Kohlenstoffdioxidpartialdruckes in den Lungenbläschen laufen die oben beschriebenen Prozesse in umgekehrter Richtung ab. Kohlenstoffdioxid wird freigesetzt und kann ausgeatmet werden.

### *Hyperventilation*

Wird vor dem Abtauchen- bis zu einer Minute- schnell und tief durchgeatmet, ohne dass es der momentane Energiebedarf erfordert, so nennt man das Hyperventilation (wörtlich übersetzt: Überatmung)<sup>8</sup>. Der Sauerstoffgehalt wird während dieses Vorganges nur unwesentlich erhöht. Da das Hämoglobin im arteriellen Blut bereits in Ruhe ohne vorausgegangene Hyperventilation zu 97% mit Sauerstoff gesättigt ist, macht sich der durch die Hyperventilation gestiegene Sauerstoffpartialdruck in den Lungenbläschen für die Dauer des bewussten Atemanhaltens kaum bemerkbar<sup>9</sup>. Durch Hyperventilation kann die Dauer des bewussten Atemanhaltens in geringer Wassertiefe auf maximal 300 s verlängert werden<sup>10</sup>, da das Atemzentrum primär durch einen erhöhten Kohlenstoffdioxidpartialdruck im Blut angesprochen wird.

Die Hyperventilation bewirkt das, was sich ein Streckentaucher wünscht: Die Tauchzeit kann verlängert werden, da das Atemzentrum verspätet angesprochen wird. Auslösender Reiz für die Atmung ist der Kohlenstoffdioxidpartialdruck im Blut. Der Taucher hat nicht das Bedürfnis zu atmen und bleibt länger unter Wasser als der sich einstellende Sauerstoffmangel es möglicherweise zulässt. Der Wunsch, die Tauchzeit zu verlängern ist daher nicht risikolos. Die Gefahr besteht darin, dass der geringe Sauerstoffpartialdruck, der letztlich zur Bewusstlosigkeit führt, nicht früh genug bemerkt wird. Die Hyperventilation führt aber nicht nur dazu, den Atem länger anzuhalten, sondern hat noch weitere Effekte: Durch den veränderten Kohlenstoffdioxidpartialdruck werden die Hirngefäße verengt. Der Sauerstoffmangel wird zusätzlich verstärkt.

Die pH – Wertänderung, die ebenfalls mit einer Hyperventilation einher geht, führt zur einer Inaktivierung von Calciumionen im Blut und damit zu einer vermehrten Reizbarkeit von Nerven und Muskulatur. Wahrgenommen wird dann häufig ein Kribbeln in den Händen und ein pelziges Gefühl um den Mund herum.

<sup>7</sup> R. F. Schmidt, G. Thews, F.Lang: Physiologie des Menschen. Springer, Berlin. Heidelberg, New York, 2000, S.701-703.

<sup>8</sup> O.F. Ehm: Tauchen. 5. überarbeitete, erweiterte Auflage, Müller Rüschnikon Verlags AG, Cham Stuttgart-Wien, 1991, S. 82 -85

<sup>9</sup> ebenda, S. 264

<sup>10</sup> H. Marees: Sportphysiologie - Medizin heute 6. Auflage, Tropon, Köln-Mühlheim1989, S. 263.

*Die Modellvorstellung für ein chemisches Gleichgewicht und das ‚Prinzip von Le Chatelier‘*

Chemische Gleichgewichte sind dynamische Gleichgewichte mit folgenden Kennzeichen:

- Die Reaktion ist bis zum Gleichgewichtszustand unvollständig abgelaufen. Im Endzustand liegen Edukte und Produkte nebeneinander vor.
- Die Konzentrationen der beteiligten Stoffe bleiben konstant, wenn die Bedingungen sich nicht ändern.
- Da sich die Stoffmengen bzw. Stoffmengenkonzentrationen der Reaktionspartner im Gleichgewicht nicht ändern, ist anzunehmen, dass die Geschwindigkeiten von Hin – und Rückreaktion gleich sind.
- Ein dynamisches Gleichgewicht kann sich an veränderte Bedingungen anpassen. Das System reagiert auf äußere Bedingungen.
- Für ein dynamisches Gleichgewicht ist das ‚Prinzip von Le Chatelier‘ gültig:
- Das System wirkt einer Änderung der Umgebungsbedingungen entgegen <sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> P. W. Atkins, J. A. Beran: Chemie einfach alles. Zweite Auflage, VCH, Weinheim, 1998, S. 433.

## Informationen für den Lehrer zur Station 3

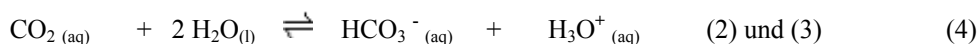
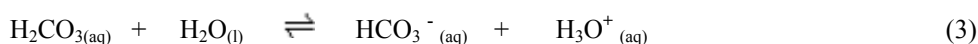
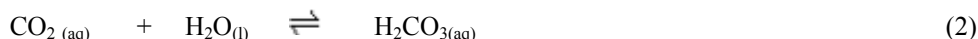
### ,Blackout' – plötzliche Ohnmacht

#### Aufgaben

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen

#### Auswertung

- Deuten Sie die Farbänderungen des Indikators mit Hilfe von Gleichgewichtsbetrachtungen. Gehen Sie davon aus, dass Kohlenstoffdioxid mit Wasser unter Bildung von Oxoniumionen nach folgenden Gleichgewichtsreaktionen reagiert:



- Erklären Sie die Auswirkungen der Hyperventilation auf die vorgegebenen Gleichgewichte (1), (2) und (3).
- Wie verändert sich der pH – Wert im Blut nach einer Hyperventilation und welche Folgen sind damit verknüpft?
- Wenn Sie 4 m tief ohne Gerät tauchen, dann ausatmen, 5 Sekunden warten und wieder auftauchen, dann spüren Sie in der Regel ein leichtes Kribbeln in den Fingern. Nicht selten geht damit ein kurzfristiger Schwindel einher und es stellen sich Schweregefühle in den Oberschenkeln ein. Geben Sie an, wie sich
  - Wasserdruck
  - Brustvolumen
  - Sauerstoffpartialdruck
  - und Sauerstoffversorgung

beim Abstieg und beim Aufstieg verändern und erklären Sie die leichten Beschwerden, die sich einstellen können.

#### Lösungen

- ad 1 Experiment 1: Das Mineralwasser ist rot gefärbt. Wird die Wasserstrahlpumpe angestellt, färbt sich die Lösung nach ca. zwei Minuten grün. Experiment 2: Bei Druckerhöhung färbt sich der Indikator rot, bei Druckminderung färbt er sich grün.
- ad 2 Experiment 1: Die Lösung wird leicht alkalisch. Mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe wird im Gasraum oberhalb der Flüssigkeit ein Unterdruck erzeugt. Die in der Waschflasche sich befindlichen Gleichgewichte(1), (2), (3) (4) und (5) werden gestört und das System der Gleichgewichte passt sich der veränderten Umgebungsbedingung an. Es stellen sich veränderte Gleichgewichtslagen ein. Die Partialdruckerniedrigung von Kohlenstoffdioxid im Gasraum vermindert die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid. Dies wiederum führt durch Reaktion von Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen zu einer Neueinstellung des Gleichgewichtes (3) bzw. (4). Im Mineralwasser liegt im sich neu einstellenden Gleichgewicht durch Änderung des Partialdruckes von Kohlenstoffdioxid eine geringere Oxoniumionenkonzentration vor. Der pH- Wert ist erhöht.
- ad 3 Experiment 2: Durch Druckerhöhung erhöht sich die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid, der pH – Wert sinkt. Wird der Druck erniedrigt, nimmt die Löslichkeit ebenfalls ab und der pH – Wert steigt.

- ad 4 Wird willkürlich verstärkt ein- und ausgeatmet, so wie es für eine Hyperventilation typisch ist, wird die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid erniedrigt. Diese Änderung ruft eine Störung der im Blut befindlichen Gleichgewichte (2), (3) bzw. (4) hervor, so dass sich neue Gleichgewichte einstellen mit verminderten Stoffmengen von Oxoniumionen und Hydrogencarbonationen.
- ad 5 Wird die Oxoniumionenkonzentration reduziert, erhöht sich der pH – Wert, denn der pH – Wert ist definiert als negativ dekadischer Logarithmus der Oxoniumionenkonzentration oder als der Betrag des Exponenten der Oxoniumionenkonzentration -  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-\text{pH}}$  mol/l. Die Hyperventilation führt zunächst zu einer geringeren Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid im Blut. Das wiederum hat Auswirkungen auf die weiteren im Blut sich befindlichen Gleichgewichte. Deren Gleichgewichtslage wird verändert, so dass sich der pH- Wert letztendlich erhöht. Die Alkalose ist verantwortlich für eine Inaktivierung der Calciumionen und führt zu einer vermehrten Reizbarkeit der Nervenendigungen und der Muskulatur. Dies macht sich durch Kribbeln in den Händen und durch ein pelziges Gefühl um den Mund bemerkbar. Die reduzierte Konzentration von Kohlenstoffdioxid im Blut nach einer Hyperventilation ist verantwortlich dafür, dass der Atemreiz zunächst fehlt, das Atemzentrum daher nicht angesprochen wird und die Luft länger angehalten werden kann. Erst nach entsprechend langer Tauchzeit wird das Atemzentrum durch die langsam steigende Kohlenstoffdioxidkonzentration im Blut aktiviert. Die Muskeltätigkeit beim Tauchen hat aber in der Zwischenzeit zu einer starken Abnahme des Sauerstoffpartialdruckes in den Lungenbläschen und im arteriellen Blut geführt, was eine mangelnde Hirndurchblutung zur Folge hat. Der Sauerstoffmangel ruft eine Bewusstlosigkeit hervor. Der Sauerstoffmangel im Gehirn wird zusätzlich verstärkt durch eine Gefäßengstellung, die ebenfalls durch einen verminderten Kohlenstoffdioxidpartialdruck im Blut hervorgerufen wird. Wird im Atemstillstand getaucht, erhöht sich beim Abstieg der Wasserdruck, das Thoraxvolumen sinkt, der Sauerstoffpartialdruck in der Lunge steigt und die Sauerstoffversorgung nimmt zunächst zu. Beim Aufstieg an die Wasseroberfläche sinkt der Wasserdruck, das Thoraxvolumen steigt, der Sauerstoffpartialdruck in der Lunge sinkt. Durch den verstärkten Sauerstoffverbrauch während des Tauchganges ist die Sauerstoffversorgung beim Auftauchen deutlich vermindert. Der Sauerstoffmangel führt zu den beschriebenen Begleiterscheinungen<sup>12</sup>.

## Literatur

- P. W. Atkins, J. A. Beran. Chemie einfach alles. Zweite Auflage, VCH, Weinheim, 1998, S. 433.
- O.F. Ehm: Tauchen. 5. überarbeitete, erweiterte Auflage, Müller Rüschnikon Verlags AG, Cham Stuttgart-Wien, 1991, S. 82 –85, S. 264.
- W. Jansen, B. Ralle, R. Peper: Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht. Aulis Verlag, Köln, 1984, S. 153.
- H. Marees: Sportphysiologie. Medizin heute 6. Auflage, Tropon, Köln-Mühlheim, 1989, S. 260 –263.
- R. F. Schmidt, G. Thews, F.Lang. Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 613.
- H. Wambach (Hrsg): Materialienhandbuch Kursunterricht Chemie. Bd 3, Kinetik – Gleichgewichte Massenwirkungsgesetz, Aulis Verlag, 1993, S. 186 –187.

<sup>12</sup> H. de Marees: Sportphysiologie – Medizin heute. Tropon, Köln-Mühlheim, 1989, S. 260 –261.

## Station 2

### Taucherflöhe und andere Beschwerden

Vom Himmel senkte sich der Rettungshubschrauber. Eine Stunde vorher war der Taucher ohne Beschwerden von seinem zweiten Tauchgang an diesem Tag zurückgekehrt. Eine halbe Stunde später bekam der Mann Kopfschmerzen, er konnte nicht mehr normal gehen, ihm wurde schwindelig und seine Haut begann zu jucken. Sein Blickfeld engte sich ein, ihm wurde übel. Er vermochte nicht mehr zusammenhängend zu denken und war orientierungslos.

Wenn die Symptome der Dekompressionskrankheit nicht nur die Haut und den Bewegungsapparat betreffen, sondern sich auch auf das Nervensystem einschließlich Hör- und Gleichgewichtsorgane auswirken, dann sind die Beeinträchtigungen schwerwiegend. Kernspinaufnahmen bestätigten den Verdacht: Im Gehirn waren Gasblasen nachzuweisen, die offensichtlich über den arteriellen Blutkreislauf eingeschwemmt wurden<sup>13</sup>.

Wirkt der Taucher benommen, ist er desorientiert und verwirrt, ist seine Hörfähigkeit eingeschränkt, hat er Seh- und Sprachstörungen, in diesen Fällen ist eine ärztliche Behandlung zwingend notwendig.

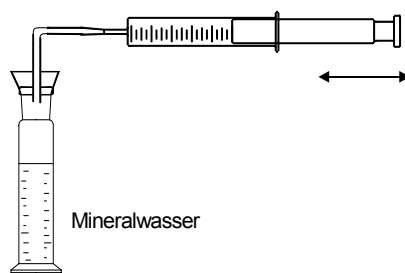
**Woher kommen nach dem Tauchgang die Gasblasen im arteriellen Kreislauf und im Gehirn? Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Löslichkeit eines Gases in drei Simulationsexperimenten.**

#### Experiment 1<sup>14</sup> / <sup>15</sup>

##### Geräte und Chemikalien

Saugflasche, Kolbenprober, Winkelrohr, durchbohrter Stopfen, Verbindungsschlauchstück, Stativmaterial, nicht mehr perlendes Mineralwasser

##### Versuchsaufbau



##### Durchführung

- In eine Saugflasche wird nicht perlendes Mineralwasser eingefüllt. Schließen Sie einen Kolbenprober mit Hilfe eines Winkelrohres entsprechend dem abgebildeten Versuchsaufbau an und befestigen Sie den Kolbenprober an einer Stativstange.
- Ziehen Sie den Kolben heraus und drücken Sie ihn hinein. Halten Sie beim Hineindrücken den Stopfen fest.

<sup>13</sup> <http://home.t-online.de/home/mfallldorf/mediz03htm>

<sup>14</sup> A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinemann, I. Parchmann: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. ChemKon, 7. Jahrgang, Nr.2, 2000, S. 85-86.

<sup>15</sup> A. Paschmann, Tönjes de Vries, Katrin Luchtenborg, Noushin Arshadi, Ilka Parchmann: Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf. MNU 53, Nr.3, 2000, S. 170-174 und Nr. 4 S. 227-231.

## Experiment 2

### Geräte und Chemikalien

Stickstoff, 100 - mL Kolbenprober mit Hahn, Speiseöl, 100-ml Becherglas

### Durchführung

- Der Stempel eines Kolbenprobers wird mit Speiseöl eingefettet. 30 mL Speiseöl werden mit 20 mL Stickstoff in den Kolben eingebracht. Bewegen Sie den Stempel einige Male hin und her, so dass die Wandungen gut mit Öl beschichtet sind und eine ausreichende Dichtigkeit des Kolbenprobers erreicht wird.
- Pressen Sie den Stempel kräftig hinein und sorgen Sie gleichzeitig für eine gute Durchmischung des Stickstoffs mit Öl, indem Sie ca. 30 Sekunden gut schütteln.
- Der Kolbenrober wird anschließend unter Beibehaltung des Drucks so lange senkrecht gehalten, bis sich die durch Schütteln eingetragenen Gasblasen entbunden haben.
- Anschließend entspannen Sie das System. Erzeugen Sie durch geringfügiges Herausziehen des Kolbenprobers einen leichten Unterdruck.
- Pressen Sie erneut den Kolben kräftig ein, schütteln Sie, halten Sie den Kolbenprober senkrecht unter Beibehaltung des Drucks und erzeugen Sie dann erneut einen leichten Unterdruck.

### Beobachtungen

- 2.1. Notieren Sie in beiden Experimenten jeweils die Beobachtungen, nachdem Sie den Kolben herausgezogen und hineingedrückt haben.

### Auswertungen

- 2.2. Werten Sie Ihre Beobachtungen in den Experimenten 1 und 2 aus und formulieren Sie den sich ergebenden Zusammenhang.
- 2.3. Ergänzen Sie Ihren experimentell gefundenen Zusammenhang, indem Sie auf Veränderungen von Partialdruck und Sättigungswert der unterschiedlichen Gase eingehen und mit den Gesetzen von Henry und Dalton verknüpfen. Rufen Sie dazu die folgende Internetadresse auf: [http://www. Netcologne.de/kfc/awmf.htm](http://www.Netcologne.de/kfc/awmf.htm), S.4 und 5 und verwenden Sie das beigefügte Informationsmaterial.
- 2.4. Zeigen Sie, dass Ihre Beobachtungen das ‚Prinzip von Le Chatelier‘ bestätigen.

## Experiment 3 <sup>16</sup>

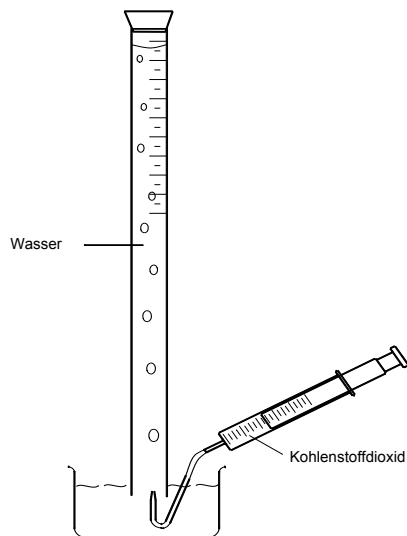
### Geräte und Chemikalien

Plastikschlauch (Höhe 2m, Durchmesser 2,6 cm), Kolbenprober, Schlauch mit gebogenem Glasrohr, 2 Stopfen, Kunststoffschüssel, Leitungswasser (je nach Wasserhärte ggf. Aqua dest), Kohlenstoffdioxid, Stickstoff.

---

<sup>16</sup> A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinemann, I. Parchmann: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. ChemKon, 7. Jahrgang, Nr.2, 2000, S. 85-86.

## Versuchsaufbau



## Durchführung

### *Skalierung des Glasrohres*

Erstellen Sie experimentell oder durch Rechnung eine Skala am Glasrohr.

### *Hauptversuch*

- Verschießen Sie das Glasrohr unten mit einem Stopfen und füllen Sie es randvoll mit kaltem Leitungswasser.
- Senken Sie das Glasrohr so weit, bis die untere Öffnung in die mit Wasser gefüllte Kunststoffschüssel taucht.
- Das obere Ende des Glasrohres verschließen Sie ebenfalls mit einem Stopfen. Entfernen Sie nun vorsichtig den unteren Stopfen.
- Leiten Sie mit Hilfe eines Kolbenprobers, an dessen Ende sich ein Schlauchstück mit gebogenem Glasrohr befindet, 100 ml Kohlenstoffdioxid langsam durch die untere Öffnung des Glasrohres ein.
- Wiederholen Sie den Versuch mit Stickstoff.

## Beobachtungen

3.1. Notieren Sie jeweils die Beobachtungen, nachdem Sie das Gas eingeleitet haben.

## Auswertung

- 3.2. Werten Sie Ihre Beobachtungen im Experiment 3 aus.
- 3.3. Erklären Sie den Wert des Stickstoffvolumens im Schlauch, nachdem Sie 100 ml Stickstoff mit dem Kolbenprober eingeleitet haben.
- 3.4. Formulieren Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff in wässriger Lösung als Gleichgewichtsreaktion. Deuten Sie die gefundene Gesetzmäßigkeit auf der Teilchenebene.
- 3.5. In den beigegeführten Ergänzungen finden Sie eine Tabelle der Henryschen Konstanten für Gase in Wasser bei 20 °C. Wie hoch ist die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff in Wasser
- bei Normaldruck
  - in Höhe des Meeresspiegels
  - und in 10 m Wassertiefe?

Erweiterung

- 3.6. Für Tauchvorgänge ist die Löslichkeit von Stickstoff in Abhängigkeit vom Druck von entscheidender Bedeutung. Welche Auswirkungen ergeben sich für den im Blut gelösten Stickstoff, wenn ein Taucher aus 20 m Tiefe panikartig auftaucht? Welche Beschwerden treten auf? Beziehen Sie in Ihre Erklärungen die Gesetze von Henry und Dalton mit ein.
- 3.7. Zwischen 10 % und 20% aller Erwachsenen haben ein offen gebliebenes Foramen ovale, eine kleine Öffnung der Scheidewand zwischen dem rechten und linken Herzvorhof. Schätzen Sie die Auswirkungen dieser Anomalie beim Tauchen ein.
- 3.8. Rufen Sie zur Bearbeitung der Aufgaben 3.1 und 3.2 folgende Internetadressen auf:

<http://cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm>

<http://www.hbo.de/patinfo.htm><http://home.t-online.de>

<http://home/mfalldorf/mediz03.htm>

- 3.9. Ein bekannter Taucharzt aus den USA, Prof. Eliot, beendete seinen Vortrag auf einem Kongress mit dem Wunsch an seine Zuhörer: „That all your bubbles remain silent“. Wie lassen sich die Risiken beim Tauchen minimieren?

Rufen Sie zur Lösung der Aufgabe 3.3 folgende Internetadressen auf:

<http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm>

<http://home.t-online.de/home/mfalldorf/mediz03.htm>

**Informationen**

*Das Gesetz von Dalton oder das Gesetz vom Partialdruck der Gase*

Der Gesamtdruck der Gase ergibt sich als Summe der Partialdrücke:

$$\sum p_i = p$$

Der Partialdruck ist der Teildruck eines Gases, d.h. sein Anteil am Gesamtdruck in einem Gasgemisch. Es ist der Druck, den das Gas ausüben würde, wenn es allein das gesamte Volumen V füllen würde. Luft ist ein Gemisch aus 78% Stickstoff, 21% Sauerstoff, 0,03% Kohlenstoffdioxid und 0,097% Spurengase. Ist der Gesamtdruck der Luft in 50 m Höhe 101,3 kPa, so beträgt der Partialdruck des Sauerstoffs 21%, also 21,3 kPa<sup>17</sup>.

*Löslichkeit von Gasen*

Gase können in fast allen Flüssigkeiten aufgenommen, also physikalisch gelöst werden. Stehen eine flüssige und eine Gasphase bei möglichst großer Oberfläche in Kontakt, stellt sich ein Gleichgewicht ein, bei dem gleich viele Moleküle die Flüssigkeit verlassen wie erneut aus der Gasphase eintauchen. In diesem Gleichgewichtszustand ist das Lösungsmittel mit Gas gesättigt.

*Das Gesetz von Henry*

Die Konzentration eines physikalisch gelösten Gases ist im Gleichgewicht proportional zum Partialdruck des Gases, welches die Flüssigkeitsoberfläche berührt. Der Proportionalitätsfaktor wird als Henrysche Konstante bezeichnet und ist von der Art des Gases, vom Lösungsmittel und von der Temperatur abhängig.

Erhöht man den Druck, werden mehr Moleküle gelöst. Folglich steigt die Konzentration an gelösten Gasmolekülen. Ist die Konzentration an gelösten Gasmolekülen gestiegen, heißt das aber auch, dass mehr Moleküle pro Zeiteinheit aus der Lösung entweichen, verglichen mit der Anzahl der Moleküle pro Zeiteinheit vor der Druckänderung. Wenn die Anzahl der Moleküle pro Zeiteinheit in beiden Fäl-

<sup>17</sup> P. W. Atkins, J. A. Beran: Chemie einfach alles. VCH, Weinheim, New York, 1998, S. 186 187.



len gleich ist, hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt. Dieses neue Gleichgewicht ist aber gekennzeichnet durch eine höherer Konzentration des Gases in der Lösung<sup>18</sup>.

Es gilt:  $c_{(\text{Gas})} = k_H \cdot p_{\text{Gas}}$

Die Henrysche Konstante  $k_H$  gibt an, wie viel mol eines Gases pro L Flüssigkeit bei einem Partialdruck von 101,3 kPa physikalisch gelöst werden kann.

**Tabelle: Henrysche Konstanten für Gase in Wasser bei 20°C**<sup>19</sup>

Gas	$k_H$ in mol L <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup>
Kohlenstoffdioxid	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Stickstoff	$7,0 \cdot 10^{-9}$
Sauerstoff	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Luft	$7,9 \cdot 10^{-9}$

*Auswirkung der Druckveränderung für im Blut gelösten Stickstoff beim Auftauchen aus größeren Tiefen und sich einstellende Symptome*<sup>20</sup>

Gasblasen an sich sind nicht das Problem, sie kommen häufig im venösen System vor, insbesondere in der rechten Herzkammer und in den Lungenarterien, werden aber dann im Lungenkapillarnetz ausgefiltert und abgeatmet. Im wesentlichen handelt es sich dabei um Stickstoffblasen. Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid tragen nur unwesentlich zur Gasblasenbildung bei. Beide Atemgase sind an biochemischen Stoffwechselprozessen beteiligt.

Bei der Rückkehr zur Wasseroberfläche enthält das Körpergewebe eines Presslufttauchers einen erheblichen Überschuss an gelöstem Stickstoff. Dieser wird nach und nach vom Blut aufgenommen und über die Lungen abgeatmet. Aber solange der Druck aller im Gewebe gelösten Gase den äußeren übersteigt, das Gewebe also übersättigt ist, können sich Bläschen bilden – ähnlich wie bei einer frisch geöffneten Mineralwasserflasche, bei der Kohlenstoffdioxid ausperlt. Nur wenn das Filtersystem überlastet ist, gelangen die Gasblasen erneut über Lungenvenen in den Körper und rufen die gefährlichen Dekompressionserscheinungen hervor. Im Gehirn sind das Sprach- und Bewusstseinsstörungen und im Rückenmark Symptome wie bei der Querschnittslähmung. Hinzu kommt, dass das Gehirn, die Gelenke und das Rückenmark schlecht durchblutet sind, so dass die Gasblasen bei der Rückkehr eines Tauchers zur Wasseroberfläche weniger gut abgeführt werden können und Keime für größerer Gasblasen bilden.

<sup>18</sup>ebenda, S.432-433.

<sup>19</sup>Ebenda, S. 433.

<sup>20</sup>B.R. Robinson 1994: Die Physiologie der Dekompressionskrankheit. Spektrum der Wissenschaft, Oktober 1995, S. 72- 60.

## Informationen für den Lehrer zur Station 2

### Taucherflöhe und andere Beschwerden

#### Aufgaben

##### Experimente 1 und 2

###### Beobachtungen

2.1 Notieren Sie die Beobachtungen, nachdem Sie den Kolben herausgezogen und hineingedrückt haben.

###### Auswertungen

2.2 Werten Sie Ihre Beobachtungen in den Experimenten 1 und 2 aus und formulieren Sie den sich ergebenden Zusammenhang.

2.3 Ergänzen Sie den experimentell gefundenen Zusammenhang, indem Sie auf Veränderungen von Partialdruck und Sättigungswert der unterschiedlichen Gase eingehen und mit den Gesetzen von Henry und Dalton verknüpfen. Rufen Sie dazu die folgende Internetadresse auf

[http://www. Netcologne.de/kfc/awmf.htm](http://www.Netcologne.de/kfc/awmf.htm), S.4 und 5 -

und verwenden Sie die unten beigefügte Informationen.

2.4 Zeigen Sie, dass Ihre Beobachtungen das Prinzip von Le Chatelier bestätigen.

##### Experiment 3

###### Beobachtungen

3.1 Notieren Sie jeweils die Beobachtungen, nachdem Sie das Gas eingeleitet haben.

###### Auswertung

3.2 Werten Sie Ihre Beobachtungen im Experiment 3 aus.

3.3 Erklären Sie den Wert des Stickstoffvolumens im Schlauch, nachdem Sie 100 ml Stickstoff mit dem Kolbenprober eingeleitet haben.

3.4 Formulieren Sie die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff in wässriger Lösung als Gleichgewichtsreaktion. Deuten Sie die gefundene Gesetzmäßigkeit auf der Teilchenebene.

3.5 In den beigefügten Ergänzungen finden Sie eine Tabelle der Henryschen Konstanten für Gase in Wasser bei 20 °C. Wie hoch ist die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und Stickstoff in Wasser

- bei Normaldruck
- in Höhe des Meeresspiegels
- und in 10 m Wassertiefe?

#### Lösungen

ad 2.1 In der Saugflasche steigen Gasblasen auf, wenn der Kolben des Kolbenprobers herausgezogen wird. Wird der Kolben hineingedrückt, hört die Gasblasenentwicklung auf. Wird der Kolbenprober mit dem Öl-Stickstoffgemisch entspannt, sind viele kleine Gasblasen im Öl zu beobachten, die nach oben steigen. Dies wird verstärkt, wenn der Stempel weiter herausgezogen wird und ein gewisser Unterdruck erzeugt wird.

ad 2.2 Wird der Gasdruck durch Herausziehen des Kolbens erniedrigt, setzt die Gasblasenbildung ein. Die Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit wird reduziert und Gas perlt aus. Die Löslichkeit des Gases ist druckabhängig. Ist der Gasdruck erniedrigt, nimmt die Löslichkeit des Gases ab. Ist der Gasdruck erhöht, vergrößert sich die Löslichkeit.

ad 2.3 Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und von Stickstoff ist druckabhängig. Wird der Partialdruck des Kohlenstoffdioxids bzw. des Stickstoffs in der Gasphase über der Flüssigkeit erniedrigt, reduziert sich auch die Löslichkeit des Gases und damit der Sättigungswert. Löslichkeit eines Gases und Sättigungswert des Gases in der Flüssigkeit sind zwei Namen

für eine Größe, die ein System im Gleichgewichtszustand charakterisiert. Das Gleichgewicht hat sich zwischen Gasphase und flüssiger Phase eingestellt. Nach dem Henryschen – Gesetz ist der Partialdruck des Gases in der Gasphase oberhalb der Flüssigkeit proportional zur Konzentration des Gases in der Flüssigkeit. Der Proportionalitätsfaktor ist die Henrysche – Konstante, deren Größe von der Temperatur, den stoffartspezifischen Eigenschaften des Gases und den stoffartspezifischen Eigenschaften des Lösungsmittels abhängig ist.

- ad 2.4 Wird das Gleichgewicht durch Erniedrigung des Partialdruckes gestört, perlen Kohlenstoffdioxid bzw. Stickstoff so lange aus, bis sich ein neues Gleichgewicht einstellt, bei dem weniger Moleküle gelöst sind. Eine Druckerhöhung bewirkt eine Erhöhung der Konzentration des Gases in der Lösung. Ein Gleichgewicht stellt sich neu ein. Dabei wird die Anzahl der Moleküle in der Gasphase oberhalb der Lösung verkleinert und damit der Druck reduziert. Die Zunahme der Löslichkeit eines Gases mit Erhöhung des Druckes ist ein Spezialfall einer allgemeinen Eigenschaft dynamischer Gleichgewichte. 1884 wurde von dem französischen Chemiker Le Chatelier das sogenannte Prinzip von le Chatelier formuliert, was besagt: „Ein dynamisches Gleichgewicht hat die Tendenz, einer Änderung der Umgebungsbedingungen entgegenzuwirken“<sup>21</sup>.
- ad 3.1 Die Kohlenstoffdioxidblasen, die durch das Rohr nach oben steigen, werden immer kleiner. Von 100 ml Kohlenstoffdioxid bleibt durchschnittlich ein Restvolumen von 10 ml über. Wird Stickstoff in Wasser geleitet, bleiben die Gasblasen in ihrer Größe konstant. Im Gasraum des Schlauches ist ein Volumen von 117 ml Stickstoff nachzuweisen, wenn 100 ml Stickstoff mit dem Kolbenprober eingeleitet werden.
- ad 3.2 Die Löslichkeit von Stickstoff in Wasser ist deutlich geringer als von Kohlenstoffdioxid in Wasser. Stoffartspezifische Eigenschaften der Gase bestimmen ihre Löslichkeit in Wasser.
- ad 3.3 Die Volumenzunahme von Stickstoff steht ursächlich mit dem Gewicht der Wassersäule in Verbindung, die einen Unterdruck im Gasraum bewirkt. Die Summe des Druckes der Wassersäule und des Gasdruckes über der Wassersäule entspricht dem Atmosphärendruck. Unter der Annahme, dass eine Wassersäule von 1m einen Druck von 98 hPa ausübt, die Höhe der vorhandenen Wassersäule 1,54 m beträgt, ergibt sich dann ein Druck 151 hPa für die Wassersäule. Der Druck im Gasraum nach Entfernen des unteren Stopfens beträgt 862 hPa. Bei einem Atmosphärendruck von 1013 hPa nehmen Gase ein Volumen von 100 ml ein. Reduziert sich der Druck auf 862 hPa beträgt das Volumen 117 ml.
- ad 3.4 Die Löslichkeit der Gase in einer Flüssigkeit ist linear abhängig vom Partialdruck des Gases, welches die Flüssigkeitsoberfläche berührt. Der Proportionalitätsfaktor ist der Löslichkeitskoeffizient und der wiederum ist stoffartspezifisch, hängt also von der Art des Lösungsmittels und der Art des Gases ab. Stehen Flüssigkeit und Gasphase mit ausreichender Oberfläche in Kontakt, ist der Sättigungswert des Gases in der Flüssigkeit erreicht, wenn gleich viele Teilchen die Flüssigkeit verlassen wie auch in sie erneut eintauchen. Die unterschiedliche Löslichkeit von Stickstoff, Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in einer Flüssigkeit, hängt von den stoffartspezifischen Eigenschaften der Gase und ihrem Partialdruck in der mit der Flüssigkeit in Kontakt stehenden Gasphase ab.
- ad 3.5 An der Wasseroberfläche beträgt der Partialdruck von Stickstoff 0,78 bar (79,014 kPa) und von Kohlenstoffdioxid 0,0003 bar (0,0304 kPa). Das entspricht einer Löslichkeit von  $10,27 \cdot 10^{-4}$  mol/l und  $0,003952 \cdot 10^{-4}$  mol/l im Blut, unter der Voraussetzung, dass die Henryschen Konstanten in Blut und Wasser gleich hoch sind und die durch die Atmung verbrauchte Sauerstoffmenge und durch die Atmung gelieferte Kohlenstoffdioxidstoffmenge unberücksichtigt bleiben. In 10 m Wassertiefe bei normaler Luftatmung beträgt dann der Partialdruck von Stickstoff 1,56 bar (158,028 kPa) und von Kohlenstoffdioxid 0,006 bar (0,0608 kPa) in der Lunge.

<sup>21</sup> P. W. Atkins, J. A. Beran: Chemie einfach alles. VCH, Weinheim, New York, 1998, S. 433

## Erweiterung

### Aufgaben

- 4.1 Für Tauchvorgänge ist die Löslichkeit von Stickstoff in Abhängigkeit vom Druck von großer Bedeutung. Welche Auswirkungen hat es für den im Blut gelösten Stickstoff, wenn ein Taucher aus 20 m Tiefe panikartig auftaucht? Welche Beschwerden stellen sich ein? Beziehen Sie in Ihre Erklärungen die Gesetze von Henry und Dalton mit ein.
- 4.2 Zwischen 10 und 20% aller Erwachsenen haben ein offen gebliebenes Foramen ovale, eine kleine Öffnung der Scheidewand zwischen dem rechten und linken Herzvorhof. Schätzen Sie die Auswirkungen dieser Anomalie beim Tauchen ein. Rufen Sie zur Bearbeitung der Aufgaben 3.1 und 3.2 folgende Internetadressen auf:

<http://cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm>

<http://www.hbo.de/patinfo.htm> <http://home.t-online.de>

<http://home/mfalldorf/mediz03.htm>

- 4.3 Ein bekannter Taucharzt aus den USA, Prof. Eliot beendete seinen Vortrag auf einem Kongress mit dem Wunsch an seine Zuhörer: „That all your bubbles remain silent“. Wie lassen sich die Risiken beim Tauchen minimieren? Rufen Sie zur Lösung der Aufgabe 3.4 folgende Internetadressen auf:

<http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm>

<http://home.t-online.de/home/mfalldorf/mediz03.htm>

### Lösungen

- ad 4.1 Taucht ein Presslufttaucher zu schnell auf, ändert sich in kurzer Zeit der äußere Druck und damit auch der Partialdruck des Stickstoffs. Reduziert sich der Druck auf die Hälfte, vermindert sich ebenso die Löslichkeit des Stickstoffs und es bilden sich Gasblasen, die abgeatmet werden müssen. Solange der Druck aller im Gewebe gelöster Gase den äußeren übersteigt, das Gewebe also übersättigt ist, bleibt die Gasblasenentwicklung erhalten. Sie stellt sich erst ein, wenn ein Gleichgewicht erreicht ist, bei dem im Gleichgewichtszustand die Löslichkeit des Gases reduziert ist. Die Einstellung des Gleichgewichts wiederum erfolgt je nach Gewebart mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Insbesondere Fettgewebe entsättigen sich sehr langsam, so dass dickleibige Taucher noch Stunden nach dem Tauchgang Gasblasenentwicklungen aufzeigen. Werden die Gasblasen in den venösen Kreislauf eingeschwemmt, gelangen sie zur Lunge. In der Lunge angekommen, führen die Blasen zu einer teilweisen Verstopfung der Lungenkapillaren. Die Verstopfung verursacht eine Druckzunahme im venösen Teil des Lungenkreislaufes. Dadurch werden bis dahin verschlossene arteriovenöse Kurzschlüsse geöffnet. In Folge entsteht eine vermehrte Zumischung von venösem zu arteriellem Blut, auch als Rechts-Links-Shunt bezeichnet. Steigt der Druck in der Lunge um mehr als 5% über den Normalwert, so wird der Rechts-Links-Shunt so groß, dass Blasen ins arterielle System übergehen. Die arteriellen Gasblasen führen häufig zur Schädigung im Gehirn und im Rückenmark mit den verschiedensten Symptomen. Diese reichen von Kribbeln in Fingern und Füßen, über Seh- und Sprachstörungen bis hin zu halbseitigen Lähmungen. Die Dekompressionskrankheit wird entsprechend ihrer Auswirkung in zwei Typen unterschieden. Zum Typ 1, auch als milde Form bezeichnet, zählen Beschwerden der Haut sowie Schmerzen in Muskeln und Gelenken. Typ 2 zeichnet sich durch Symptome aus, die bei der Beteiligung von Gehirn, Rückenmark, Herz und Lunge entstehen. Ein sinnvoller Ansatz der Risikominimierung scheint zu sein, den Gasblasenübertritt vom Gewebe ins venöse Blut durch Dekompressionspausen zu minimieren.
- ad 4.2 Durch eine kleine Öffnung in der Scheidewand zwischen rechtem und linkem Vorhof, gelangen Stickstoffblasen in den arteriellen Kreislauf und können Embolien mit oben beschriebenen Folgen hervorrufen.
- ad 4.3 Druckänderungen bedeuten auch Partialdruckänderungen der Gase im Körper. Ein Auftauchen eines Presslufttauchers aus 10 m Wassertiefe heißt auch eine Reduktion des jeweiligen

Partialdruckes von Stickstoff, Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid im Blut und damit auch eine Verminderung der Löslichkeit der Atemgase um die Hälfte. Für Stickstoff bedeutet das Gasblasenbildung. Da die Stickstoffblasenbildung für die mit Taucherflöhe zusammengefassten Symptome verantwortlich ist, sollte nach Rat des Taucharztes jeder Taucher so verhalten, dass die Blasenbildung möglichst verhindert wird. Ein langsames kontinuierliches Auftauchen zur Oberfläche, verknüpft mit Zwischenstopps, reduziert die Blasenbildung und damit den Gasübertritt ins arterielle Blut.

### Literatur

- P. W. Atkins, J. A. Beran: Chemie – einfach alles. Weinheim, 1998, S. 433, S. 432 – 433, S. 186 -187.
- H. de Marees: Sportphysiologie. 6. Auflage, Tropon, Köln-Mülheim, 1989, S. 260 – 261.
- R. Moon, R. Vann, P. Bennett: Die Physiologie der Dekompressionskrankheit. Spektrum der Wissenschaft, Oktober 1995, S. 72-80.
- A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinmann, I. Paschmann. Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. CHEMKON, 7. Jahrg. Nr.2, 2000, S. 85-86.
- A. Paschmann, T. de Vries, K. Lüchtenborg, N. Arshadi, I. Paschmann. Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf. MNU 53, Nr 3, 2000, S.170-175 und Nr. 4, S.227-231.
- R. F. Schmidt, G. Thews, F. Lang (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 697-703.

### Internetadressen

<http://cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm>

<http://home.t-online.de/home/mfalldorf/mediz03.htm>

<http://www.hbo.de/patinfo.htm>

## Station 3

### Barotrauma

Tauchen Sie ab, verspüren Sie bereits in 2 – 3 m Tiefe einen deutlichen Druck auf den Ohren. Setzen Sie den Abtauchvorgang fort, verstärkt sich der Druck und wird schließlich so schmerzhaft, dass Sie auftauchen müssen.

So weit sollten Sie es aber nie kommen lassen. Der Druckausgleich muss bereits herbeigeführt werden, bevor sich die geringsten Anzeichen eines Druckgefühls ankündigen. Dazu genügt meistens eine einfache Schluckbewegung. Hilft diese nicht, gibt es eine weitere Möglichkeit. Halten Sie die Nasenflügel mit den Fingern zusammen und gleichzeitig versuchen Sie durch die Nase auszuatmen. Sie verspüren dann ein deutliches Knacken im Ohr und der Druck verschwindet.

Sind Sie erkältet und sind Ihre Schleimhäute stark angeschwollen, können Sie durch Schlucken oder Pressen den Druck auf den Ohren nicht lindern. Tauchen Sie trotzdem tiefer, fühlen Sie einen stechenden Schmerz. Sie haben den Eindruck, Ihr Ohr sei verstopft. Sie fühlen sich schwindelig. Ihr Trommelfell wölbt sich straff gespannt nach innen. Tauchen Sie trotz auftretender Schmerzen noch tiefer, kann das Trommelfell<sup>22</sup>.

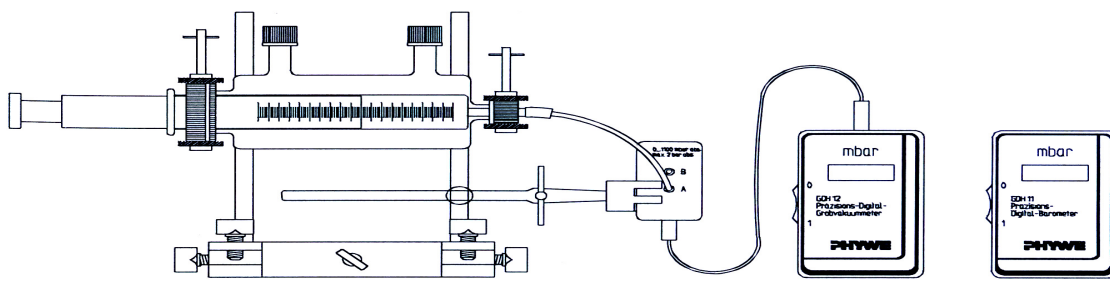
**Warum wölbt sich das Trommelfell nach innen, wenn Sie erkältet sind und abtauchen? Erklären Sie das Phänomen mit Hilfe von zwei Experimenten:**

#### Experiment 1<sup>23</sup>

##### Material

Fuß, 250 mm-Stativstange, 3 Doppelmuffen, 2 Universalklemmen, 1 Universalklemme mit Gelenk, Glasmantel, 100 ml-Gasspritze, 8/4 mm-Reduktionsstück, 2 Schlauchschellen mit einem Durchmesser von 6-12 mm, Digitales Barometer, Digitales Manometer, Silikonschlauch mit einem Innendurchmesser von 7 mm, Silikonschlauch mit einem Innendurchmesser von 2 mm, Trichter, Motorenöl.

##### Versuchsaufbau



<sup>22</sup> W. Reihen: Tauchen mein Hobby. Humboldt-Taschenbuchverlag, München, 1976, S. 20 –22 und S. 85 –87.

O.F. Ehm: Tauchen. Müller Rüschiikon Verlags AG, Cham. Stuttgart, 1991, S.143 –147.

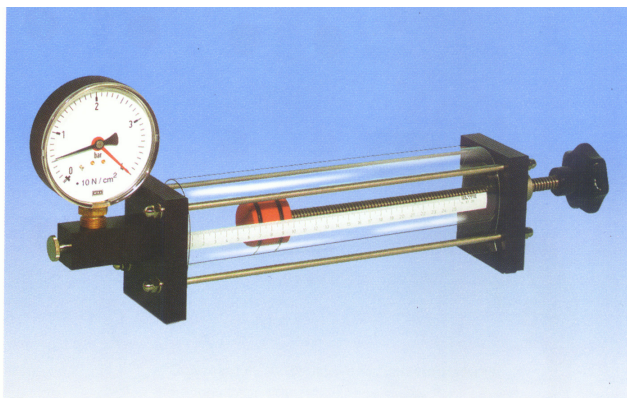
<sup>23</sup> F. Lindenblatt, W. Jung: Handbuch Glasmantel. Phywe Schriftenreihe, Göttingen, 1993, S. 11 – 12.

### Durchführung

1. Der Aufbau erfolgt wie abgebildet. Der Kolben der Gasspritze ist mit einigen Tropfen eines Motorenöls (kein Paraffinöl) eingeschmiert, um eine größere Gasdichtigkeit zu erreichen.
2. Stellen Sie den Kolben der Gasspritze auf 50 ml ein.
3. Befestigen Sie den Stutzen der Gasspritze mit einem möglichst kurzen Schlauchstück am Reduzierstück mit einer Schlauchschelle. Der dünne Anschluss am Reduzierstück wird ebenfalls durch ein kurzes Stück Schlauch mit dem Sensor des Druckmessgerätes verbunden.
4. In den Glasmantel füllen Sie mit Hilfe eines Trichters Wasser. Dadurch werden Temperaturveränderungen während des Experimentes vermieden.
5. Überprüfen Sie die Dichtigkeit der Apparatur. Schieben Sie dazu den Kolben ein wenig in den Gasspritzkörper ein, warten Sie einen Augenblick und ziehen Sie ihn dann wieder in die Ausgangsstellung zurück. Die Apparatur ist dicht, wenn der Druck sich nicht geändert hat.
6. Stellen Sie den Druck durch Verschieben des Kolbens so ein, dass der am Manometer angezeigte Druck mit dem am Barometer abzulesenden übereinstimmt. Notieren Sie die Manometeranzeige und das Volumen.
7. Schieben sie den Kolben in kleinen Schritten von 2 bis 3 ml ein und notieren Sie jedes Mal die zusammengehörigen Werte für Volumen und Druck.

### **Experiment 2**

Boyle – Marriotte - Gerät der Fa. Elwe <sup>24</sup>



Zylinder:  $l = 300 \text{ mm}$ ,  $d_i = 40 \text{ mm}$ ; Kolben:  $l = 30 \text{ mm}$ ,  $d_i = 40 \text{ mm}$ ; Manometer  $0 - 40 \text{ N/cm}^2$

### Durchführung

Benutzen Sie in einer zweiten Versuchsvarianten das Boyle - Mariotte – Gerät. Das Gerät besteht aus einem Zylinder mit Kolben und Manometer. Durch eine Gewindestange mit Griff können Sie den Kolben im Zylinder bewegen. Am Zylinder ist ein Millimetermaßstab angebracht. Als Sicherheitsmaßnahme ist der Zylinder mit einem durchsichtigen Mantel aus Plexiglas umgeben.

Belüften Sie das Gerät mit Hilfe der linken Einstellschraube und drehen Sie mit Hilfe des rechten Knopfes so lange, dass ein Wert von einer Atmosphäre angezeigt wird. Dann verschließen Sie die Belüftungsschraube und beginnen mit der Messung, indem Sie die eingeschlossene Luftmenge komprimieren.

<sup>24</sup> ELWE – Lehrgerätebau Klingenthal GmbH: Kalorik, 5/98, S. 27.

Messungen

1. Notieren Sie in beiden Versuchsvarianten zu jedem eingestellten Volumen den zugehörigen Druck.

Auswertungen

2. Tragen Sie für eine Versuchsvariante Ihre Werte in einem Druck-Volumen-Diagramm auf.
3. Beschreiben Sie den Kurvenverlauf.
4. Bilden Sie das Produkt aus dem jeweils gemessenen Volumen und dem zugehörigen Druck.
5. Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeit.

Erweiterung

6. Warum ist es im Regelfall unsinnig, eine auf niedrige Tauchtiefen beschränkte Tauchtauglichkeit auszusprechen?
7. Warum sind durch eine Erkältung zugeschwollene Nasennebenhöhlen und Paukenhöhlen ein erhöhtes Risiko beim Tauchen?
8. Informieren Sie sich dazu über den Aufbau des Ohres und rufen Sie folgende Internetadresse auf: <http://www.cabana.net/Snoopy/barotrauh.htm>.
9. Welches Risiko besteht, wenn ein Presslufttaucher in einer Panikreaktion ohne ausreichendes Ausatmen aus 10 Meter Tiefe an die Wasseroberfläche auftaucht? Wenden Sie die in den Informationsmaterialien aufgeführte Gesetzmäßigkeit an.
10. Handelsübliche Schnorchel sind auf eine Länge von 30 cm begrenzt. Warum bedeutet eine Verlängerung des Schnorchels auf 60 cm ein gesundheitliches Risiko?

Informieren Sie sich zusätzlich unter folgender Internetadresse:

<http://www.netologne.de/kfc/awmf.htm>.

**Informationen:***Physikalische Eigenschaften des Wassers<sup>25</sup>*

Im Wasser lastet auf dem Körper des Tauchers infolge des Eigengewichts des Wassers ein zusätzlicher Druck, der mit steigender Wassertiefe zunimmt.

Der Druck  $p$  der Wassersäule lässt sich wie folgt berechnen:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$\rho$ : Dichte des Wassers: 999,1 kg/m<sup>3</sup> bei 15°C

$g$ : Erdbeschleunigung: 9,81 m/s<sup>2</sup>

Daraus folgt für eine Wassertiefe von 10m:

$$p = 10 \text{ m} \cdot 999,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 98012 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot 1/\text{m}^2 = 98012 \text{ N/m}^2 = 98012 \text{ Pa}$$

Für die Druckeinheiten gilt:

1 atm entsprechen 760 mm Hg, entsprechen 1,013 bar, entsprechen 101,3 kPa, entsprechen 1013 hPa, entsprechen 101300 N/m<sup>2</sup>

<sup>25</sup> H. Marees: Sportphysiologie – Medizin von heute. 6. Auflage, Tropon, Köln-Mühlheim, 1989, S. 252 –253.



## Informationen für den Lehrer zur Station 1

### Barotrauma

#### Aufgaben

##### Messungen

- Notieren Sie in beiden Versuchsvarianten zu jedem eingestellten Volumen den zugehörigen Druck.

##### Auswertungen

- Tragen Sie für eine Versuchsvariante Ihre Werte in einem Druck-Volumen-Diagramm auf.
- Beschreiben Sie den Kurvenverlauf.
- Bilden Sie das Produkt aus dem jeweils gemessenen Volumen und dem zugehörigen Druck.
- Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeit.

##### Erweiterung

- Warum ist es im Regelfall unsinnig, eine auf niedrige Tauchtiefen beschränkte Tauchtauglichkeit auszusprechen?
- Warum sind durch eine Erkältung angeschwollene Nasennebenhöhlen und Paukenhöhlen ein erhöhtes Risiko beim Tauchen? Informieren Sie sich dazu über den Aufbau des Ohres und rufen Sie folgende Internetadresse auf: <http://www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm>.
- Welches Risiko besteht, wenn ein Presslufttaucher in einer Panikreaktion ohne ausreichendes Ausatmen aus 10 Meter Tiefe an die Wasseroberfläche auftaucht? Wenden Sie die unter Informationen aufgeführte Gesetzmäßigkeit an.
- Handelübliche Schnorchel sind auf eine Länge von 30 cm begrenzt. Warum bedeutet eine Verlängerung des Schnorchels auf 60 cm ein gesundheitliches Risiko? Informieren Sie sich zusätzlich unter folgender Internetadresse: <http://www.netologne.de/kfc/awmf.htm>

#### Lösungen

ad 1. Gasspritzenversuch im Glasmantel von der Fa. Phywe:

v in ml	p in hPa	p•v in Nm
50	1000	5,00
48	1040	4,99
46	1080	4,97
44	1130	4,97
42	1180	4,96
40	1240	4,96

Boyle-Mariotte-Gerät von der Fa. ELWE:

l in cm	v in cm <sup>3</sup>	p in 10 N/cm <sup>2</sup>	p•v in Nm
10	125,7	1,01	1,3
9,5	119,4	1,08	1,3
9	113,04	1,13	1,3
8,5	106,76	1,21	1,3
8	100,48	1,3	1,3
7,5	94,2	1,39	1,3
6,5	81,64	1,61	1,3
6	75,36	1,77	1,3
5,5	69,08	1,88	1,3
5	62,8	2,12	1,3
4,5	56,52	2,35	1,3

- ad 3 Das p – v- Diagramm zeigt einen Hyperbelast.
- ad 4 Das Gesetz von Boyle – Mariotte: Das Produkt aus Druck und Volumen ist bei isothermen Zustandsänderungen und bei Luft mit nicht zu hoher Dichte und nicht zu geringer Temperatur konstant. Diese Gesetzmäßigkeit gilt für alle Gase geringer Dichte und hoher Temperatur, also für ideale Gase.

es gilt:

$$p \cdot v = \text{const oder } p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

daraus folgt:

$$p = n/v \cdot R \cdot T, \text{ also } p = c \cdot R \cdot T$$

Tabelle: Größen der allgemeinen Gasgleichung

Größe	Symbol	Einheit
Druck	p	bar, kPa, atm, mm Hg, hPa
Volumen	v	L
Molare Gaskonstante	R	8,3144 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
		0,083144 l bar mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
		8,3144 kPa mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Stoffmenge	n	mol

- ad 5 Wird z. B. der Atem angehalten und von der Wasseroberfläche 10 m tief getaucht, so steigt der Umgebungsdruck und damit auch der Druck in den Lungen auf das Doppelte an. Entsprechend wird die in der Lunge eingeschlossene Luft auf die Hälfte ihres Volumens komprimiert. Umgekehrt dehnt sich die in der Lunge eingeschlossene Luftmenge beim Auftauchen aus 10 m Tiefe bis an die Wasseroberfläche wieder auf das Doppelte ihres komprimierten Volumens aus. Da der absolute Druck beim Abtauchen in die Tiefe alle 10 m linear um 1 bar ansteigt, sind die relativen Druckänderungen in der Nähe der Wasseroberfläche am größten. Ein Abtauchen von der Oberfläche auf 10 m Wassertiefe bedeutet einen Druckanstieg um 100%, ein Abtauchen von 10 m Wassertiefe auf 20 m Wassertiefe einen Anstieg um 50%, von 20 m auf 30 m Wassertiefe einen Anstieg um 33%.
- ad 6 Sind im Rahmen einer Erkältung die knöchern umschlossenen, luftgefüllten Nasennebenhöhlen und die Paukenhöhle zugeschwollen und setzt sich der Schwimmer trotzdem einer Druckänderung aus, so ist eine Volumenänderung und gleichzeitige Druckanpassung an den sich umgebenden Umgebungsdruck nicht möglich. Durch die Schwellung der Schleimhäute wird eine Druckausgleich über die Eustachische Röhre im Mittelohr verhindert. Bereits 3 – 6 m Tauchtiefe reichen aus, um das Trommelfell so zu dehnen, dass es zerreißt. Platzt das Trommelfell, hat das u.U. für den Taucher tödliche Folgen: Es strömt kälteres Wasser in das Mittelohr und in das Innenohr ein, so dass das Gleichgewichtsorgan massiv gereizt wird und bei einsetzender Orientierungslosigkeit kann dies zum Ertrinken führen.
- ad 7 Beim Tauchen mit einem Presslufttauchgerät wird die Lunge nicht nur an der Wasseroberfläche normal mit Luft gefüllt, sondern auch unter Wasser erfolgt eine normale Lungenfüllung. In 10 m Wassertiefe befindet sich etwa doppelt so viel Luftmasse in der Lunge, wie dies bei gleicher Atemlage an der Oberfläche entspricht. Taucht der Taucher in einer Panikreaktion ohne ausreichende Ausatmung auf, so dehnt sich in diesem Fall die in der Lunge enthaltene Luftmenge auf das Doppelte aus, was zu Rissen in den Lungenbläschen und damit zu Gasembolien führen kann<sup>26 / 27 / 28</sup>.
- ad 8 Beim Schnorcheln befindet sich der Körper unter Wasser und damit in einer Umgebung mit höherem Druck als an der Wasseroberfläche, während die Lunge über den Schnorchel mit der Umgebungsluft verbunden ist und damit einen niedrigerem Druck ausgesetzt ist. Somit ergeben

<sup>26</sup> R. F. Schmidt, G. Thews, F. Lang: Physiologie des Menschen. 28. Auflage, Berlin, Heidelberg, 2000, S.702.

<sup>27</sup> H. de Marees: Sportphysiologie, Medizin heute. 6. Auflage, Tropon, Köln-Mülheim, 1989, S.274.

<sup>28</sup> W. Freihen: Tauchen mein Hobby. Humboldt Taschenbuch Verlag, 1976, S. 100

sich Druckdifferenzen zwischen den unter höherem Druck stehenden Lungenkapillaren und den unter niedrigerem Druck stehenden Lungenbläschen. Bereits bei einer Verlängerung des Schnorchels auf 60 cm wäre die Druckdifferenz so groß, dass Blutflüssigkeit aus den Kapillaren in die Lungenbläschen gepresst würde<sup>29 30</sup>.

### Literatur

- O.F. Ehm: Tauchen. Müller Rüschnikon Verlags AG, Cham, Stuttgart, 1991, S.143 –147, S. 130-132.  
ELWE – Lehrgerätebau Klingenthal GmbH. D –38162 Cremlingen/Schandelah, Elwestr. 6, Kalorik 5/98, S. 27  
W. Freißen: Tauchen mein Hobby. Humboldt-Taschenbuchverlag, München, 1976, S. 20 –22, S. 85 –87, S. 100.  
F. Lindenblatt, W. Jung: Handbuch Glasmantel. Phywe Schriftenreihe, Göttingen, 1993, S. 11-12.  
H. Marees: Sportphysiologie – Medizin von heute. 6. Auflage, Tropon, Köln-Mühlheim, 1989, S. 252 – 253, S. 274.

### Internetadressen

- <http://www.netcologne.de/kfc/awmf.htm>  
<http://www.caban.net/Snoopy/barotrauh.htm>  
<http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm>  
[http:// www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html)  
<http://home.t-online.de/home/mfallldorf/mediz03.htm>

---

<sup>29</sup> O.F. Ehm: Tauchen .5. Auflage, Müller Rüschnikon Verlags AG, Cham, Stuttgart, 1991, S. 130-132.

<sup>30</sup> H. de Marees: Sportphysiologie, Medizin heute. 6. Auflage, Tropon, Köln-Mülheim, 1989, S. 257 - 259.



## Station 4

### Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall

Eine Dreiviertelstunde nach ihrem letzten Tauchgang verspürte Luise muskelkaterartige Schmerzen in den Beinen und Gelenkschmerzen im Knie. Die Haut am Rücken begann zu prickeln und zu jucken. Sie bekam Seh- und Sprachstörungen. Ein Schwindel setzte ein, sie wurde kurzfristig bewusstlos. Ersthelfer legten sie in die stabile Seitenlagerung. Der gerufene Notarzt stellte ihren Tauchcomputer, der ihre Tauchtiefe und ihre Tauchzeit eingespeichert hatte, sicher und ordnete - noch während sie bewusstlos war - eine kontrollierte Beatmung mit 100% Sauerstoff an. Als sich ihr Zustand stabilisierte, erfolgte der Transport mit ärztlicher Begleitung in ein Druckkammerzentrum. Nach einer vorangegangenen neurologischen Untersuchung und einer Untersuchung im Hals – Nasen – Ohrenbereich kam sie mit einer speziell dafür ausgebildeten Krankenschwester in die Therapiekammer. Der Innendruck wurde auf 2,8 bar also 280 kPa erhöht und dann stufenweise über sechs Stunden wieder auf den Normalwert von 101,3 kPa gesenkt. Gleichzeitig erhielt sie über eine Atemmaske reinen Sauerstoff.

#### Warum hilft eine Sauerstoff – Überdrucktherapie im Fall einer Dekompressionskrankheit?

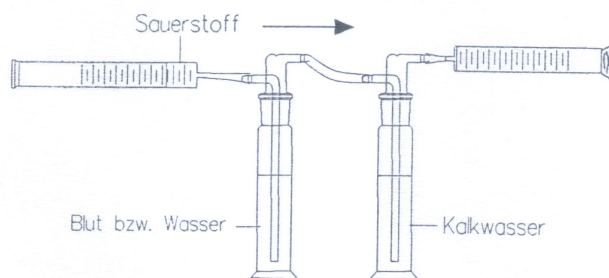
Untersuchen Sie die Wirkung von Sauerstoff im Blut in zwei nachfolgend beschriebenen Experimenten.

#### Experiment 1 <sup>31</sup>

##### Geräte und Chemikalien

2 Waschflaschen, 2 Kolbenprober, 3 Schlauchstücke, Blut, Wasser,

##### Versuchsaufbau



##### Durchführung

- Geben Sie 50 – 100 ml Wasser in eine Waschflasche und leiten Sie Kohlenstoffdioxid ein.
- Leiten Sie danach Stickstoff durch die Lösung.
- Stellen Sie die Apparatur nach Vorlage zusammen.
- Leiten Sie mehrmals 100 ml Sauerstoff durch.
- Wiederholen Sie den Versuch mit dem gleichen Volumen Blut. Um die Schaumbildung einzuschränken, können Sie wenige Tropfen Propanol hinzufügen.

<sup>31</sup> I. Parchmann: Transport von Sauerstoff im Blut – Anhang zur Lehrprobe Biologie, Klasse 9. unveröffentlicht.

### Anmerkungen

Achten Sie darauf, dass die Apparatur dicht ist und dicht bleibt. Das Kalkwasser dient dazu, Kohlenstoffdioxid, das aus dem Blut ausgetrieben wird, aufzufangen.

### **Experiment 2**

#### Geräte und Chemikalien

Drei 500 ml – Bechergläser, 3 Glasstäbe, 4%ige Natriumcitratlösung, 5%ige Ammoniumoxalatlösung, Propanol, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid

#### Durchführung

- Füllen Sie ein Glas zu 4/5 des Volumens mit Blut. Die restlichen 1/5 des Glasvolumens werden mit 4%iger Natriumcitratlösung oder mit 5%iger Ammoniumoxalatlösung aufgefüllt und mit einem Glasstab gut aber kurz vermischt. Die Behandlung dient dazu, Calciumionen zu fällen, um die Gerinnung zu verhindern.
- Zwei 500 ml – Bechergläser werden je mit 100 ml Blut, das Sie mit Natriumcitratlösung oder Ammoniumoxalatlösung versehen haben, gefüllt und mit 2 – 3 Tropfen Propanol zur Minderung der Schaumbildung versetzt.
- Leiten Sie in das eine Becherglas Sauerstoff, in das andere Kohlenstoffdioxid ein.
- Vertauschen Sie die beiden Bechergläser und leiten Sie erneut Sauerstoff bzw. Kohlenstoffdioxid ein.
- Wechseln Sie erneut.

#### Anmerkung

- Der Versuch wird auf einem weißen Papierbogen durchgeführt.
- Überprüfen Sie den Gasdruck im Einleitungsrohr. Führen Sie einen Vorversuch mit Wasser durch.
- Leiten Sie die Gase vorsichtig ein, um unnötige Schaumbildung im Blut zu vermeiden.
- Um zu erreichen, dass kein Blut auf Tische, Stühle und Kleidung kommt, befestigen Sie die Gaseinleitungsrohre an den Stahlflaschen.

#### Beobachtungen

1. Notieren Sie Ihre Beobachtungen zu den Experimenten.

#### Auswertung

2. Deuten Sie Ihre Beobachtungen mit Hilfe der beigefügten Informationen über den Sauerstofftransport im Blut.
3. Beschreiben Sie die jeweilige Sauerstoffbindungskurve von Hämoglobin und Myoglobin in der Abbildung A und erklären Sie den unterschiedlichen Verlauf.
4. Warum wird Sauerstoff in den Lungenkapillaren vom Hämoglobin aufgenommen und in den Gewebekapillaren abgegeben? Begründen Sie dieses Phänomen mit Hilfe der Sauerstoffbindungskurve.
5. Wie wirkt sich eine Hyperventilation auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins in den Lungenkapillaren aus?

Erweiterung

6. Die Behandlung eines Patienten in einer Druckkammer ist die Standardtherapie für die meisten Formen der Dekompressionskrankheit. Worin besteht die Wirkung der Therapie?
7. Ein Rettungshubschrauber sollte ein Flughöhe von 300 m nicht überschreiten, wenn ein Patient transportiert wird, der deutlich an Symptomen der Dekompressionskrankheit leidet. Begründen Sie die Begrenzung der Flughöhe.

Anmerkung

Sie finden weitere Informationen unter den Internetadressen

[http://www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html)

<http://www.hgo.de/patinfo.htm>

**Informationen***Hämoglobin*

Die Erythrozyten transportieren den roten Blutfarbstoff, das Hämoglobin. Die Quartärstruktur des Hämoglobins besteht aus vier Eiweiß- und vier Farbstoffkomponenten (Hämgruppen). Eine Hämgruppe enthält ein zweifach positiv geladenes Eisenion, das von vier Porphyrinsystemen eingeschlossen ist. Vier Sauerstoffmoleküle können nacheinander an vier Eisenionen des Hämoglobins locker gebunden werden, ohne dass eine Redoxreaktion stattfindet. Das Hämoglobin ( $\text{Hb}_{\text{dunkelrot}}$ ) geht in Oxyhämoglobin ( $\text{Hb}(\text{O}_2)_4$   $\text{hellrot}$ ) über. Es ist davon auszugehen, dass der Sauerstoff, der in der Lunge oder im Gewebe ausgetauscht wird, den Zustand der physikalischen Lösung durchläuft, und dann an Hämoglobin gebunden transportiert wird.

Folgende Gleichgewichte liegen vor:



Abb. 1

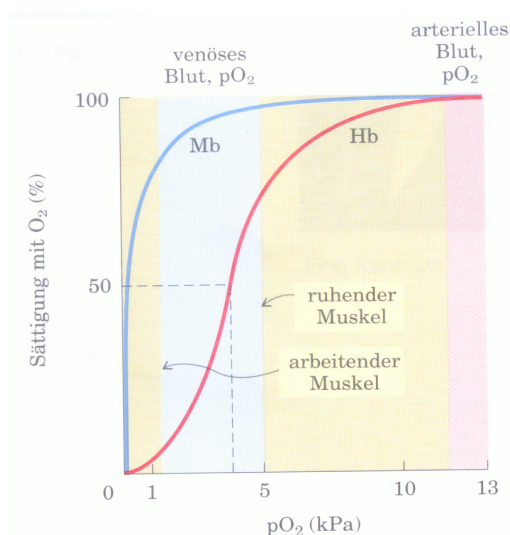


Abb. 2

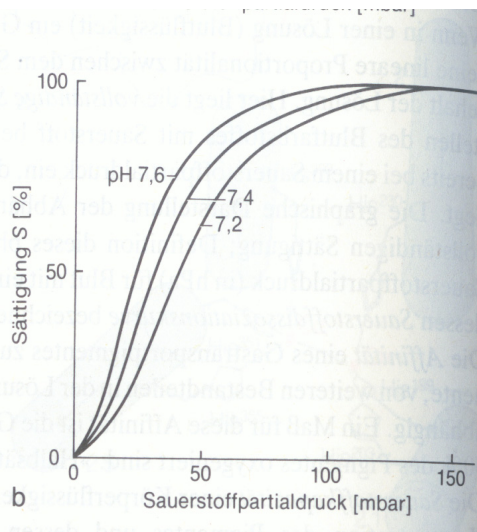


Abbildung 1: Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck<sup>32</sup>

Abbildung 2: Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck bei unterschiedlichen pH - Werten<sup>33</sup>

<sup>32</sup>L. Lehninger, D. L. Nelson, M. Cox: Prinzipien der Biochemie. Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 210

<sup>33</sup>ebenda, S. 217

### *Erklärungsmodell für die Sauerstoffbindung an das Hämoglobin*

Die Bindung von Sauerstoff an eine Untereinheit des Hämoglobins veranlasst die übrigen Untereinheiten des Moleküls zur leichten Konformationsänderung, was ihre Bindungsfähigkeit gegenüber Sauerstoff erhöht. Die zögerliche Beladung mit dem ersten Sauerstoffmolekül führt zu einer festeren Bindung mit den nachfolgenden drei weiteren Sauerstoffmolekülen. Wenn umgekehrt eine Untereinheit ihren Sauerstoff abgibt, wird die Abgabe des Sauerstoffs von den anderen drei Untereinheiten begünstigt, da eine eintretende Konformationsänderung ihre Sauerstoffbindungsfähigkeit erniedrigt. Da die Bindung eines O<sub>2</sub> – Moleküls die Affinität des Moleküls für weitere O<sub>2</sub> – Moleküle beeinflusst, gehört diese Bindung zu den sogenannten allosterischen Bindungen. Allosterische Bindungen zeigen sich in s – förmig verlaufenden Bindungskurven. Liegt keine Allosterie vor, nimmt die Kurve einen hyperbelartigen Verlauf, so wie sie ihn die Sauerstoffsättigungskurve von Myoglobin zeigt<sup>34</sup>. Die Beladung von Myoglobin mit Sauerstoff folgt im Gegensatz zur Sauerstoffbeladung des Hämoglobins dem Massenwirkungsgesetz. Gilt das Massenwirkungsgesetz für die Abhängigkeit der Sauerstoffsättigung vom Sauerstoffpartialdruck, ergibt die Auftragung der prozentualen Sauerstoffsättigung über dem Sauerstoffpartialdruck eine Hyperbel.

Der Konzentrationsanteil des Oxihämoglobins an der insgesamt vorliegenden Hämoglobin-konzentration wird als Sauerstoffsättigung des roten Blutfarbstoffes bezeichnet. Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins gibt an, wie viel % des Hämoglobins mit Sauerstoff gesättigt ist. Sie ist also ein Maß für die Transportfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff. Liegt nur desoxigeniertes Hämoglobin vor, beträgt die Sauerstoffsättigung 0%, ist das gesamte Hämoglobin in Oxihämoglobin übergegangen, so besteht eine 100%ige Sauerstoffsättigung.

Hämoglobin und Oxyhämoglobin weisen Unterschiede in der Lichtabsorption auf. Das desoxigenierte Hämoglobin absorbiert das Licht im langwelligeren Bereich etwas stärker und im kurzwelligen Bereich etwas schwächer als das Oxyhämoglobin. Daher erscheint das venöse Blut dunkler und bläulich gefärbt.

### **Literatur**

L. Lehninger, D. L. Nelson, M.M.Cox. Prinzipien der Biochemie. Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 210, S. 217

R. Schmidt, G. Thews. F. Lang (Hrsg). Physiologie des Menschen. Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 608 -609.

### **Internetadressen**

[http://www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html)

<http://www.hgo.de/patinfo.htm>

---

<sup>34</sup> ebenda, S.210 –211.



## Informationen für den Lehrer zur Station 4

### Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall

#### Aufgaben

##### Beobachtungen

1. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

##### Auswertung

2. Deuten Sie Ihre Beobachtungen mit Hilfe der beigefügten Ergänzungen über den Sauerstofftransport im Blut.
3. Beschreiben Sie die jeweilige Sauerstoffbindungskurve von Hämoglobin und Myoglobin in der Abbildung A und erklären Sie den unterschiedlichen Verlauf.
4. Warum wird Sauerstoff in den Lungenkapillaren vom Hämoglobin aufgenommen und in den Gewebekapillaren abgegeben? Begründen Sie dieses Phänomen mit Hilfe der Sauerstoffbindungskurve.
5. Wie wirkt sich eine Hyperventilation auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins in den Lungenkapillaren aus?

##### Erweiterung

6. Die Behandlung eines Patienten in einer Druckkammer ist die Standardtherapie für die meisten Formen der Dekompressionskrankheit. Worin besteht die Wirkung der Therapie?
7. Ein Rettungshubschrauber sollte ein Flughöhe von 300 m nicht überschreiten, wenn ein Patient transportiert wird, der deutlich an Symptomen der Dekompressionskrankheit leidet. Begründen Sie die Begrenzung der Flughöhe.

#### Lösungen

- ad 1 Durch Einleitung von Sauerstoff verfärbt sich das Blut heller rot. Wird Kohlenstoffdioxid eingeatmet, ändert sich die Färbung ins Dunkelrote. Wird Sauerstoff durch Wasser geleitet, so werden nur 0 – 3 ml Sauerstoff gelöst. Im Blut hingegen lösen sich 5 – 10 ml. Kalkwasser färbt sich milchig.
- ad 2 Gelangt in der Lunge Sauerstoff von den Alveolen in die arteriellen Lungenkapillaren, wird das Gas dort zunächst physikalisch gelöst. Es gilt folgendes Gleichgewicht:  $O_2(g) \rightleftharpoons O_2(aq)$ . Die Löslichkeit des Sauerstoffs in der Flüssigkeit ist nach dem Gesetz von Henry proportional zum Partialdruck in der mit der Flüssigkeit in Kontakt stehenden Gasphase. Die Henrysche – Konstante ist um das Zwanzigfache niedriger als die von Kohlenstoffdioxid. Infolge des 20 mal größeren Wertes der Henryschen Konstante für Kohlenstoffdioxid ist trotz des niedrigeren Kohlenstoffdioxid - Partialdrucks im arteriellen Blut 9 mal mehr Kohlenstoffdioxid als Sauerstoff physikalisch gelöst enthalten<sup>35</sup>. Der überwiegende Teil des Sauerstoffs, der im Blut gelöst ist, wird an Hämoglobin gebunden. Die Quartärstruktur des Hämoglobins besteht aus vier Eiweiß- und vier Farbstoffkomponenten. Eine Hämgruppe enthält ein zweifach positiv geladenes Eisenion, das von vier Protophyrinsystemen umschlossen ist. Vier Sauerstoffmoleküle können nacheinander an vier Eisenionen gebunden werden, ohne dass eine Redoxreaktion stattfindet. Die zögerliche Beladung mit dem ersten Sauerstoffmolekül führt zu einer festeren Bindung mit den nachfolgenden drei weiteren Sauerstoffmolekülen. Wenn umgekehrt eine Untereinheit ihren Sauerstoff abgibt, wird die Abgabe des Sauerstoffs von den anderen drei Untereinheiten be-

<sup>35</sup> R. Schmidt, G. Thews, F. Lang (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 608.

günstigt, da eine eintretende Konformationsänderung ihre Sauerstoffbindungsfähigkeit erniedrigt<sup>36</sup>.

- ad 3 Wird die Sättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit zum Sauerstoffpartialdruck gemessen, ergibt sich eine sigmoide Sättigungskurve, wobei der Anstieg bei niedrigen Partialdrücken gering ist, bei mittleren Partialdrücken stärker zunimmt, und näherungsweise linear wird, und bei höheren Partialdrücken abnimmt. In jenem Bereich des Sauerstoffpartialdruckes, in dem die Kurve steil verläuft, führt eine geringfügige Veränderung des Partialdruckes zu einem deutlich messbaren Be- und Entladen des Hämoglobins. Die Sauerstoffbindungskurve von Myoglobin beschreibt eine annähernd rechtwinklig, streng monoton steigende Hyperbel, die sich einer horizontalen Asymptote annähert. Der Verlauf des Graphen spricht dafür, dass - im Gegensatz zur Sauerstoffbindung des Hämoglobins - beim Myoglobin die Sauerstoffanlagerung an das Transportmolekül dem Massenwirkungsgesetz folgt. Der s – förmige Verlauf der Sauerstoffbindungskurve des Hämoglobins zeigt, dass die Bindung des Sauerstoffs an Hämoglobin nicht mit dem Massenwirkungsgesetz zu beschreiben ist. Zu erwarten wäre ein hyperbelartiger Verlauf der Sättigungskurve, würde sich die graphische Darstellung aus dem mathematischen Zusammenhang erschließen, der sich aus dem Massenwirkungsgesetz für die Sauerstoffbindung des Hämoglobins ergibt. Da es sich beim Hämoglobin um ein allosterisches Molekül handelt, ändert sich die Bindefähigkeit zum Sauerstoff, je nachdem ob schon Sauerstoff gebunden vorliegt oder nicht. Damit ändert sich auch der Wert der Gleichgewichtskonstanten. Die Strukturänderung des Hämoglobins nach Bindung eines Sauerstoffmoleküls bewirkt, dass im sich neu einstellenden Gleichgewicht die Konzentration des beladenen Hämoglobins erhöht ist. Damit besitzt die Gleichgewichtskonstante für die weitere Beladung mit Sauerstoff einen deutlich höheren Wert als die Gleichgewichtskonstante für die Sauerstoffbindung eines unbeladenen Moleküls.
- ad 4 Bei der Sauerstoffaufnahme in der Lunge gleicht sich der Sauerstoffpartialdruck des Blutes weitgehend dem alveolären Sauerstoffpartialdruck an. Im arteriellen Blut eines Jugendlichen beträgt der Sauerstoffpartialdruck im Mittel 12 kPa. Wie aus der Kurve ersichtlich ist, ist Hämoglobin zu 98% gesättigt. Beträgt der Partialdruck nur 8 kPa, liegt dennoch eine Sättigung von 90% vor. Der flache Verlauf der Sauerstoffbindungskurve im höheren Partialdruckbereich stellt also eine wirkungsvolle Sicherung gegen eine Untersättigung des arteriellen Blutes dar. Für die Sauerstoffabgabe im Gewebe kommt es darauf an, dass je nach Bedarf die Sauerstoffabgabe gewährleistet ist, ohne dass größere Schwankungen des Partialdruckes damit einher gehen. In körperlicher Ruhe liegt am venösen Kapillarende im Mittel ein Sauerstoffpartialdruck von 5,3 kPa und damit eine Sättigung von 73 % vor. Sinkt der venöse Partialdruck infolge eines erhöhten Verbrauches nur um 0,7 kPa ab, dann wird die Sauerstoffsättigung um 7% herabgesetzt und der zusätzliche Sauerstoff wird dem Gewebe zur Verfügung gestellt.
- ad 5 In den Lungenalveolen und auch in den angrenzenden Lungenkapillaren wird durch Hyperventilation der Kohlenstoffdioxidpartialdruck erniedrigt. Die Gleichgewichtslage des Kohlensäure/Hydrogencarbonat - gleichgewichtes verschiebt sich zugunsten der Kohlensäure und damit wird durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid infolge der Reaktion von Hydrogencarbonationen mit Oxoniumionen der durch die Hyperventilation hervorgerufenen Störung entgegengewirkt. Die damit verknüpfte pH - Werterhöhung wirkt sich auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins aus. Bei gleichem Sauerstoffpartialdruck wird bei erhöhtem pH – Wert mehr Sauerstoff gebunden.
- ad 6 Durch das Einatmen von Sauerstoff unter Überdruck wird der Sauerstoffpartialdruck im Blut erhöht. Da schon bei Normaldruck nahezu 100% des Hämoglobins Sauerstoff gebunden hat, wird der Sauerstoff im Plasma gelöst und steht direkt dem Gewebe zur besseren Versorgung zur Verfügung. Wird reiner Sauerstoff eingeatmet, reduziert sich der Partialdruck des Stickstoffs im Blut. Je größer die Partialdruckdifferenz zwischen Gewebe und Blut ist, desto schneller geschieht dies. Wird der Druck von 280 kPa auf 101,3 kPa über sechs Stunden stufenweise gesenkt, so entspricht dies den nötigen Dekompressionspausen, um den sich bildenden, gasförmigen Stickstoff angemessen abzuatmen.

<sup>36</sup> R. F. Schmidt, G. Thews, F.Lang: Physiologie des Menschen. Berlin. Springer, Heidelberg, .New York, 2000, S.609.

### Anmerkung

Das Einleiten von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in Blut ist als Demonstrationsexperiment gut für eine Einzelstunde geeignet. Die Schüler werden vertraut gemacht im Umgang mit Blut. Dies ist umso leichter möglich, wenn der Aufbau auf weißem Untergrund erfolgt und der Kontrast zur roten Blutfarbe artifiziell stilisiert ist. Gelingt die Performance, werden unangenehme Gefühle, die mit Blut verknüpft sein können, weitgehend unterbunden. Um zu erreichen, dass kein Blut auf Tische, Stühle und Kleidung kommt, sollten die Gaseinleitungsrohre an den Stahlflaschen in angemessener Form befestigt werden.

### **Literatur**

L. Lehninger, D. L. Nelson, M.M.Cox. Prinzipien der Biochemie. Spektrum. Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 210, S. 217

R. Schmidt, G. Thews. F. Lang (Hrsg). Physiologie des Menschen. Springer. New York, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 608 - 609.

### **Internetadressen**

[http://www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html)

<http://www.hgo.de/patinfo.htm>

## Station 5

### Eine Variante zu Versuch 4

### Atmen in großen Höhen

Ein Team von Wissenschaftlern verbrachte 40 Tage in einer kleinen Stahlkammer, deren Druck allmählich auf die entsprechenden Werte des Mount Everest - Gipfels vermindert wurde. Sechs von den acht Männern des Teams simulierten mehrmals den Gipfelsturm, nachdem sie 10 Tage unter Bedingungen gelebt hatten, die Höhen zwischen 7300 und 7600 Metern entsprachen. Drei Teammitglieder mussten vorzeitig aus dem Experiment aussteigen, da bei ihnen Symptome der Höhenkrankheit auftraten. Zwei von ihnen waren extrem kurzatmig und klagten über Kopfschmerzen, manchmal auch über Übelkeit. Der Ausstieg aus der Druckkammer war die beste Medizin, denn das allgemeine Befinden verbesserte sich deutlich, nachdem sie die Druckkammer verließen. Ein Teammitglied erkrankte ernsthaft. Der Betroffene hatte zusätzlich zu seiner Kurzatmigkeit einen quälenden Husten mit blutvermischten, schaumigen Auswurf. Wie sich nach dem Druckkammeraufenthalt herausstellte, hatte sich Flüssigkeit in seinen beiden Lungenflügeln angesammelt<sup>37</sup>.

**Wie lassen sich die unterschiedlichen Erscheinungsformen der Höhenkrankheit erklären? Die Wirkung von Sauerstoff auf Blut können Sie in nachfolgenden Experiment überprüfen.**

#### Experiment 1

##### Geräte und Chemikalien

Drei 500 ml – Bechergläser, 3 Glasstäbe, 4%ige Natriumcitratlösung, 5%ige Ammoniumoxalatlösung, Propanol, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid

##### Durchführung

- Füllen Sie ein Glas zu 4/5 des Volumens mit Blut. Die restlichen 1/5 des Glasvolumens werden mit 4%iger Natriumcitratlösung oder mit 5%iger Ammoniumoxalatlösung aufgefüllt und mit einem Glasstab gut aber kurz vermischt. Die Behandlung dient dazu, Calciumionen zu fällen, um die Gerinnung zu verhindern.
- Zwei 500 ml – Bechergläser werden je mit 100 ml Blut, das Sie mit Natriumcitratlösung oder Ammoniumoxalatlösung versehen haben, gefüllt und mit 2 – 3 Tropfen Propanol zur Minderung der Schaumbildung versetzt.
- Leiten Sie in das eine Becherglas Sauerstoff, in das andere Kohlenstoffdioxid ein.
- Vertauschen Sie die beiden Bechergläser und leiten Sie erneut Sauerstoff bzw. Kohlenstoffdioxid ein.
- Wechseln Sie erneut.

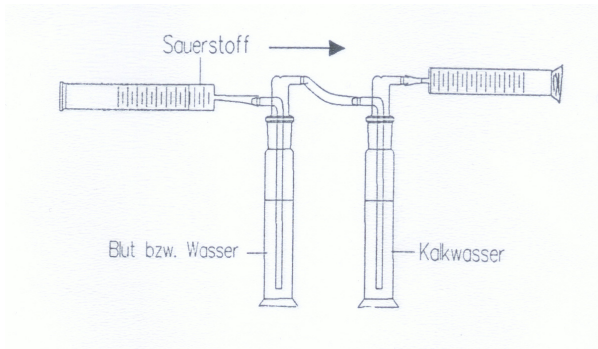
##### Anmerkung

- Der Versuch wird auf einer weißen Unterlage durchgeführt.
- Überprüfen Sie den Gasdruck im Einleitungsrohr. Führen Sie einen Vorversuch mit Wasser durch.
- Leiten Sie die Gase vorsichtig ein, um unnötige Schaumbildung im Blut zu vermeiden.
- Um zu erreichen, dass kein Blut auf Tische, Stühle und Kleidung kommt, befestigen Sie die Gaseinleitungsrohre an den Stahlflaschen in den dafür vorgesehenen Klemmen.

<sup>37</sup> C.S. Houston: Die Höhenkrankheit. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1992, S. 64-70.

**Experiment 2**<sup>38</sup>Geräte und Chemikalien

2 Waschflaschen, 2 Kolbenprober, 3 Schlauchstücke, Blut, Wasser,

VersuchsaufbauDurchführung

- Geben Sie 50 – 100 ml Wasser in eine Waschflasche und leiten Sie Kohlenstoffdioxid ein.
- Leiten Sie danach Stickstoff durch die Lösung.
- Stellen Sie die Apparatur nach Vorlage zusammen.
- Leiten Sie mehrmals 100 ml Sauerstoff durch.
- Wiederholen Sie den Versuch mit dem gleichen Volumen Blut. Um die Schaumbildung einzuschränken, können Sie wenige Tropfen Propanol hinzufügen.

Anmerkungen

Achten Sie darauf, dass die Apparatur dicht ist und dicht bleibt. Das Kalkwasser dient dazu, Kohlenstoffdioxid, das aus dem Blut ausgetrieben wird, aufzufangen.

Beobachtungen

1. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Auswertung

2. Deuten Sie Ihre Beobachtungen mit Hilfe der beigefügten Informationen über den Sauerstofftransport im Blut.
3. Beschreiben Sie die jeweilige Sauerstoffbindungskurve von Hämoglobin und Myoglobin in der Abbildung A und erklären Sie den unterschiedlichen Verlauf.
4. Warum wird Sauerstoff in den Lungenkapillaren vom Hämoglobin aufgenommen und in den Gewebekapillaren abgegeben? Begründen Sie dieses Phänomen mit Hilfe der Sauerstoffbindungskurve.
5. Wie wirkt sich eine Hyperventilation auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins in den Lungenkapillaren aus?

<sup>38</sup> I. Parchmann: Transport von Sauerstoff im Blut – Anhang zur Lehrprobe Biologie, Klasse 9. unveröffentlicht.

Erweiterung

- Geben Sie eine Erklärung für die schnellere und tiefere Atmung als auffälliges Kennzeichen der Höhenkrankheit und geben Sie eine Prognose für die Auswirkungen der Kurzatmigkeit auf den Säure – Base – Haushalt im Blut.
- Wie gelingt es Bergsteigern, Höhen von 6000 Metern zu bewältigen und sogar kurze Zeit auf dem Mount Everest zu verweilen? Informieren Sie sich unter folgenden Internetadressen:
- Eine Überdosis von Erythropoietin wird bei Radprofis als Dopingmittel gehandelt. Erklären Sie die Wirkungsweise von Erythropoietin und rufen Sie dazu folgende Internetadressen auf:

<http://www.interpharma.ch/gen/medikamente/TgMBlutarmut.html>

<http://www.swiss-sport.ch/sov/d/doping/dopliste.htm>

[http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige\\_pm.html](http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige_pm.html)

<http://www.uni-regensburg.de/Universitaet/Foschungsbericht/f-PD-43.html>

**Informationen***Hämoglobin*

Die Erythrozyten transportieren den roten Blutfarbstoff, das Hämoglobin. Die Quartärstruktur des Hämoglobins besteht aus vier Eiweiß- und vier Farbstoffkomponenten (Hämgruppen). Eine Hämgruppe enthält ein zweifach positiv geladenes Eisenion, das von vier Porphyrinsystemen eingeschlossen ist. Vier Sauerstoffmoleküle können nacheinander an vier Eisenionen des Hämoglobins locker gebunden werden, ohne dass eine Redoxreaktion stattfindet. Das Hämoglobin ( $\text{Hb}_{\text{dunkelrot}}$ ) geht in Oxyhämoglobin ( $\text{Hb}(\text{O}_2)_4_{\text{hellrot}}$ ) über. Es ist davon auszugehen, dass der Sauerstoff, der in der Lunge oder im Gewebe ausgetauscht wird, den Zustand der physikalischen Lösung durchläuft, und dann an Hämoglobin gebunden transportiert wird.

Folgende Gleichgewichte liegen vor:



Abb 3.

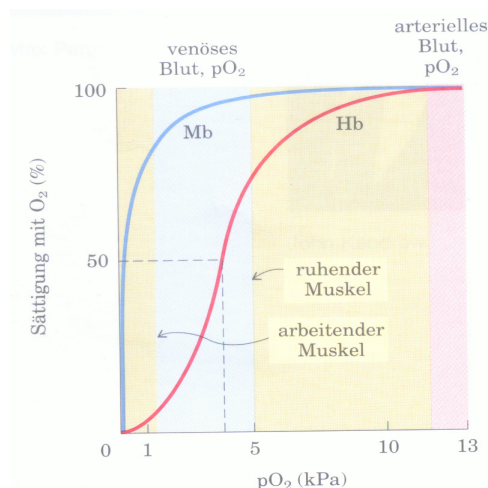


Abbildung 3. Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck<sup>39</sup>

Abb. 4

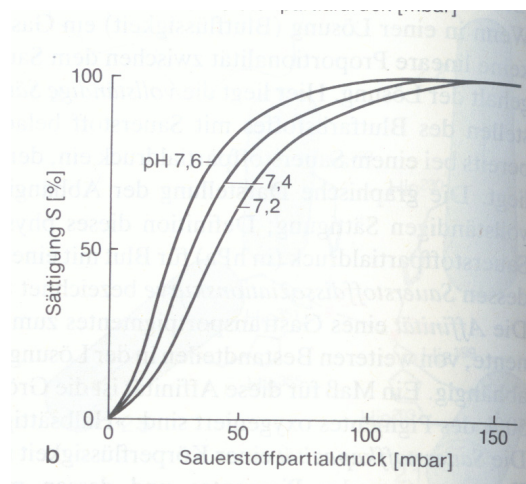


Abbildung 4: Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck bei unterschiedlichen pH - Werten<sup>40</sup>

<sup>39</sup>L. Lehninger, D. L. Nelson, M. Cox: Prinzipien der Biochemie. Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 210

<sup>40</sup>ebenda, S. 217

*Erklärungsmodell für die Sauerstoffbindung an das Hämoglobin*

Die Bindung von Sauerstoff an eine Untereinheit des Hämoglobins veranlasst die übrigen Untereinheiten des Moleküls zur leichten Konformationsänderung, was ihre Bindungsfähigkeit gegenüber Sauerstoff erhöht. Die zögerliche Beladung mit dem ersten Sauerstoffmolekül führt zu einer festeren Bindung mit den nachfolgenden drei weiteren Sauerstoffmolekülen. Wenn umgekehrt eine Untereinheit ihren Sauerstoff abgibt, wird die Abgabe des Sauerstoffs von den anderen drei Untereinheiten begünstigt, da eine eintretende Konformationsänderung ihre Sauerstoffbindungsfähigkeit erniedrigt. Da die Bindung eines  $O_2$  – Moleküls die Affinität des Moleküls für weitere  $O_2$  – Moleküle beeinflusst, gehört diese Bindung zu den sogenannten allosterischen Bindungen. Allosterische Bindungen zeigen sich in sigmoiden Bindungskurven. Liegt keine Allosterie vor, nimmt die Kurve einen hyperbolischen Verlauf<sup>41</sup>. Die Beladung von Myoglobin mit Sauerstoff folgt im Gegensatz zur Sauerstoffbeladung des Hämoglobins dem Massenwirkungsgesetz. Gilt das Massenwirkungsgesetz für die Abhängigkeit der Sauerstoffsättigung vom Sauerstoffpartialdruck, ergibt die Auftragung der prozentualen Sauerstoffsättigung über dem Sauerstoffpartialdruck eine Hyperbel.

Der Konzentrationsanteil des Oxihämoglobins an der insgesamt vorliegenden Konzentration wird als Sauerstoffsättigung des roten Blutfarbstoffes bezeichnet. Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins gibt an, wie viel % des Hämoglobins mit Sauerstoff gesättigt ist, sie ist also ein Maß für die Transportfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff. Liegt nur desoxygeniertes Hämoglobin vor, beträgt die Sauerstoffsättigung 0%, ist das gesamte Hämoglobin in Oxihämoglobin übergegangen, so besteht eine 100%ige Sauerstoffsättigung.

Hämoglobin und Oxyhämoglobin weisen Unterschiede in der Lichtabsorption auf. Das desoxygenierte Hämoglobin absorbiert das Licht im langwelligeren Bereich etwas stärker und im kurzwelligen Bereich etwas schwächer als das Oxyhämoglobin. Daher erscheint das venöse Blut dunkler und bläulich gefärbt.

*Einige physiologische Auswirkungen des Sauerstoffmangels*

Bei Sauerstoffmangel sammelt sich in den Auskleidungen der Lungenbläschen Flüssigkeit an, die mit der Zeit in die Lungenbläschen sickern kann. Dadurch wird der Übertritt von Sauerstoff ins Blut blockiert und die Bläschen füllen sich mit Flüssigkeit. Dies wiederum verursacht einen quälenden Husten mit zum Teil schaumigen und blutvermischten Auswurf.

---

<sup>41</sup> ebenda, S.210 –211.

## Informationen für den Lehrer zur Station 5

### Atmen in großen Höhen

#### Aufgaben

##### Beobachtungen

1. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

##### Auswertung

2. Deuten Sie Ihre Beobachtungen mit Hilfe der beigefügten Ergänzungen über den Sauerstofftransport im Blut.
3. Beschreiben Sie die jeweilige Sauerstoffbindungskurve von Hämoglobin und Myoglobin in der Abbildung A und erklären Sie den unterschiedlichen Verlauf.
4. Warum wird Sauerstoff in den Lungenkapillaren vom Hämoglobin aufgenommen und in den Gewebekapillaren abgegeben?. Begründen Sie dieses Phänomen mit Hilfe der Sauerstoffbindungskurve.
5. Wie wirkt sich eine Hyperventilation auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins in den Lungenkapillaren aus?

##### Erweiterung

6. Geben Sie eine Erklärung für die schnellere und tiefere Atmung als auffälliges Kennzeichen der Höhenkrankheit und geben Sie eine Prognose für die Auswirkungen der Kurzatmigkeit auf den Säure – Base – Haushalt im Blut.
7. Wie gelingt es Bergsteigern, Höhen von 6000 Metern zu bewältigen und sogar kurze Zeit auf dem Mount Everest zu verweilen?
8. Eine Überdosis von Erythropoietin wird bei Radprofis als Dopingmittel gehandelt. Erklären Sie die Wirkungsweise von Epoerythropoietin und rufen Sie dazu folgende Internetadressen auf:

<http://www.interpharma.ch/gen/medikamente/TgMBlutarmut.html>

<http://www.swiss-sport.ch/sov/d/doping/dopliste.htm>

[http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige\\_pm.html](http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige_pm.html)

<http://www.uni-regensburg.de/Universitaet/Forschungsbericht/f-PD-43.html>

#### Lösungen

- ad 1 Durch Einleitung von Sauerstoff verfärbt sich das Blut heller rot. Wird Kohlenstoffdioxid eingeatmet, ändert sich die Färbung ins Dunkelrote. Wird Sauerstoff durch Wasser geleitet, so werden nur 0 – 3 ml Sauerstoff gelöst. Im Blut hingegen lösen sich 5 – 10 ml. Kalkwasser färbt sich milchig.
- ad 2 Gelangt in der Lunge Sauerstoff von den Alveolen in die arteriellen Lungenkapillaren, wird das Gas dort zunächst physikalisch gelöst. Es gilt folgendes Gleichgewicht:  $O_2(g) \rightleftharpoons O_2(aq)$ . Die Löslichkeit des Sauerstoffs in der Flüssigkeit ist nach dem Gesetz von Henry proportional zum Partialdruck in der mit der Flüssigkeit in Kontakt stehenden Gasphase. Die Henrysche – Konstante ist um das Zwanzigfache niedriger als die von Kohlenstoffdioxid. Infolge des 20 mal größeren Wertes der Henryschen Konstante für Kohlenstoffdioxid ist trotz des niedrigeren Kohlenstoffdioxid - Partialdrucks im arteriellen Blut neunmal mehr Kohlenstoffdioxid als Sauerstoff physikalisch gelöst enthalten<sup>42</sup>. Der überwiegende Teil des Sauerstoffs, der im Blut gelöst ist, wird an Hämoglobin gebunden. Die Quartärstruktur des Hämoglobins besteht aus vier Eiweiß- und vier Farbstoffkomponenten. Eine Hämgruppe enthält ein zweifach positiv geladenes Eisenion, das von vier Protophyrinsystemen umschlossen ist. Vier Sauerstoffmoleküle können nach-

<sup>42</sup> R. Schmidt, G. Thews, F. Lang (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 608.



einander an vier Eisenionen gebunden werden, ohne dass eine Redoxreaktion stattfindet. Die zögerliche Beladung mit dem ersten Sauerstoffmolekül führt zu einer festeren Bindung mit den nachfolgenden drei weiteren Sauerstoffmolekülen. Wenn umgekehrt eine Untereinheit ihren Sauerstoff abgibt, wird die Abgabe des Sauerstoffs von den anderen drei Untereinheiten begünstigt, da eine eintretende Konformationsänderung ihre Sauerstoffbindungsfähigkeit erniedrigt<sup>43</sup>.

- ad 3 Wird die Sättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit zum Sauerstoffpartialdruck gemessen, ergibt sich eine sigmoide Sättigungskurve, wobei der Anstieg bei niedrigen Partialdrücken gering ist, bei mittleren Partialdrücken stärker zunimmt, und näherungsweise linear wird, und bei höheren Partialdrücken abnimmt. In jenem Bereich des Sauerstoffpartialdruckes, in dem die Kurve steil verläuft, führt eine geringfügige Veränderung des Partialdruckes zu einem deutlich messbaren Be- und Entladen des Hämoglobins. Die Sauerstoffbindungskurve von Myoglobin beschreibt eine annähernd rechtwinklig, streng monoton steigende Hyperbel, die sich einer horizontalen Asymptote annähert. Der Verlauf spricht dafür, dass - im Gegensatz zur Sauerstoffbindung des Hämoglobins - beim Myoglobin die Sauerstoffanlagerung dem Massenwirkungsgesetz folgt. Der s – förmige Verlauf der Sauerstoffbindungskurve des Hämoglobins zeigt, dass die Bindung des Sauerstoffs an Hämoglobin nicht mit dem Massenwirkungsgesetz zu beschreiben ist. Zu erwarten wäre ein hyperbelartiger Verlauf der Sättigungskurve, würde sich die graphische Darstellung aus dem mathematischen Zusammenhang erschließen, der sich aus dem Massenwirkungsgesetz für die Sauerstoffbindung des Hämoglobins ergibt. Da es sich beim Hämoglobin um ein allosterisches Molekül handelt, ändert sich die Bindefähigkeit zum Sauerstoff, je nachdem ob schon Sauerstoff gebunden vorliegt oder nicht. Damit ändert sich auch der Wert der Gleichgewichtskonstanten. Die Strukturänderung des Hämoglobins nach Bindung eines Sauerstoffmoleküls bewirkt, dass im sich neu einstellenden Gleichgewicht die Konzentration des beladenen Hämoglobins erhöht ist. Damit besitzt die Gleichgewichtskonstante für die weitere Beladung mit Sauerstoff einen deutlich höheren Wert als die Gleichgewichtskonstante für die Sauerstoffbindung eines unbeladenen Moleküls.
- ad 4 Bei der Sauerstoffaufnahme in der Lunge gleicht sich der Sauerstoffpartialdruck des Blutes weitgehend dem alveolären Sauerstoffpartialdruck an. Im arteriellen Blut eines Jugendlichen beträgt der Sauerstoffpartialdruck im Mittel 12 kPa. Wie aus der Kurve ersichtlich ist, ist Hämoglobin zu 98% gesättigt. Beträgt der Partialdruck nur 8 kPa, liegt dennoch eine Sättigung von 90% vor. Der flache Verlauf der Sauerstoffbindungskurve im höheren Partialdruckbereich stellt also eine wirkungsvolle Sicherung gegen eine Untersättigung des arteriellen Blutes dar. Für die Sauerstoffabgabe im Gewebe kommt es darauf an, dass je nach Bedarf die Sauerstoffabgabe gewährleistet ist, ohne dass größere Schwankungen des Partialdruckes damit einher gehen. In körperlicher Ruhe liegt am venösen Kapillarende im Mittel ein Sauerstoffpartialdruck von 5,3 kPa und damit eine Sättigung von 73 % vor. Sinkt der venöse Partialdruck infolge eines erhöhten Verbrauches nur um 0,7 kPa ab, dann wird die Sauerstoffsättigung um 7% herabgesetzt und der zusätzliche Sauerstoff wird dem Gewebe zur Verfügung gestellt.
- ad 5 In den Lungenalveolen und auch in den angrenzenden Lungenkapillaren wird durch Hyperventilation der Kohlenstoffdioxidpartialdruck erniedrigt. Die Gleichgewichtslage des Kohlensäure/Hydrogencarbonat - gleichgewichtes verschiebt sich zugunsten der Kohlensäure und damit wird durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid infolge der Reaktion von Hydrogencarbonationen mit Oxoniumionen der durch die Hyperventilation hervorgerufenen Störung entgegengewirkt. Die damit verknüpfte pH - Werterhöhung wirkt sich auf die Sauerstoffbindung des Hämoglobins aus. Bei gleichem Sauerstoffpartialdruck wird bei erhöhtem pH – Wert mehr Sauerstoff gebunden. Damit einher geht die Alkalose. Die pH – Werterhöhung schränkt Enzymaktivitäten ein.
- ad 6 Auf dem Gipfel des Mount Everest in 8848 Metern Höhe beträgt der Luftdruck nicht einmal ein Drittel desjenigen auf Meereshöhe. Dementsprechend reduziert ist der Sauerstoffpartialdruck.

<sup>43</sup> R. F. Schmidt, G. Thews, F.Lang (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S.609.

C.S. Houston: Die Höhenkrankheit. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1992, S. 64-70.

Auf den Sauerstoffmangel reagiert der Organismus mit schneller und vertiefter Atmung, so dass mehr Luft in die Lungen gelangt. Damit steigt der Sauerstoffpartialdruck in den Lungenbläschen. Einher mit der Hyperventilation und der damit verknüpften Erhöhung des Sauerstoffpartialdruckes geht aber auch eine Erniedrigung des Kohlenstoffdioxidpartialdruckes, was wiederum einen Oxoniumionenmangel und damit eine pH –Werterhöhung zu Folge hat. Um der drohenden Alkalose zu entgehen und den pH –Wert des Blutes weitgehend konstant zu halten, scheidet der Körper verstärkt Hydrogencarbonat aus, so dass weniger Kohlenstoffdioxid ausgeatmet wird.

- ad 7 Wie wirkungsvoll sich der Körper akklimatisiert, hängt davon ab, ob die beiden gegensätzlichen Forderungen – zusätzliches Sauerstoffangebot und konstanter pH – Wert erfüllt werden. Zusätzlich bildet der Körper neues Hämoglobin und steigert die Anzahl der roten Blutkörperchen. Unter normalen Sauerstoffbedingungen inaktive Blutkapillaren werden zusätzlich aktiviert, um das Gewebe effektiver mit Blut zu versorgen.
- ad 8 Erythropoietin. wirkt auf die Zellen des roten Knochenmarkes und fördert die Erythrozytenbildung. Da die roten Blutkörperchen normalerweise nur 120 Tage leben, ist durch eine kontinuierliche äußere Zufuhr von Erythropoietin eine Möglichkeit gegeben, den Hämoglobingehalt künstlich hoch zu halten.

### Literatur

C.S. Houston: Die Höhenkrankheit. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1992, S. 64-70.

L. Lehninger, D. L. Nelson, M. Cox: Prinzipien der Biochemie. Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 210, S. 217

R. Schmidt, G. Thews. F. Lang (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 608 - 609.

### Internetadressen

<http://www.interpharma.ch/gen/medikamente/TgMBlutarmut.html>

<http://www.swiss-sport.ch/sov/d/doping/dopliste.htm>

[http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige\\_pm.html](http://idw.tu-clausthal.de/public/pmid-12947/zeige_pm.html)

<http://www.uni-regensburg.de/Universitaet/Foschungsbericht/f-PD-43.html>

## Station 6

### Blutpuffer - Möglichkeiten und Grenzen

Der pH – Wert des Blutes ist für einen Arzt das Kriterium, um eine mögliche Störung im Säure – Base – Haushalt des Patienten festzustellen. Immer dann, wenn ein Erkrankter bei Bewusstsein ist, aber hektisch ein- und ausatmet, ist das für den behandelnden Arzt ein Hinweis dafür, dass der pH – Wert des Blutes nicht der Norm entspricht. Bei fehlender Behandlung droht Lebensgefahr.

**Welche Faktoren bestimmen den pH – Wert des Blutes? Untersuchen Sie in den folgenden zwei Experimenten die Ursachen für pH – Wertänderungen.**

#### Experiment 1 <sup>44</sup>

##### Geräte und Chemikalien

Vier 250 ml-Bechergläser, pH – Elektrode, Pasteurpipette, Salzsäure  $c = 0,1 \text{ mol/L}$ , Natronlauge  $c = 0,1 \text{ mol/L}$ , Schutzbrille.

##### Versuchsdurchführung

- Geben Sie 50 ml Schweineblut in ein Becherglas und bestimmen Sie den pH – Wert mit einer pH – Elektrode.
- Geben Sie aus einer Pasteurpipette fünf Tropfen Salzsäure mit der Konzentration  $c = 0,1 \text{ mol/l}$  zu der Blutprobe und bestimmen Sie nach Zugabe von jedem Tropfen den pH – Wert.
- Wiederholen Sie den Versuch mit Natronlauge der Konzentration  $c = 0,1 \text{ mol/l}$  und einer neuen Blutprobe.
- Bestimmen Sie den pH – Wert von Leitungswasser.
- Versetzen Sie das Leitungswasser mit 5 Tropfen Salzsäure und bestimmen Sie den pH – Wert.
- Versetzen Sie eine neue Probe Leitungswasser mit 5 Tropfen Natronlauge und bestimmen Sie den pH - Wert erneut.

##### Anmerkung

Fügen Sie Säure hinzu, müssen Sie das pH – Meter vorher auf  $\text{pH} = 7$  und  $\text{pH} = 4$  einzeichnen.

Fügen Sie Lauge hinzu, müssen Sie das pH –Meter auf  $\text{pH} = 7$  und  $\text{pH} = 9,2$  einzeichnen.

##### Messungen

1.1. Protokollieren Sie Ihre Messung in nachfolgende Tabelle.

Wasser						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						

<sup>44</sup> A. Haberkost, F. Deutschmann: Chemische Untersuchung von Blut. Praxis der Naturwissenschaften Chemie. 7/48, 1999, S. 38-44.

Blut						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						

### Auswertungen

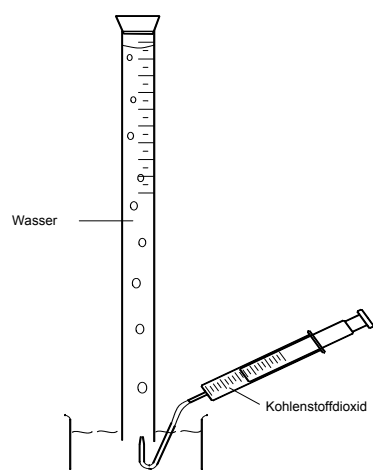
- 1.2. Beschreiben Sie die unterschiedliche Reaktion von Blut und Wasser nach Salzsäure- bzw. nach Natronlaugezugabe. Welche Eigenschaften lassen sich daraus für die Teilchenarten im Blut ableiten?
- 1.3. Formulieren Sie die Reaktionsschemata und die Gleichgewichtskonstanten für nachfolgende Reaktionen:
  - Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser
  - Bildung von Kohlensäure aus physikalisch gelöstem Kohlenstoffdioxid und Wasser
  - Bildung von Hydrogencarbonationen und Oxoniumionen aus Kohlensäure.
- 1.4. Entwickeln Sie aus dem MWG die Henderson – Hasselbalch – Gleichung für die Bildung von Hydrogencarbonationen und Oxoniumionen aus Kohlensäure.
- 1.5. Erklären Sie die unterschiedlichen pH – Werte von Blut und Wasser nach gleichem Säure- bzw. Baseneintrag.

### **Experiment 2<sup>45</sup>**

#### Geräte und Chemikalien

Durchsichtiger Kunststoffschlauch (Höhe: ca 2,05 m, Durchmesser<sub>(innen)</sub> 2,6 cm, erhältlich im Technikhandel), Kolbenprober, Schlauchstück, 2 Stopfen, Kunststoffschüssel, Salzsäure  $c = 2\text{ mol/L}$ , Trichter, Standleiter, Zollstock, Schutzbrille, Schutzhandschuhe.

#### Versuchsaufbau



<sup>45</sup> Variante des Glassäulenversuches von I. Parchmann, A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinemann: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. CHEMKON 7. Jahrg, Nr.2, 2000, S. 85-86.

### Versuchsdurchführung

- Der Kunststoffschlauch wird unten mit einem Stopfen verschlossen und randvoll mit Salzsäure der Konzentration  $c = 2 \text{ mol/l}$  gefüllt.
- Der Schlauch wird soweit abgesenkt, bis die untere Öffnung in eine mit Wasser gefüllte Kunststoffwanne tief eintaucht.
- Das obere Ende des Schlauches wird ebenfalls mit einem Stopfen verschlossen. Der untere Stopfen wird vorsichtig entfernt.
- Mit Hilfe eines Kolbenprobers, an dessen Ende sich ein Schlauchstück mit einem länglichen Ausströmerstein (im Aquarienhandel erhältlich) befindet, werden 100 ml Kohlenstoffdioxid durch die untere Öffnung eingeleitet.
- Zum Vergleich wird der Schlauch mit Wasser gefüllt und es werden ebenso 100 ml Kohlenstoffdioxid eingeleitet.

### Anmerkungen

- Die Salzsäure wird auf einer Standleiter **mit Schutzbrille und Schutzhandschuhen** eingefüllt.
- Der schmale Ausströmerstein aus dem Aquarienzubehör wird bei geöffneten Kolbenprober angeschlossen. Dabei beträgt das Gasvolumen mehr als 100 ml. Erst nach Anschluss des Ausströmersteins wird das Volumen auf genau 100 ml eingestellt.
- Das Gas wird langsam und gleichmäßig eingelassen, aber so, dass viele kleine Blasen entstehen.
- Die Länge der Wassersäule wird abgemessen, wenn die Blasenbildung aufhört.

### Messungen

- 2.1. Notieren Sie die unterschiedlichen Längen der Gassäulen. Welcher Vorteil ist mit dem Ausströmerstein im Vergleich zur direkten Gaseinleitung ohne Ausströmerstein verknüpft?

### Auswertung

- 2.2. Bestimmen Sie den jeweiligen Volumenanteil des zugeführten Kohlenstoffdioxids, der sich in Wasser bzw. Salzsäure löst und erklären Sie den Unterschied.

### Erweiterungen

- 2.3. Bei entsprechend hoher Körperleistung geben beteiligte Muskelzellen vermehrt Milchsäure ins Blut ab. Über die Atemfrequenz lässt sich der pH – Wert des Blutes nachregulieren, so dass die durch die vermehrte Säureabgabe hervorgerufene Störung kompensiert werden kann. Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.
- 2.4. Ein Erkrankter atmet sehr schnell ein und aus. Eine Blutuntersuchung ergibt einen pH – Wert von 7,1. Zu erwarten ist, dass der pH – Wert noch weiter sinkt. Machen Sie eine Aussage über die Konzentration der Oxoniumionen, über die Konzentration von Hydrogencarbonationen und über den Partialdruck von Kohlenstoffdioxid im Blut und schätzen Sie die Folgen der Hyperventilation für den Erkrankten ein.

## Informationen

### Das Massenwirkungsgesetz (MWG)

Chemische Gleichgewichte - in der allgemeinen Form wie folgt formuliert  $A + B \rightleftharpoons C + D$  - lassen sich mathematisch durch das Massenwirkungsgesetz beschreiben. Das Gesetz gibt das Verhältnis der Konzentrationen von Produkten zu Edukten im Gleichgewicht als Quotient wieder. Der Quotient  $K$  aus dem Produkt der Konzentrationen der Produkte und dem Produkt der Konzentrationen der Edukte ist **konstant**. Die Konstante wird auch als **Gleichgewichtskonstante** bezeichnet und ist bei gleichem Druck und gleicher Temperatur konstant.

Befindet sich ein System im Gleichgewicht, ändern sich die messbaren Konzentrationen von Edukten und Produkten nicht. Auf der Teilchenebene bedeutet dieses, dass pro Zeiteinheit **gleich viele Teilchen der Produkte entstehen wie Teilchen der Edukte reagieren**.

Für den allgemeinen Fall  $A + B \rightleftharpoons C + D$

$$\text{gilt: } K = \frac{c_C \cdot c_D}{c_A \cdot c_B} \quad (1)$$

Wird in einem solchen System die Konzentration des Stoffes C erhöht, dann müssen auch gleichzeitig die Konzentrationen der Stoffe A und B ansteigen. Mit anderen Worten: Die zugesetzten Moleküle des Stoffes C werden teilweise eliminiert, da ein Teil von ihnen mit den Molekülen des Stoffes D zu Molekülen der Stoffe A und B zurückreagieren, bis sich ein neues Gleichgewicht mit veränderter Gleichgewichtslage aber mit gleicher Konstante eingestellt hat.

Handelt es sich um eine Protolyse



$$K' = \frac{c(H_3O^+) \cdot c(A^-)}{c(H_2O) \cdot c(HA)}$$

$$K' \cdot c(H_2O) = K = \frac{c(H_3O^+) \cdot c(A^-)}{c(HA)} \quad (2)$$

$$K = c(H_3O^+) \cdot \frac{c(A^-)}{c(HA)}$$

Für die quantitative Beurteilung ist es zweckmäßig Gleichung (2) nach Umformung zu logarithmieren. Diese logarithmierte Form des MWG wird auch als Henderson – Hasselbalch - Gleichung bezeichnet:

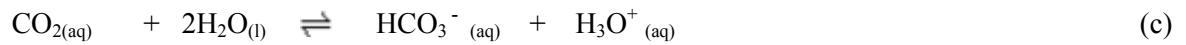
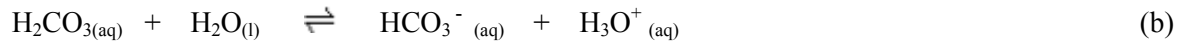
$$c(H_3O^+) = K \cdot \frac{c(HA)}{c(A^-)} \quad (3)$$

$$pH = pK - \lg \frac{c(HA)}{c(A^-)}$$

$$pH = pK + \lg \frac{c(A^-)}{c(HA)} \quad (4)$$

*Zum pH – Wert des Blutes*

Der pH –Wert des arteriellen menschlichen Blutes ist im Normalfall nahezu konstant und das im Verlauf des ganzen Lebens. Er liegt im Bereich zwischen 7,37 und 7,43 bei einem Mittelwert von 7,4 bei 37°C. Weicht der pH – Wert von der Norm signifikant ab, müssen kompensatorische Maßnahmen getroffen werden, um das Leben des Patienten zu erhalten. Gehen Sie davon aus, dass im Blut folgende Gleichgewichte vorliegen:



## Informationen für den Lehrer zur Station 6

### Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen

#### Aufgaben

#### Experiment 1 <sup>46</sup>

##### Messungen

1.1. Protokollieren Sie Ihre Messung in nachfolgende Tabelle.

<b>Wasser</b>						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						
<b>Blut</b>						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert						

##### Auswertungen

- 1.2. Beschreiben Sie die unterschiedliche Reaktion von Blut und Wasser nach Salzsäure- bzw. nach Natronlaugezugabe. Welche Eigenschaften lassen sich daraus für Teilchenarten im Blut ableiten?
- 1.3. Formulieren Sie die Reaktionsschemata und die Gleichgewichtskonstanten für nachfolgende Reaktionen:
- Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser
  - Bildung von Kohlensäure aus physikalisch gelöstem Kohlenstoffdioxid und Wasser.
  - Bildung von Hydrogencarbonationen und Oxoniumionen aus Kohlensäure.
- 1.4. Entwickeln Sie aus dem MWG die Henderson – Hasselbalchgleichung für die Bildung von Hydrogencarbonationen und Oxoniumionen aus Kohlensäure.
- 1.5. Erklären Sie die unterschiedlichen pH –Werte von Blut und Wasser nach gleichem Säure- bzw. Baseneintrag.

#### Experiment 2 <sup>47</sup>

##### Messungen

- 2.1. Notieren Sie die unterschiedlichen Längen der Gassäulen. Welcher Vorteil ist mit dem Ausströmerstein im Vergleich zur direkten Gaseinleitung ohne Ausströmerstein verknüpft?

##### Auswertung

- 2.2. Bestimmen Sie den jeweiligen Volumenanteil des zugeführten Kohlenstoffdioxids, der sich in Wasser bzw. Salzsäure löst und erklären Sie den Unterschied..

<sup>46</sup> A. Haberkost, F. Deutschmann: Chemische Untersuchung von Blut. Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 7/48,1999, S. 38-44.

<sup>47</sup> Variante des Glassäulenversuches von I. Parchmann, A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinemann: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. CHEMKON 7. Jahrg, Nr.2, 2000, S. 85-86.



Erweiterungen

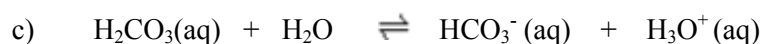
- 2.3. Bei entsprechend hoher Körperleistung geben beteiligte Muskelzellen vermehrt Milchsäure ins Blut ab. Über die Atemfrequenz lässt sich der pH-Wert des Blutes nachregulieren, sodass die durch die vermehrte Säureabgabe hervorgerufene Störung kompensiert werden kann. Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.
- 2.4. Ein Erkrankter atmet sehr schnell ein und aus. Eine Blutuntersuchung ergibt einen pH-Wert von 7,1. Zu erwarten ist, dass der pH-Wert noch weiter sinkt. Machen Sie eine Aussage über die Konzentration der Oxoniumionen, über die Konzentration von Hydrogencarbonationen und über den Partialdruck von Kohlenstoffdioxid im Blut und schätzen Sie die Folgen der Hyperventilation auf den Erkrankten ein.

**Lösungen**

ad 1.1

<b>Wasser</b>						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert	7,70	7,10	6,21	4,96	3,45	3,11
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert	7,7	8,89	9,33	9,70	9,9	10,2
<b>Blut</b>						
Tropfenanzahl der Säure	0	1	2	3	4	5
pH - Wert	7,36	7,37	7,36	7,35	7,35	7,35
Tropfenanzahl der Base	0	1	2	3	4	5
pH - Wert	7,36	7,35	7,35	7,36	7,40	7,43

- ad 1.2 Der pH-Wert des Wassers ändert sich signifikant bei Zugabe der Säure- bzw. Basentropfen. Der pH-Wert des Blutes bleibt nahezu konstant. Im Blut liegen Teilchen vor, die den sauren bzw. alkalischen Eintrag kompensieren. Im Wasser ist die Zugabe von Säure- bzw. Basentropfen sofort messbar. Besondere Teilcharten, die die Zugabe von Säure oder Base neutralisieren, fehlen.

ad 1.3 a)  $\text{CO}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ ad 1.4  $K_a = \frac{c(\text{CO}_2)}{c(\text{CO}_2)}$   $K_b = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}{c(\text{CO}_2)}$   $K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ 

$$K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{CO}_2)}$$

$$K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = c(\text{H}_3\text{O}^+) \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$$

$$-\lg K = \text{p}K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \text{pH} - \lg \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} \text{ bzw.}$$

$$-\lg K = \text{p}K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \text{pH} - \lg \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$$

- ad 1.5 Im Blut liegen Hydrogencarbonationen vor. Durch Zugabe von Oxoniumionen wird das Gleichgewicht c) gestört. Gemäß des ‚Le Chatelier Prinzips‘ versucht das System dieser Störung entgegenzuwirken. Vorhandene Hydrogencarbonationen reagieren mit Oxoniumionen unter Bildung von Kohlensäure, die wiederum zerfällt. Dabei erhöht sich die Stoffmenge der Kohlensäure, die Stoffmenge der Hydrogencarbonationen wird reduziert. Nahezu kompensiert wird der Säureeintrag. Es stellt sich ein neues Gleichgewicht ein mit veränderten Gleichgewichtskonzentrationen, also mit veränderter Gleichgewichtslage, aber mit demselben Wert der das Gleichgewicht kennzeichnenden Größe  $K$ . Durch Zugabe von Hydroxidionen werden ebenfalls die Gleichgewichte c) bzw. b) und c) gestört. Vorhandene Kohlensäure kompensiert den alkalischen Eintrag unter Bildung von Hydrogencarbonationen. Dabei erniedrigt sich die Stoffmenge der Kohlensäure; ebenfalls erniedrigt wird die Stoffmenge der Hydrogencarbonationen. Der Baseneintrag wird nahezu kompensiert. Es stellt sich wiederum ein neues Gleichgewicht ein mit veränderter Gleichgewichtslage. Der Wert der Gleichgewichtskonstanten verändert sich dabei nicht.
- ad 2.1 Wird der Kunststoffschlauch mit Salzsäure  $c = 2 \text{ mol/L}$  gefüllt, beträgt die Länge der Gassäule 8,5 cm. Liegt eine Konzentration der Salzsäure von  $c = 1 \text{ mol/L}$  vor, so ist die Länge der Gassäule 1,8 cm. Ist der Kunststoffschlauch mit Wasser gefüllt, so beträgt die Länge der Gassäule 1 cm. Der Ausströmerstein ermöglicht eine vielzählige Blasenbildung, so dass insgesamt eine große Diffusionsoberfläche erreicht wird und die experimentell ermittelte Löslichkeit sich dem Literaturwert annähert.
- ad 2.2 Die Henrysche Konstante für Kohlenstoffdioxid im Lösungsmittel Wasser beträgt  $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ bar}^{-1}$  bei 293 K.

Daraus folgt:  $c(\text{CO}_2) = 0,023 \text{ mol L}^{-1} \text{ bar}^{-1} \cdot 1 \text{ bar} = 0,023 \text{ mol L}^{-1}$

In 1 Liter Wasser lösen sich 0,023 mol Kohlenstoffdioxid bei 20°C. Das Molvolumen beträgt bei 20°C 24041 ml. Theoretisch sollten sich in 1 Liter Wasser bei 20°C und bei Normaldruck 553 ml Kohlenstoffdioxid lösen.

Beträgt die Gassäule bei Raumtemperatur und Normaldruck 1 cm, dann entspricht das einem Gasvolumen von  $4,91 \text{ cm}^3$ , denn es gilt:  $v = \pi \cdot r^2 \cdot h$ . Also haben sich in

1020,5 ml Wasser 95,1 ml Kohlenstoffdioxid gelöst, wäre der Druck 1 bar. Die Wassersäule übt jedoch einen Unterdruck aus. Es ist davon auszugehen, dass sich mehr Kohlenstoffdioxid als 95,1 ml gelöst haben und weniger als  $4,91 \text{ ml}$  Kohlenstoffdioxid in der Gasphase sind. Genauer:

Der Schweredruck einer 2,05 m langen Wassersäule beträgt: 20288 Pa. Also beträgt der Druck in der Gasphase 81011,58 Pa. Das Gasvolumen bei Normaldruck hat folglich einen Wert von 3,93 ml. Demnach haben sich 96,07 ml Kohlenstoffdioxid gelöst.

In 2 molarer Salzsäure haben sich nach dem experimentellen Ergebnis  $41,74 \text{ cm}^3$  Kohlenstoffdioxid gebildet, allerdings bei einem Druck in der Gasphase von

$81746,7 \text{ Pa}$ . Es gilt  $v = \pi \cdot 0,0125^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 0,085 \text{ m}$ . Der Schweredruck der Wassersäule beträgt 19553,3 Pa. Der Druck in der Gasphase ergibt sich als Differenz aus dem Normaldruck und dem Schweredruck. In diesem Fall beträgt der Wert des Druckes  $81746,7 \text{ Pa}$ .

Also ist das Volumen bei Normaldruck 33,68 ml. Es haben sich 66,317 ml Kohlenstoffdioxid bei Normaldruck gelöst.

Geht man davon aus, dass nur 0,2% des physikalisch gelösten Kohlenstoffdioxids eine Reaktion mit Wasser eingeht, dann können auch nur maximal 0,786 ml Kohlenstoffdioxid dazu beitragen, das Volumen des Gases in der Gasphase zu erhöhen, wenn man Wasser durch Salzsäure ersetzt. Da wesentlich mehr Kohlenstoffdioxid in der Gasphase bei zweimolarer Salzsäure gebildet wird, muss davon ausgegangen werden, dass sich auch in zweimolarer Salzsäure erheblich weniger Kohlenstoffdioxid physikalisch löst, also die Henrykonstante vom pH – Wert abhängig ist.

- ad 2.3 Gibt das Muskelgewebe vermehrt Milchsäure ab, wird das Protolysegleichgewicht der Kohlensäure gestört. Die Oxoniumionen reagieren mit den im Blutplasma vorhandenen Hydrogencarbonationen zu Kohlensäure, die wiederum in Wasser und physikalisch gelöstem Kohlenstoffdioxid zerfällt. Nimmt der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid im Blutplasma zu, werden adäquate Chemorezeptoren angeregt, die das Atemzentrum aktivieren. Die Atemfrequenz wird erhöht, der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid durch Abatmen erniedrigt. Damit ist die Erhöhung der Atemfrequenz eine Kompensationsmaßnahme des Körpers, die dazu dient, den pH – Wert des Blutes nahezu konstant zu halten.
- ad 2.4 Hyperventiliert ein Erkrankter, und ist der pH – Wert des Blutes unter dem Normbereich abgesenkt, also die Oxoniumionenkonzentration über den Normbereich erhöht, war der Säureeintrag ins Blut so hoch, dass die Puffereigenschaften des Blutes nicht mehr ausreichen. Daher ist die Hydrogencarbonationenkonzentration erniedrigt und wird zum begrenzenden Faktor. Die pH – Werterniedrigung sorgt ihrerseits für eine Aktivierung des Atemzentrums, so dass infolge der Hyperventilation der Kohlenstoffdioxidpartialdruck abnimmt. Um den Säureeintrag zu kompensieren, bedarf es zusätzlich einer erhöhten Hydrogencarbonatzufuhr, die als Infusion gegeben werden muss. Erst dann wird durch Hyperventilation erreicht, dass sich der pH – Wert des Blutes wieder dem Normbereich annähert.

### Literatur

A. Haberkost, F. Deutschmann. Chemische Untersuchung von Blut. Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 7/48, 1999, S. 38-44.

Variante des Glassäulenversuches von I. Parchmann, A. Paschmann, T. de Vries, M. Steinemann. Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser. CHEMKON, 7. Jahrg., Nr.2., 2000, S. 85-86.

R. F. Schmidt, G. Thews, F. Lang (Hrsg). Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 620-622.

## Station 7

### Puffer im Vergleich - eine vertiefende Betrachtung -

Der pH – Wert des arteriellen menschlichen Blutes liegt im Bereich zwischen 7,37 und 7,43 mit einem Mittelwert bei 7,4 bei 37°C. Trotz der ständig schwankenden Abgabe von Säuren ins Blut, die im Rahmen des Stoffwechsels gebildet werden, bleibt der pH – Wert des Blutes nahezu konstant. Und das ist gut so. Die Konstanz ist eine wichtige Voraussetzung für einen geregelten Ablauf des Stoffwechsels im menschlichen Körper, denn die Arbeitsfähigkeit vieler am Stoffwechsel beteiligter Enzyme ist pH – wertabhängig. Eine Erniedrigung des pH – Wertes unter 7,2 ist lebensbedrohlich. Sie führt zu Bewusstseinstörungen und schließlich zum Koma<sup>48</sup>.

**Wodurch wird die Konstanz des pH – Wertes im Blut erreicht?**

**Was sind die Ursachen für pH – Wertveränderungen?**

**Untersuchen Sie in den folgenden drei Experimenten die pH – Wertänderungen von Wasser, Blut und einer Hydrogencarbonatlösung bei Säurezugabe.**

#### Experimente

##### Geräte und Chemikalien

pH – Elektrode, Bürette, Trichter, 250 ml – Becherglas, 20 ml – Pipette, 100 ml – Messzylinder, Reagenzglasständer mit 2 großen Reagenzgläsern, Aqua dest., Eichlösungen pH = 7 und pH = 4, Salzsäure mit der Konzentration  $c = 0,1 \text{ mol/l}$ , Natriumhydrogencarbonatlösung mit der Konzentration  $c = 0,0252 \text{ mol/l}$ , frisches Schweineblut, Schutzbrille.

##### *Messung 1: Potentiometrische Titration einer Natriumhydrogencarbonatlösung*

- Eichen Sie das vorgeeichte pH - Meter auf pH = 7 und pH = 4 ein.
- Füllen Sie die Bürette mit Salzsäure der Konzentration  $c = 0,1 \text{ mol/L}$  und messen Sie die Säure genau auf 0 ml ein. Benutzen Sie beim Einfüllen die Schutzbrille.
- Füllen Sie das 250 ml – Becherglas mit 20 ml Natriumhydrogencarbonatlösung und fügen Sie 100 ml Aqua dest. hinzu. Messen Sie das Wasser mit einem Messzylinder ab.
- Titrieren Sie 0,2 ml - weise die Salzsäure in die Vorlage, rühren Sie vorsichtig mit der pH – Elektrode und messen Sie jeweils den pH – Wert. Nach 7 ml Salzsäurezugabe wählen Sie die Messpunkte nach einer Salzsäurezugabe von jeweils 0,5 ml. Beenden Sie die Titration, wenn Sie 25 ml Salzsäure verbraucht haben. Protokollieren Sie Ihre Messwerte.

##### *Messung 2: Potentiometrische Titration von Wasser*

- Eichen Sie vor Beginn der Messung Ihr pH – Meter nach.
- Wiederholen Sie die Titration mit 120 ml Aqua dest. Titrieren Sie die ersten 2 ml Salzsäure in 0,2 ml – Schritten in die Vorlage, danach in 0,5 ml – Schritten bis zu einem Verbrauch von 25 ml Salzsäure. Messen Sie jeweils den pH – Wert und protokollieren Sie Ihre Messwerte.

<sup>48</sup> E. Mutschler: Arzneimittelwirkungen – Lehrbuch der Pharmakologie und Toxilogie. 7. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1997, S. 576.

### Messung 3: Potentiometrische Titration von Schweineblut

- Eichen Sie erneut Ihr pH – Meter nach.
- Geben Sie 20 ml Schweineblut in das 250 ml – Becherglas und fügen Sie mit einem Messzylinder 100 ml Aqua dest. hinzu. Titrieren Sie Ihre Vorlage mit Salzsäure  $c = 0,1 \text{ mol/L}$  in 0,5 ml – Schritten. Messen Sie den jeweiligen pH – Wert und protokollieren Sie Ihre Messwerte.

### Anmerkungen

- Tragen Sie beim Einfüllen der Maßlösung und während der Titration eine Schutzbrille.
- Lesen Sie das Volumen in der Bürette in Augenhöhe ab.
- Benutzen Sie den blauen Streifen im Glas der Bürette als Ablesehilfe. Die Spitze weist auf den tiefsten Punkt der Flüssigkeitsoberfläche hin und erleichtert damit das genaue Ablesen.
- Geben Sie den Inhalt der Bürette nach den Titrationen direkt in die Vorratsflasche zurück.
- Spülen Sie die Bürette nach den Versuchen zweimal mit Wasser und danach mit Brennspiritus.
- Geben Sie die Pufferlösungen in die Vorratsflaschen zurück und spülen Sie die Reagenzgläser.

### Auswertungen

1. Tragen Sie Ihre Messwertreihen in ein pH – Volumen - Diagramm auf. Wählen Sie das Volumen als x – Achse und den pH – Wert als y – Achse.
2. Beschreiben Sie den Verlauf der Kurven.
3. Machen Sie eine begründete Aussage zur Konzentrationsänderung von Hydrogencarbonat und Kohlensäure während der Titration.
4. Bestimmen Sie den pH – Wert und das Volumen der Salzsäure aus Ihrer Messkurve, bei dem die Natriumhydrogencarbonatlösung vollständig in Kohlensäure umgesetzt ist. Informieren Sie sich dazu in Ihrem Lehrbuch ‚Chemie heute‘, S.137.
5. Lesen Sie aus Ihrer Kurve die pH – Werte ab, die nach 10%iger, nach 30%iger, nach 50%iger, nach 70%iger, nach 90%iger Neutralisation vorliegen und listen Sie die Wertepaare in einer Tabelle auf. Ergänzen Sie in einer dritten Spalte das jeweilige Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure, das bei 10%iger, bei 30%iger, bei 50%iger, bei 70%iger, bei 90%iger Umsetzung mit Salzsäure vorliegt.
6. Unter Pufferkapazität eine Pufferlösung versteht man die diejenige Stoffmenge an Oxoniumionen oder Hydroxidionen, die man zugeben muss, um den pH – Wert der Lösung um eine Einheit zu verändern<sup>49</sup>. Bei welchem Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure ist die Pufferkapazität am höchsten?

### Deutungen

7. Deuten Sie den Kurvenverlauf für die Titration der Hydrogencarbonatlösung mit Salzsäure.
8. Zeigen Sie rechnerisch anhand von zwei Beispielen, dass sich der pH – Wert je nach Stoffmengenverhältnis von Pufferbase und Puffersäure bei äquimolarem Säureeintrag unterschiedlich ändert.
9. Erklären Sie den Kurvenverlauf für den Säureeintrag in Wasser.
10. Machen Sie eine begründete Aussage zu den Puffereigenschaften des Blutes.

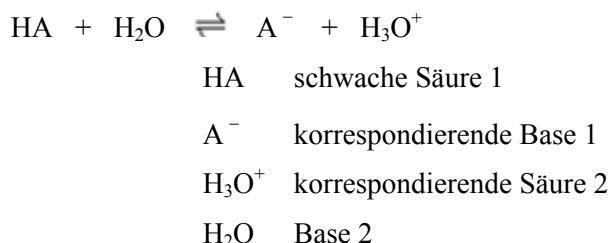
---

<sup>49</sup> P. W. Atkins, J.A. Beran: Chemie einfach alles. VCH, Weinheim, 1998, S. 605.

## Informationen

Ein Puffersystem besteht aus einer schwachen Säure, dem Protonendonator, und der entsprechenden korrespondierenden Base, dem Protonenakzeptor. Wir gehen davon aus, dass die Protolyse der schwachen Säure unvollständig ist, also in einem Gleichgewicht endet, das dem Massenwirkungsgesetz folgt.

Allgemein wird dieser Sachverhalt wie folgt formuliert:



Wird in einem solchen System die Oxoniumionenkonzentration erhöht, muss gleichzeitig auch die Konzentration der undissoziierten Säure ansteigen, so dass die Gleichgewichtsbedingungen des Massenwirkungsgesetzes erfüllt bleiben. Anders formuliert: Die Protolyse der schwachen Säure wird zurückgedrängt, da die zusätzlichen Oxoniumionen mit der im Gleichgewicht vorhandenen korrespondierenden Base reagieren. Die pH – Wertänderung ist also geringer als erwartet, da ein Teil des Oxoniumionenzusatzes eliminiert wird. Diese Abschwächung des Effektes eines Säureeintrages wird als Pufferung bezeichnet. Die Abnahme der Konzentration der korrespondierenden Base wird durch den Konzentrationsanstieg der undissoziierten Säure ausgeglichen, so dass die Summe der Konzentrationen der Pufferkomponenten konstant bleibt, ihr Konzentrationsverhältnis sich jedoch ändert. Die undissoziierte Säure wiederum bildet als Pufferkomponente das Reservoir, das für die Abschwächung des basischen Eintrages verantwortlich ist. Die zugefügten Hydroxidionen reagieren mit der Puffersäure zu Pufferbasen und Wasser, so dass die pH – Wertänderung geringer ausfällt, als der basische Eintrag es erwarten lässt. Handelt es sich auch hier um ein abgeschlossenes System, entspricht die Konzentrationsabnahme der Puffersäure dem Zuwachs der Konzentration der Pufferbase.

Unter Pufferkapazität einer Pufferlösung versteht man das Verhältnis der zugeführten Stoffmenge an Oxoniumionen oder Hydroxidionen zu der resultierenden pH – Wertänderung. Konkret: Die Pufferkapazität beträgt 1, wenn 1 mol Oxoniumionen bzw. 1 mol Hydroxidionen in einem Liter Pufferlösung eine pH – Wertänderung von 1 hervorrufen<sup>50</sup>.

Zu den Puffersystemen des Blutes gehört das Hydrogencarbonatsystem. Kohlensäure ist eine verhältnismäßig schwache Säure und Hydrogencarbonat die korrespondierende Base. Für die quantitative Beurteilung des Puffersystems ist es zweckmäßig, das entsprechende MWG nach Umformung zu logarithmieren und damit die Henderson – Hasselbalch - Gleichung für die Protolyse der Kohlensäure zu wählen.

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$$

Beim Blut, das die Lunge passiert, handelt es sich nicht um ein geschlossenes System, sondern um eine offenes, denn Kohlenstoffdioxid kann in die Alveolen abgegeben werden, die wiederum mit der Luft in Verbindung stehen. Führt zum Beispiel eine stoffwechselbedingte Erhöhung der Oxoniumionen - wie sie zum Beispiel beim Fasten auftritt, wenn Fett mobilisiert wird und die Fettsäuren ins Blut abgegeben werden - zu einer pH – Werterniedrigung des Blutes, so kann durch verstärkte Kohlenstoffdioxidabgabe in die Alveolen der Puffereffekt verstärkt werden<sup>51</sup>.

<sup>50</sup> K. Beyermann: Chemie für Mediziner. 7. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, S. 140.

<sup>51</sup> R. Schmidt, G. Thews, F. Lang: Physiologie des Menschen. 28. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 617.

Ein weiteres Puffersystem im Blut bildet das Dihydrogenphosphatsystem mit Dihydrogenphosphat als Puffersäure und Monohydrogenphosphat als korrespondierende Pufferbase. Der  $pK -$  Wert dieses Systems liegt mit 6,8 im physiologisch günstigen Bereich. Die Konzentrationen dieses Puffersystems sind jedoch im Blut so gering, dass die Bedeutung im Vergleich zu anderen Puffersystemen nachrangig ist.

Von großer Bedeutung sind die Puffereigenschaften der Blutproteine. Dazu gehören die Plasmaproteine und das Hämoglobin. Die Puffereigenschaften der Proteine werden durch die ionisierbaren funktionellen Gruppen der Aminosäuren bestimmt. Dabei sind die Carboxylgruppen und Aminogruppen am Ende der Ketten von geringer Bedeutung, da es sich um vergleichbar wenige Endgruppen handelt, deren  $pK -$  Werte bei  $pH -$  Werten liegen, die physiologisch uninteressant sind. Sie liegen weit ab vom  $pH -$  Wert des Blutes, vornehmlich in den  $pH -$  Wertebereichen zwischen 2 und 3 bzw. 9 und 10. Von hoher Bedeutung sind die ionisierbaren Seitenketten der Aminosäuren insbesondere der Aminosäure Histidin. Der  $pK -$  Wert des protonierten Stickstoffs in der Seitenkette beträgt 6 und liegt somit im physiologisch interessanten Bereich. Der  $pK -$  Wert der Seitenkette von Glutamat liegt bei 4,25, der von Aspartat bei 3,65<sup>52</sup>. Der Hauptbestandteil der Pufferwirkung entfällt auf das Hämoglobin. Seine Konzentration ist hoch und sein Histidinanteil ebenso.

Die Puffereigenschaften des Blutes werden im wesentlichen durch Hydrogencarbonat und Proteinat bestimmt. Die Summe aller pufferwirksamen Anionen werden als Gesamtpufferbasen bezeichnet. Die Konzentration der Gesamtpufferbasen im Blut beträgt 48 mmol/l. Von besondere Bedeutung ist, dass die Gesamtkonzentration der Pufferbasen auch bei Veränderung des Kohlenstoffdioxidpartialdruckes konstant bleibt. Nimmt der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid zu, erhöhen sich auch die Oxoniumionkonzentration und die Hydrogencarbonatkonzentration. Die bei der Reaktion entstandenen Oxoniumionen werden jedoch vom Proteinat abgefangen. In dem Maße wie die Konzentration von Hydrogencarbonationen ansteigt, nimmt die Konzentration von Proteinationen ab. Abweichungen vom Wert der Normalpufferbasen, also Abweichungen von 48 mmol/L, bezeichnet an als Basenüberschuss (Base Excess), abgekürzt BE - Wert. Ein pathologischer Anstieg der Pufferbasenkonzentration wird durch einen positiven BE - Wert charakterisiert, ein Abfall durch einen negativen BE - Wert.

---

<sup>52</sup> A. Lehninger, D. Nelson, M. Cox: Prinzipien der Biochemie. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 125.

## Informationen für den Lehrer zur Station 7

### Puffer im Vergleich - eine vertiefende Betrachtung -

#### Aufgaben

1. Tragen Sie Ihre Messwertreihen in ein pH – Volumen - Diagramm auf. Wählen Sie das Volumen als x – Achse und den pH – Wert als y – Achse.
2. Beschreiben Sie den Verlauf der Kurven.
3. Machen Sie eine begründete Aussage zur Konzentrationsänderung von Hydrogencarbonat und Kohlensäure während der Titration.
4. Bestimmen Sie den pH – wert und das Volumen der Salzsäure aus Ihrer Messkurve, bei dem die Natriumhydrogencarbonatlösung vollständig in Kohlensäure umgesetzt ist. Informieren Sie sich dazu in Ihrem Lehrbuch ‚Chemie heute‘, S.137.
5. Lesen Sie aus Ihrer Kurve die pH – Werte ab, die nach 10%iger, nach 30%iger, nach 50%iger, nach 70%iger, nach 90%iger Neutralisation vorliegen und listen Sie die Wertepaare in einer Tabelle auf. Ergänzen Sie in einer dritten Spalte das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure, das jeweils bei 10%iger, bei 30%iger, bei 50%iger, bei 70%iger, bei 90%iger Umsetzung mit Salzsäure vorliegt.
6. Unter Pufferkapazität eine Lösung versteht man die diejenige Stoffmenge an Oxoniumionen oder Hydroxidionen, die man zugeben muss, um den pH – Wert der Lösung um eine Einheit zu verändern<sup>53</sup>. Bei welchem Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure ist die Pufferkapazität am höchsten?
7. Deuten Sie den Kurvenverlauf für die Titration der Hydrogencarbonatlösung mit Salzsäure.
8. Zeigen Sie rechnerisch anhand von zwei Beispielen, dass sich der pH – Wert je nach Stoffmengenverhältnis von Pufferbase und Puffersäure bei äquimolarem Säureeintrag unterschiedlich ändert.
9. Erklären Sie den Kurvenverlauf für den Säureeintrag in Wasser.
10. Machen Sie eine begründete Aussage zu den Puffereigenschaften des Blutes.

#### Lösungen

Potentiometrische Titration einer Natriumhydrogencarbonatlösung, deren Konzentration nahezu dem Hydrogencarbonatgehalt im Blut entspricht.

Die Vorlage enthält 20 ml der Hydrogencarbonatlösung und 100 ml Wasser. Titriert wird mit Salzsäure der Konzentration  $c = 0,1 \text{ mol/L}$ .

V(HCl) in mL	0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
pH	9,16	9,09	8,26	7,82	7,67	7,55	7,44	7,35	7,26	7,23	7,15	7,09	7,04	6,96

V(HCl) in mL	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,1	4,3	4,5
pH	6,86	6,77	6,69	6,60	6,54	6,49	6,40	6,33	6,26	6,16	6,08	5,97	5,86	5,78

V(HCl) in mL	4,7	4,9	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,4	7	7,5	8	8,5	9	9,5
pH	5,62	5,4	5,2	4,31	3,68	3,43	3,15	2,9	2,72	2,62	2,52	2,43	2,38	2,3

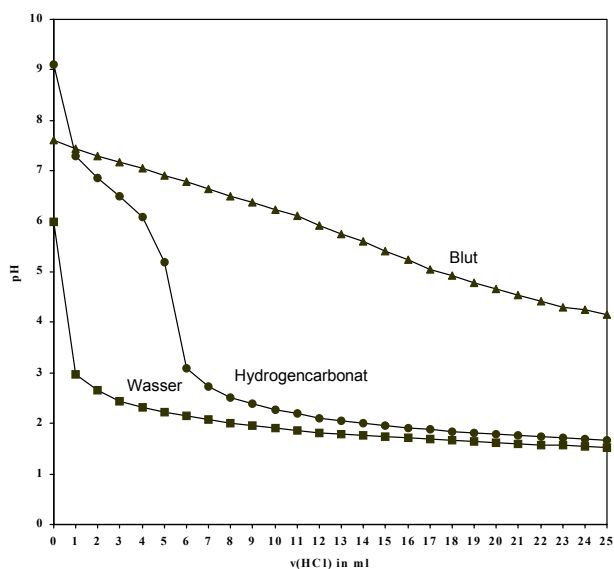
V(HCl) in mL	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	15	16	17	18	19
pH	2,27	2,22	2,19	2,14	2,11	2,06	2,05	2,02	2	1,6	1,92	1,88	1,84	1,81

<sup>53</sup> P. W. Atkins, J.A. Beran: Chemie einfach alles. VCH, Weinheim, 1998, S. 605.



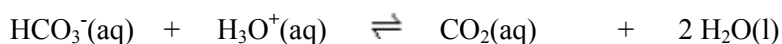
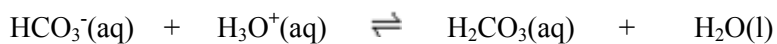
V(HCl) in mL	20	21	22	23	24	25								
pH	1,79	1,76	1,73	1,71	1,68	1,67								

Potentiometrische Titration von Blut, Wasser und Hydrogencarbonatlösung mit Salzsäure



- ad 2 Alle drei Graphen sind streng monoton fallend. Der Graph für die Titration von Hydrogencarbonat mit Salzsäure besitzt zwei Wendepunkte. Der Graph für die Titration von Schweineblut mit Salzsäure ist nahezu linear. Der Verlauf des Graphen, der die pH – Wertänderung des destillierten Wassers nach Säurezugabe wiedergibt, ist hyperbelähnlich.
- ad 3 Gemäß der Neutralisation von Hydrogencarbonat mit Salzsäure nimmt die Konzentration von Hydrogencarbonat ab, die Konzentration von Kohlensäure zu.

Es gilt:



- ad 4 Der pH – Wert bei 100%iger Umsetzung der Hydrogencarbonatkonzentration mit Salzsäure beträgt 4,3. 5,2 ml Salzsäure sind dann verbraucht.

ad 5

pH - Wert	Neutralisationsgrad in %	$\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$
7,8	10	90 : 10
7,1	30	70 : 30
6,7	50	50 : 50
6,2	70	30 : 70
5,6	90	10 : 90

ad 6 Die größte Pufferkapazität besitzt eine Lösung mit der Zusammensetzung  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = 1:1$ .

ad 7 Je mehr sich die Stoffmengen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure unterscheiden, desto stärker wirkt sich die gleiche Stoffportion der eingetragenen Säure auf den pH –Wert des sich neu einstellenden Gleichgewichtes aus. Die Stoffmenge von Hydrogencarbonat wird durch die eingetragene Stoffmenge der Oxoniumionen im gleichen Maß reduziert wie die Stoffmenge der Kohlensäure zunimmt, und das ist unabhängig vom vorhandenen Stoffmengenverhältnis in der Lösung, in die Salzsäure zugefügt wird. Die Summe der jeweiligen Stoffmengen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bleibt konstant. Das gilt sowohl für eine Pufferlösung, bei der die Stoffmengen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure äquimolar sind, als auch für eine Pufferlösung, bei der sich die Stoffmengen von Puffersäure und korrespondierender Base unterscheiden. Die Teilchen verhalten sich gleich, unabhängig davon wie das Teilchenverhältnis von Puffersäure und Pufferbase in der Pufferlösung ist. Was sich ändert, ist der pH – Wert. Der pH – Wert, der sich nach Zugabe der Salzsäure einstellt, hängt davon ab, in welchem Stoffmengenverhältnis Hydrogencarbonat und Kohlensäure vorliegen. Die pH – Wertänderung bei definiertem Säureeintrag ist groß, also die Pufferkapazität einer Pufferlösung gering, wenn sich die Stoffmengen von Pufferbase und korrespondierender Säure deutlich unterscheiden. Entsprechend ist die Pufferkapazität einer Lösung hoch, also die pH –Wertänderung bei äquimolaren Säureeintrag geringfügig, wenn die Stoffmengenkonzentrationen von Puffersäure und Pufferbase gleich sind. Die Gleichgewichtslage, die sich nach der Zugabe einer definierten Säurestoffmenge einstellt, hängt davon ab, welche Stoffmengen im Gleichgewicht vorlagen, bevor die Störung durch einen definierten Säureeintrag eintrat. Vergleicht man den pH – Wert im Gleichgewicht der Vorlage vor dem Säureeintrag mit dem pH –Wert im sich neu einstellenden Gleichgewicht nach der Störung, so ist die Änderung unterschiedlich, je nachdem welche Gleichgewichtslage sich nach der Störung einstellt. Die Gleichgewichtslage des sich neu einstellenden Gleichgewichtes lässt sich mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes, das für die Protolysen schwacher und mittelstarker Säuren gilt, erschließen. Wird die Konzentration von Hydrogencarbonationen reduziert und die Konzentration von Kohlensäure erhöht, da die Hydrogencarbonationen mit Oxoniumionen zu Kohlensäure reagieren, muss sich auch die Oxoniumionenkonzentration im sich neu einstellenden Gleichgewicht erhöhen, damit die Gleichgewichtsbeziehung erfüllt bleibt. Das gilt für jede Stoffmengenkonzentration der Pufferlösung. Der pH – Wert, der sich je nach Verhältnis von Pufferbase zu Puffersäure einstellt, lässt sich mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes näherungsweise berechnen.

ad 8 Beispiel: In die Vorlage werden 0,5 ml Salzsäure der Konzentration 0,1 mol/L titriert. Das sind 0,05 mmol. In der Vorlage beträgt vor dem Säureeintrag die Stoffmenge von Hydrogencarbonat 0,52 mmol. Die Konzentration der Kohlensäure bzw. die des Kohlenstoffdioxids, die vor dem Säureeintrag vorliegt, wird vernachlässigt. Nach der Zugabe von 0,05 mmol Oxoniumionen beträgt die Stoffmenge von Hydrogencarbonat 0,47 mmol, die Stoffmenge von Kohlensäure 0,05 mmol.

Das Stoffmengenverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure beträgt nach dem Säureeintrag:

$$\frac{n(\text{HCO}_3^-)}{n(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{0,47\text{mmol}}{0,050\text{mmol}}$$

Der pH – Wert lässt sich mit Hilfe der Henderson – Hasselbalch - Gleichung wie folgt berechnen:

$$\text{pH} = 6,7 + \lg \frac{0,47\text{mmol}}{0,050\text{mmol}} = 6,7 + 0,973 = 7,67$$

Eine weitere Zugabe von 0,5 ml Salzsäure ergibt folgendes Stoffmengenverhältnis:

$$\frac{n(\text{HCO}_3^-)}{n(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{0,47 - 0,05\text{mmol}}{0,05 + 0,05\text{mmol}} = 4,2$$

$$\text{pH} = 6,7 + \lg 4,2 = 6,7 + 0,6232 = 7,32$$

Der pH – Wert erniedrigt sich.

Bei 50%iger Neutralisation, am Halbäquivalenzpunkt gilt:

$$\frac{n(\text{HCO}_3^-)}{n(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{0,25\text{mmol}}{0,25\text{mmol}} = 1$$

$$\text{pH} = 6,7 + 0, \text{ denn } \lg 1 = 0$$

Der pH – Wert entspricht dem pKs – Wert.

Eine Zugabe von 0,5 ml Salzsäure am Halbäquivalenzpunkt ergibt folgendes Stoffmengenverhältnis:

$$\frac{n(\text{HCO}_3^-)}{n(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{0,25 - 0,05\text{mmol}}{0,25 + 0,05\text{mmol}} = 0,667$$

Daraus folgt für den pH – Wert:

$$\text{pH} = 6,7 - 0,18 = 6,52$$

Werden in eine Pufferlösung, bei der das Stoffmengenverhältnis von Hydrogencarbonat zu Kohlensäure 9,08:1 beträgt, 0,05 mmol Oxoniumionen hinzugefügt, verändert sich der pH – Wert von 7,67 auf 7,32. Die pH – Wertänderung beträgt 0,35. Wird die gleiche Stoffmenge an Oxoniumionen in einer Pufferlösung gegeben, die äquimolare Stoffmengen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure enthält, verändert sich der pH – Wert von 6,7 auf 6,52. In diesem Fall beträgt die pH – Wertänderung 0,18.

- ad 9 Versteht man unter Pufferkapazität einer Pufferlösung diejenige Stoffmenge an Oxoniumionen, die man zugeben muss, um den pH – Wert der Lösung um eine Einheit zu verändern, so besitzt Wasser eine ausgesprochen schlechte Pufferkapazität. 0,1 mmol Säure reichen aus, um den pH – Wert um 3 pH - Einheiten zu verändern. In Wasser liegen keine Pufferbasen vor. Die Oxoniumionen werden nicht abgefangen. Die pH – Wertänderung entspricht dem Oxoniumionenzusatz. Eine Abschwächung des sauren Eintrages findet nicht statt. Da nicht die Konzentration der Oxoniumionen gemessen wird sondern der pH – Wert, ruft bei der Titration von Wasser die Zugabe der gleichen Stoffportion Salzsäure im schwach sauren Bereich eine deutlich stärkere Veränderung des pH – Wertes hervor als der äquimolare saure Eintrag in eine schon stark saure Lösung.

ad 10 Der nahezu lineare Verlauf der Kurve des Blutes im pH – Wert – Volumen – Diagramm lässt darauf schließen, dass im Blut mehrere Puffersysteme beteiligt sind. Im wesentlichen handelt es sich dabei um das Hydrogencarbonatpuffersystem und das sogenannte Proteinatpuffersystem. Das Phosphatpuffersystem ist im Blut zu vernachlässigen, da der Puffereffekt aufgrund der geringen Konzentrationen von Dihydrogenphosphat und Monohydrogenphosphat im Blutplasma zu gering ist, obwohl der  $pK_s$  – Wert mit 6,8 im physiologisch günstigen Bereich liegt. Die Puffereigenschaften der Proteine im Blut werden durch die ionisierbaren Gruppen der Aminosäuren bestimmt, wobei den Carboxylgruppen und Aminogruppen am Ende der Peptidketten bedeutungslos sind, da sie zum einen in ihre Gesamtanzahl relativ gering sind und ihre  $pK$  – Werte sich stark vom physiologischen pH – Wert unterscheiden. Entscheidend an der Pufferung des Blutes beteiligt sind die ionisierbaren Seitenketten der Proteine. Im physiologischen pH – Wertebereich sind es primär die Seitenkette des Histidins. Die Seitenkette der freien Aminosäure Histidin hat einen  $pK$  – Wert von 6 und Proteine mit Histidinresten können in der Nähe eines neutralen pH – Wertes wirksam puffern. In dem pH – Bereich zwischen 3 und 5 zeigen Glutamat- und Aspartatseitenketten eine hohe Pufferkapazität. Freies Aspartat puffert zwischen 4,15 und 3,15, freies Glutamat zwischen 4,75 und 3,75. Zu der Proteinpufferkapazität tragen sowohl die Plasmaproteine mit  $5 \text{ mmol L}^{-1} \text{ pH}^{-1}$  als auch das Hämoglobin mit  $16 \text{ mmol L}^{-1} \text{ pH}^{-1}$  bei. Die Gesamtkonzentration der Pufferbasen im arteriellen Blut beträgt etwa  $48 \text{ mmol L}^{-1}$ . Diese Konzentration ist unabhängig vom Partialdruck des Kohlenstoffdioxids. Steigt beispielsweise der Kohlenstoffdioxidpartialdruck an, erhöht sich die Konzentration der Hydrogen-carbonationen. Es bilden sich aber auch äquivalente Stoffmengen Oxoniumionen, die vom Proteinat abgefangen werden. In dem Maße wie sich die Hydrogencarbonat-ionenkonzentration erhöht, erniedrigt sich die Proteinatkonzentration. Abweichungen von der Gesamtkonzentration der Pufferbasen, also Abweichungen von dem Wert  $48 \text{ mmol L}^{-1}$  bezeichnet man als Basenüberschuss BE (Base Excess). Nach dieser Definition ist dem arteriellen Blut eines gesunden Menschen eine BE – Wert von Null zuzuordnen. Ein pathologischer Anstieg der Pufferbasenkonzentration wird durch einen positiven BE – Wert, die Abnahme durch einen negativen BE – Wert charakterisiert.

## Literatur

P. W. Atkins, J.A. Beran. Chemie einfach alles. VCH, Weinheim, 1998, S. 605.

K. Beyermann: Chemie für Mediziner. 7. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, S. 140.

A. Lehninger, D. Nelson, M. Cox. Prinzipien der Biochemie. 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1998, S. 125.

E. Mutschler. Arzneimittelwirkungen – Lehrbuch der Pharmakologie und Toxilogie. 7. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1997, S. 576.

R. Schmidt, G. Thews, F. Lang. Physiologie des Menschen. 28. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000, S. 617.

**1.3 Internetadressen und Informationen L 60**

- Barotrauma des Ohres L 61
- Tieftauchen L 62
- Die Bläschenerkrankung L 67
- Hyperventilation L 69

## Internetadressen und Informationen

In den Rückmeldungen der Schüler zum Lernzyklus ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ wird bemängelt, dass einige von den angegebenen Internetadressen nicht mehr aufrufbar sind. Die Informationen, die unter nachfolgenden Internetadressen zum Lernzyklus ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ zu finden sind, stehen zukünftig allen Schülern auf einer CD zur Verfügung.

[www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm](http://www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm)

[www.netcologne.de/kfc/deko.htm](http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm)

[www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html)

<http://cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm>

[www.hbo.de/patinfo.htm](http://www.hbo.de/patinfo.htm)

<http://home.t-online.de/home/mfalldorf/mediz03.htm>

[www.de\\_ttauchen\\_5\\_5.html](http://www.de_ttauchen_5_5.html)

[www.d\\_tieft.html](http://www.d_tieft.html)

[www.hyperventilation.html](http://www.hyperventilation.html)

[www.tauchdokter.de/inausohr.html](http://www.tauchdokter.de/inausohr.html)

[www.tauchdokter.de/baro.html](http://www.tauchdokter.de/baro.html)

Beispielhaft werden die Informationen zu den vier Internetadressen ausgedruckt

[www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm](http://www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm)

[www.d\\_tieft.html](http://www.d_tieft.html)

[www.netcologne.de/kfc/deko.htm](http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm)

[www.hyperventilation.html](http://www.hyperventilation.html)

### **barotrau.html : Barotrauma des Ohres:**

Barotrauma ist der Fachausdruck für alle Verletzungen (Trauma) die durch Druck (Baro) -unterschiede entstehen. Im Körper gibt es eine Vielzahl luftgefüllter Hohlräume. Einige davon haben bewegliche Umhüllungen wie z.B. Magen, Darm, Brustkorb. Andere sind fest und knöchern umschlossen wie die Nasennebenhöhlen. Neben Stirn-, Kiefer- und Keilbeinhöhle ist das Mittelohr für die Vorgänge beim Tauchen eine wichtige Höhle. Sie ist durch einen Gang mit dem Nasen- und Rachenraum verbunden. (Eustachische Röhre). Zum Gehörgang und Ohr ist das Mittelohr oder auch Paukenhöhle durch das luftundurchlässige Trommelfell begrenzt. Vom Trommelfell werden Schwingungen, die durch den auf das Ohr treffenden Schall verursacht werden, über die Gehörknöchelchenkette (Hammer, Amboß, Steigbügel) zum Innenohr weitergetragen. Entsteht im Mittelohr ein Unterdruck durch Erhöhung des Umgebungsdruckes, so wölbt sich das Trommelfell ins Mittelohr und würde im Extremfall einreißen. Um dieser Verletzungsgefahr vorzubeugen, kann durch Hineinpressen von Luft

in den Nasen- Rachenraum ein Druckausgleich über die Eustachische Röhre herbeibeführt werden. Damit gleicht sich die Wölbung des Trommelfells wieder aus, was im Ohr durch ein zischendes Geräusch wahrzunehmen ist. Schleimhäute der Nase und des Mittelohres, Trommelfell und Gehörgang müssen beim Tauchen gesund sein. Es darf kein Wasser durch Löcher im Trommelfell ins Mittelohr eindringen können. Dieses würde durch den Kältereiz zu starkem Schwindel und Orientierungsverlust führen. Der Gehörgang muß frei durchgängig sein bis zum Trommelfell, da sonst beim Tauchen ein relativer Unterdruck zwischen Trommelfell und Gehörgangverschluß, z.B. Ohrenschmalzpropf oder Ohrstöpsel entsteht.

Auswirkungen beim Tauchen:

- Beim gesunden Taucher, der in der Tauchausbildung das Prinzip des Druckausgleichs gelernt hat, können keine Barotraumen der Nasennebenhöhlen oder des Mittelohres entstehen.
- Bei erkältungskrankheiten mit Schwellung der Schleimhäute ist ein Druckausgleich über die Eustachische Röhre im Mittelohr nicht möglich.
- Beim Abtauchen wird das Trommelfell gedehnt, im Mittelohr sammelt sich Flüssigkeit, es entsteht eine schmerzhafte Mittelohrentzündung.
- Die meisten Barotraumen entstehen in einer Wassertiefe von 3-6 m.
- Bei zu starker Dehnung kann ein Trommelfell einreißen, die Ausheilung braucht im allgemeinen 4-6 Wochen.
- Entzündungen des Gehörgangs, die z.B. in tropischen Gewässern durch Bakterien, Pilz- oder Algenbefall verursacht werden, können durch vorbeugende Tropfen verhindert werden.

### **d\_tieft.html: Tieftauchen**

Tieftauchen - Pro und Contra (Teil I)Zu Teil II 1. Einleitung Ausgehend von einer anhaltenden und periodisch wieder aufflammenden Diskussion, u. a. in der Newsgroup de.re.sport.tauchen, über das Für und Wider von Tiefenbegrenzungen im Tauchsport soll nachfolgend dargelegt werden, welche Probleme sich durch das Presslufttauchen in größeren Tauchtiefen ergeben. Es soll weiterhin versucht werden, zu erläutern, warum das Aufstellen einer Tiefenbegrenzung keinen wirklichen Zuwachs an Sicherheit erzielen kann. Außerdem sollen die Argumente der beiden Gruppen Gegner und Befürworter skizzenhaft aufgezeigt werden. In der Diskussion prallen die Meinungen der beiden Lager wie bei einem Glaubenskrieg ungeahnt heftig aufeinander. Die beiden Parteien stehen sich oft unversöhnlich gegenüber. So sind die Befürworter von Tiefengrenzen anzuerkennen bereit, daß die Regeln im Tauchsport sehr eng ausgelegt werden sollten. Dies geschieht häufig unter Berufung auf die einzelnen "Verbände", die bestimmte "Sicherheitsstandards" definieren, was Tauchunfälle zuverlässig verhindern soll. Dagegen argumentieren die eher "liberal" Gesinnten vehement gegen die Einschränkung ihrer persönlichen Freiheit. Schlußendlich kommt es dann zu einem Diskurs zwischen einer ordnungspolitisch und einer eher freiheitsbetonten Gruppe, auch wenn diese Bezeichnungen nur plakativen Charakter haben. Untersuchen wir aber zuerst die Argumente der beiden Gruppen.

Argumente pro Tiefenbegrenzung Die Befürworter von Tiefenbegrenzungen führen im wesentlichen Argumentationslinien ins Feld, welche die Sicherheit beim Tauchen nicht mehr gewährleistet sehen, wenn eine bestimmte Tauchtiefe (i.d.R zwischen 30 und 40m Wassertiefe) überschritten wird. Es werden hauptsächlich folgende 3 Aspekte herausgestellt:

2.1 Dekompressionskrankheit Die Aufsättigung von Stickstoff im menschlichen Körper (i.e seinen einzelnen Geweben) wird durch die funktionale Abhängigkeit dieser Stickstoffanreicherung vom Umgebungsdruck und Tauchzeit ab einer bestimmten Überschreitung von Tauchtiefe bzw. Kombination aus Tiefe und Zeit, problematisch. Dadurch ergeben sich, was gesichert ist, erhöhte Risiken während oder nach der Austauschphase, einen Dekompressionsunfall mit unterschiedlicher Schwere zu erleiden.

Genese des Dekompressionsunfalles Der Taucher atmet, wie bekannt, unter Wasser das Atemgas unter erhöhtem Druck, was in der Abtauchphase (Kompressionsphase) zu einem positiven Druckgradienten zwischen dem dem Partialdruck des Inertgases in der Atemluft und den mit diesem Atemgas

über den arteriellen Blutkreislauf versorgten Geweben führt. Der Stickstoff geht daher in den Geweben in Lösung (Gesetz von Henry). In der Folge reichert sich das Inertgas (i. d. R. Stickstoff) in den unterschiedlichen Geweben an und wird beim Aufstieg (Dekompressionsphase) wegen des jetzt geringeren Umgebungsdruckes (und damit verminderten Inertgaspartialdruck) wieder in den venösen Blutkreislauf abgegeben. Wegen der begrenzten Aufnahmefähigkeit des Blutes für Inertgas kann es bei Überschreiten der Aufstiegsgeschwindigkeit bzw. bei Nichteinhalten der Dekompressionstopps zum Auftreten von Gasblasen kommen, die zur Verstopfung von Blutgefäßen und damit zu Gewebeschäden in den betroffenen Bereichen (Läsionen) führen können. Weiterhin problematisch ist die bisher wenig erforschte Bildung kleinster Gasblasen, die durch das Überschreiten einer bestimmten Aufstiegeschwindigkeit auch bei grundsätzlich nicht dekompressionspflichtigen Tauchgängen entstehen können. Diese Aufstiegeschwindigkeit bewegt sich (auch abhängig von der jeweiligen Tauchtiefe) zwischen 20 m/min und 9 m/min. Die geschilderte Problematik ist jedoch nicht gebunden an das Aufsuchen größerer Tiefe, sondern besonders relevant in jenen flachen Tiefenbereichen, wo eine vergleichsweise geringe Verringerung der Tauchtiefe eine große Änderung des Umgebungsdruckes ergibt. Empfohlen kann in Zusammenhang mit dieser Problematik werden, dass a) ein tieferer Tauchgang sorgfältig geplant wird, insbesondere was ausreichenden Vorrat an Atemgas auch unter Mitbeziehung der nötigen Dekompressionsphasen. "Nachgeholte Dekompression" und "Nasse Rekompresseion" als Notmaßnahmen. Eine sog. "nachgeholte Dekompression" ist, falls nur eine geringe Verletzung der Dekompressionsvorschriften auftritt nach gängiger Meinung tolerierbar. Hierbei wird die Oberfläche nur sehr kurz aufgesucht, z. B. um die Tauchflasche zu wechseln. Eine "nasse Rekompresseion" d. h. der Versuch einer weiteren Kompression (Abtauchen auf größere Tiefe) und nachfolgende erneute Dekompression bereits nach dem Auftreten von Symptomen der Dekompressionskrankheit ist aus medizinischer Sicht wegen der damit verbundenen Risiken jedoch abzulehnen (Gefahr der Ohnmacht unter Wasser, Verschlimmerung der Symptome, weil die Gasblasen zwar bei der Rekompresseion verkleinert werden und dadurch in Regionen des Körpers vordringen können, wo sie bei der anschließenden Dekompression noch viel größere Schäden verursachen. b) ein möglichst konservatives Austauschprofil eingehalten wird, d. h. die Aufstiegeschwindigkeit möglichst minimiert wird. Bei der Berechnung des Dekompressionsprofils ist die Verwendung von Tauchcomputern nicht unproblematisch, da die unterschiedlichen teilweise stark differierenden und nur für einen bestimmten Teil eines Taucherkollektives gelten. Anders gesprochen: Die Verwendung eines Tauchcomputers impliziert nicht für 100% der Benutzer eine fehlerfreie Dekompressionsphase.

2.2 Stickstoffnarkose 2. Durch Einwirkung des unter hohem Druck mit der Atemluft eingeatmeten Inertgases Stickstoff kann es unter bestimmten Bedingungen zu narkoseartigen Phänomenen kommen (sog. "Tiefenrausch"). Dieses Risiko steigt bei Tauchtiefen ab 30m an. Die individuelle Empfänglichkeit (Disposition) des Individuums spielt hier eine signifikante Rolle. Dispositionserhöhende Faktoren sind: - Müdigkeit - vorangegangener Alkoholkonsum - Stress/psychische Probleme - Körperliche Anstrengung vor und während des Tauchgangs Dispositionsmindernde Faktoren sind: -Training (i. e. Gewöhnung an einen hohen ppN<sub>2</sub>) Letzteres erhält besondere Bedeutung, da mittlerweile erwiesen ist, dass sich der menschliche Körper an eine Zuführung von Stickstoff unter hohem Partialdruck gewöhnen kann und dieser dann toleriert wird.

2.3 Sauerstoffintoxikation Das Risiko einer Intoxikation mit Sauerstoff, welche ab Partialdrücken von 1,4 bis 1,6 bar ppO<sub>2</sub> zu akuten Lähmungserscheinungen und Bewußtseinsstörungen während des Tauchgangs führen kann, steigt beim Aufenthalt in extremen Tiefen exponentiell an. Die absolute "Grenztiefe" wird theoretisch dort angesetzt, wo der Sauerstoffpartialdruck (ppO<sub>2</sub>), je nach Atemgasgemisch, 1,6 bar überschreitet. Bei Pressluft sind dies Wassertiefen von ca. 60m. Dabei wurde jedoch beobachtet, dass die Toleranz gegen hohe Sauerstoffpartialdrücke abnimmt, wenn z. B. intensive körperliche Anstrengungen vorliegen. Andererseits wurden von Versuchspersonen Sauerstoffpartialdrücke von 3 bar symptomlos toleriert, wenn keine körperliche Aktivität ausgeübt wurde. Da die Sauerstoffintoxikation jedoch ohne Vorwarnung auftritt, können Experimente hier lebensgefährlich sein. 3. Zur Kritik an den vorgebrachten Pro-Argumenten

3.1) Dekompressionsproblematik Dekompressionsphänomene beim menschlichen Körper sind seit ca. 100 Jahren bekannt und werden heute aufgrund von empirisch überprüften Rechenmodellen weitestgehend beherrscht. Die Prophylaxe von Dekompressionsschäden beim Sporttauchen findet heute unter Verwendung von Tauchcomputern und erprobten Dekompressionstabellen statt. Diese erweisen sich als zuverlässig, wenn die Sporttaucher die sie anwenden, entsprechend ausgebildet sind und die ver-



schiedenen Hilfsmittel sachgerecht benutzt werden und weitestgehend fehlerfrei arbeiten. Weiterhin sollte dabei beachtet werden, daß in der Technik dieser Geräte potentielle Fehlerquellen enthalten sein können, was z.B. bei Dekompressionscomputern im Einzelfalle eine falsche Aufnahme der verschiedenen Meßwerte und damit fehlerhafte Austauschberechnungen bedeuten kann. Die bei diesen Rechnern angewandten Rechenmodelle sind dagegen eher als zuverlässig anzusehen, wenn auch bei den einzelnen Modellen starke Abweichungen zu beobachten sind. Diese erhöhen natürlich die reine Aufenthaltzeit in der Tiefe, was vielfach seitens der Anwender durchaus gewünscht wird, was aber auch ein höheres Risiko birgt, einen Dekompressionsunfall zu erleiden. Technischen Geräteausfällen kann durch die Verwendung redundanter Systeme begegnet werden. Insbesondere gehören eine Dekompressionstabelle, ein separater Tiefenmesser und eine Uhr zur Grundausrüstung eines jeden Tauchers. Weiterhin läßt sich empirisch nachweisen, wie bei der Auswertung einer Studie der BSAC ermittelt werden konnte, daß fast sämtliche im Erhebungszeitraum dieser Tauchunfallstudie aufgetretenen Fälle von Dekompressionskrankheit die Symptomatik vollständig zurückgebildet wurden, was auch auf die regelmäßige Anwendung der hyperbaren Sauerstofftherapie zurückzuführen ist. Weiterhin läßt sich nachweisen, daß nur ein Teil der Tauchgänge mit nachfolgendem Dekompressionsunfall überhaupt unterhalb jener Tiefengrenzen führte, die hier diskutiert werden sollen. Die Befürworter von Tiefenbegrenzungen führen zwar hier wiederum an, daß man den mit der Auslösung der Rettungskette und der nachfolgenden Druckkammerbehandlung in Zusammenhang stehenden Aufwand an Menschen und Kosten durch eine Tiefenbegrenzung vermindern könnte, was durchaus richtig ist, aber man, wenn man dieser Argumentation folgt, keinerlei risikobehaftete Aktivitäten mehr zulassen dürfte. Grundsätzlich muß hier angeführt werden, daß es sich beim Sporttauchen nach allgemeiner Einschätzung, z.B. von Versicherungen, *expressis verbis* nicht um eine ausgesprochene Risikosportart handelt. Die entstehenden Aufwendungen für die Behandlung von Dekompressionskrankheiten dürften volkswirtschaftlich mithin vernachlässigbar sein. Beim Auftreten von Dekompressionsunfällen kann daher das Tiefertauchen zwar als förderlich angesehen werden, empirisch belegbar ist ein signifikant erhöhtes Risiko von Todesfällen oder irreversiblen körperlichen Defekten nicht.

**3.2 Stickstoffnarkose** Das Risiko der Stickstoffnarkose steigt ab Tauchtiefen von 30m exponentiell an, nach der herrschenden Lehrmeinung wird ab Tiefen von 60m jeder Sporttaucher, der Pressluft als Atemgasgemisch verwendet, davon betroffen. Das unter hohem Druck eingeatmete Inertgas Stickstoff führt im Nervensystem zur Störung der Reizweiterleitung an den Synapsen und erzeugt einen rauschartigen Zustand mit Fehlwahrnehmungen, Halluzinationen, partiellem oder vollständigem Kontrollverlust und einer häufig beobachtbaren Euphorie. Grundsätzlich wird von Seiten der Tauchmedizin konstatiert, daß sich, im Gegensatz zur O<sub>2</sub>-Intoxikation, bei der N<sub>2</sub>-Narkose eine Gewöhnung des menschlichen Körpers ausbildet und daß mit fortschreitender Adaption höhere Partialdrücke toleriert werden, ohne daß es zu den beschriebenen Symptomen kommt bzw. wenn Symptome sich einstellen, deren Schwere verringert ist. Diese Erkenntnis findet ihre Ausprägung in der von manchen Tauchverbänden empfohlenen maximalen Tauchtiefe, die für Tauchlehrer um 20% höher sein darf als für Nicht-Tauchlehrer. Die Fragwürdigkeit einer derartigen Empfehlung zu diskutieren würde hier zu weit führen, es soll aber darauf hingewiesen werden, daß die Auftretenswahrscheinlichkeit für N<sub>2</sub>-Narkose mit einer großen Anzahl anderer Parameter korreliert, im wesentlichen unabhängig vom Ausbildungsstatus. Dies wurde vorstehend dargestellt. Für das Tieftauchen heißt dies, daß eine höhere Sicherheit nur durch langsames und vorsichtiges Annähern an größere Tiefen erzielt werden kann, was dann ein permanentes Training erforderlich macht. Unverantwortlich, und von den Gegnern der Tiefengrenze ebenfalls eindeutig verneint, ist ein unreflektiertes Abtauchen in größere Tiefen mit dem dadurch sich ergebenden hohen Gefährdungspotential für Ungeübte. Taucher, die größere Tiefen aufsuchen, sollten sich jedoch vor Fehleinschätzungen hüten. Es ist erwiesen, daß das Auftreten von N<sub>2</sub>-Narkose noch mit einer Vielzahl von anderen Parametern korreliert. So sind z.B. Müdigkeit, vorausgegangener Alkoholgenuß, Medikamenteneinnahme etc. mögliche Faktoren, die die N<sub>2</sub>-Toleranz des Körpers unter hyperbaren Bedingungen drastisch herabsetzen können.

Empirisch läßt sich ebenfalls nicht nachweisen, daß Tiefenrausch in einer signifikanten Anzahl der Fälle zum Tode eines Tauchers führte. Weiterhin sollten Taucher beim Aufsuchen größerer Tiefen versuchen, den Tauchpartner sorgfältig zu beobachten, was allerdings an Grenzen stoßen kann, weil bestimmte Verhaltensauffälligkeiten nur dann entsprechend richtig interpretierbar sind, wenn ein gewisser Vertrautheitsgrad zwischen den am Tauchgang beteiligten Personen besteht. Nur wenn der

eine Taucher eine normative Erwartung an das Verhalten des anderen stellen kann, sind Verhaltensdeviationen überhaupt als solche erkennbar.

Daher ergibt sich die Konsequenz, als Tauchpartner für tiefere Tauchgänge nur solche Personen hinzuzuziehen, deren Ausbildungsstand, Erfahrung und Verhalten bekannt sind oder zumindest hinreichend exakt eingeschätzt werden können.

Zu 3.3 Sauerstoffvergiftung Das Auftreten einer O<sub>2</sub>-Intoxikation durch die längerandauernde Einatmung von Atemluft unter hyperbare Bedingungen kann durch Fallbeispiele bei realen Tauchgängen in unserem Umfeld und durch die genannte Tauchunfallstudie nicht belegt werden. Im Gegensatz zur N<sub>2</sub>-Narkose wirkt der hyperbare Sauerstoff unter derart hohem Partialdruck schnell lähmend auf den Menschen, mit der Folge daß es zu akuten Krämpfen unter Wasser kommt. Die Grenztiefe, ab welcher der Sauerstoffgehalt der Atemluft toxisch wirkt, liegt je nach Maximalpartialdruck, der zugestanden wird, zwischen 60 und 70 m, entsprechend 1,47 bar ppO<sub>2</sub> und 1,68 bar ppO<sub>2</sub>. Da in dieser Abhandlung primär die Sinnhaftigkeit des Setzens einer Tiefenbegrenzung oberhalb dieser Grenztiefe diskutiert werden soll, soll die hypothetische Möglichkeit einer O<sub>2</sub>-Intoxikation hier nicht vertieft betrachtet werden.

4. Argumente gegen Tiefenbegrenzungen Die Gegner von Tiefenbegrenzungen führen folgende Argumente an:

1.) Tiefenbegrenzungen stellen Einschränkungen dar, die den Taucher bei der Ausübung seines Sportes in nicht hinehmbarer Weise begrenzen. Dies, so wird argumentiert, konkurriert direkt mit einer eigenverantwortlichen, selbstbestimmten Ausübung des Sportes. Die Argumentation beinhaltet also eine eindeutige Definition wie das Sporttauchen auszuüben sei. Hier stehen als zentrale Begriffe Mündigkeit, Eigenverantwortung und autarkes Handeln im Vordergrund. Weiterhin wird argumentiert, daß die Ausbildung der Taucher darauf angelegt sein müsse, den einzelnen in die Lage zu versetzen, Grenzen (die eigenen und die umgebungsbedingten) zu erkennen und entsprechend verantwortlich zu handeln. In diesem Zusammenhang wird häufig auch Kritik vorgebracht an der Art, wie heute gelegentlich Tauchausbildung im Schnellverfahren betrieben wird, was wir für berechtigt halten. Die Befürworter von nicht eingeschränkten taucherischen Freiheiten sehen diese expressis verbis immer in Zusammenhang mit der sorgfältigen Planung und Durchführung eines Tauchganges. Sie zielen daher grundsätzlich immer auf den Kompetenzerwerb beim einzelnen Sporttaucher ab, der diese größere Verantwortung immer auch zu tragen in der Lage sein muß. Auch sollte man herausstellen, daß es i.d.R. gar nicht um krankhafte "Tiefensucht" geht, wie oft von den Befürwortern von Tiefenbegrenzungen unterstellt wird, sondern daß hier aus bestimmten personalen Werten heraus die Freiheit des einzelnen Sportlers eine höhere Gewichtung erhält, als die Unterwerfung unter (Verbands-)Regeln.

2.) In Zusammenhang mit der ersten Argumentationsweise steht auch, daß Sporttaucher, die sich nie an Grenzen herantasten und diese dann fallweise und wohlüberlegt überschreiten, selten in der Lage sein werden, in kritischen Situationen ihr Handeln angemessen zu gestalten. Man sieht dies insbesondere in den Ländern, wo Sporttaucher mehrheitlich über wenig ausgeprägte Kenntnisse und Fähigkeiten im Tauchsport verfügen (z. B. USA), wo also die theoretische Ausbildung eher auf Kürze und Oberflächlichkeit denn auf Vertiefung und Übung angelegt ist. Dies erscheint logisch, weil dort, wo Tauchen primär unter der Prämisse betrieben wird, den Spaß daran zu maximieren und theoretischen Ballast so weit wie möglich zu vermeiden, dürfen keine hohen Erwartungen an theoretische und praktische Fähigkeiten gestellt werden. Daher können fehlende Tiefenbegrenzungen nur dort verantwortet werden, wo die persönliche Haltung der einzelnen Sporttaucher u.a. durch eine angemessene Tauchausbildung dahin führt, Eigenverantwortung wahrzunehmen. Natürlich darf aber jetzt wegen der Defizite von Teilen der heutigen Tauchausbildung nicht generell abgeleitet werden, daß dann eben Tiefenbegrenzungen die ultima ratio seien. Dies würde auch bedeuten, an der heutigen Tauchausbildung und ihren Schwächen festhalten zu dürfen.

3.) Neben dieser eher sozialpsychologischen Argumentation existiert eine weitere, die empirisch belegt, daß das Aufsuchen größerer Tauchtiefen nicht notwendigerweise zu einer Erhöhung der Zahlen schwerer Tauchunfälle führt. Es läßt sich z.B. anhand von den bereits gezeigten Untersuchungen die Tendenz aufzeigen, daß die Mehrzahl der Tauchunfälle ihre Ursache nicht in der Überschreitung einer (willkürlichen) Tiefengrenze, sondern regelmäßig in einem ganzen Spektrum anderer, oft multifaktoriell auftretender Ursachen findet.

Als rein faktisch basierte Gründe, größere Tiefen aufzusuchen sollen genannt werden:

a) Beobachtungsmöglichkeiten von Tieren, Pflanzen und Wracks, die in geringer Tiefe nicht vorhanden sind.

b) Der Wunsch die eigenen Grenzen zu erkennen, auszutesten und zu verschieben ('Reinhold-Messner-Syndrom') Gerade die psychologische Komponente darf nicht unbeachtet gelassen werden. Bei Tieftauchern handelt es sich oft um Personen, die einerseits über ein ausgeprägtes und starkes Selbstbild verfügen, und andererseits zu stark individualistisch orientiertem Verhalten neigen. 5. Fazit Meiner Ansicht nach ist das Aufstellen von Tiefenbegrenzungen ein Resultat der Entwicklung des Tauchsportes zum massenhaft ausgeübten Trendsport. Diese Entwicklung brachte in den letzten Jahren eine beispiellose Kommerzialisierung und damit eine drastische Verbreiterung des Sportes mit sich. Um jetzt, unter dieser neuen Situation, daß massenhaft Menschen diesen Sport ausüben wollen, das Gefahrenpotential zu begrenzen, erscheinen Tiefenbegrenzungen auf den ersten Blick als ein angemessenes Mittel, um das Anwachsen einer bestimmten Kategorie Unfälle zu begrenzen.

Das primäre Problem scheint mir jedoch in der Ausbildung der einzelnen Taucher selbst zu liegen. Würden hier andere Ziele definiert, als z.B. Neueinsteigern in 4 Tagen einen Tauchschein ausstellen zu wollen, wie das heute regelmäßig der Fall ist (und was sicher ökonomisch einen hohen Profit verspricht), würde die Bedeutung der Tiefengrenzen abnehmen. Eine gewissenhafte Ausbildung, wie sie heute trotz Massenbetrieb noch von vielen geleistet wird, ist m. E. das einzig probate Mittel, um Tauchern (besonders Anfängern) ihre und die technischen Grenzen aufzuzeigen und bewußt zu machen.

Mit anderen Worten: Wenn die Bereitschaft zu mehr Eigenverantwortung und realistischer Abschätzung des eigenen Fähigkeiten, also schlußendlich die Fähigkeit zur (Selbst-)Kritik, ein integrales Ziel der Tauchausbildung wäre, würden die leidigen Tiefenbegrenzungen irgendwann obsolet. Wir argumentieren, daß sorgfältig ausgebildete Sporttaucher, die während ihrer Ausbildung auch mit tauchpsychologischen Problemstellungen konfrontiert würden, weniger dazu tendieren würden in unverantwortlicher Weise Tiefen aufzusuchen, die ihren aktuellen Ausbildungs- und Trainingsstand bei weitem überschreiten. Aber derartiges ist leider bei der heutigen Ausbildung in der Regel nicht zu leisten, wobei es sicher unstrittig Ausnahmen gibt. Grundsätzlich sehe ich aber die Eigenverantwortlichkeit höher an, als den Zwang, nur um das relativ unwahrscheinliche Auftreten eines "Tiefenunfalls" zuverlässig zu verhindern, eine für alle Taucher geltende Zwangsgrenze zu implementieren. Dies auch deshalb, weil Unbeteiligte bei Unfällen i.d.R. nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Daher tragen auch die häufig Vergleiche mit dem Straßenverkehr hier wenig. Würde man derart begrenzend weiter verfahren, dürfte in letzter Konsequenz nicht mehr getaucht werden, denn das Risiko, beim Tauchen u. U. schwerste Schäden zu erleiden, beginnt, was nachweisbar ist, direkt an der Wasseroberfläche.

Außerdem sollte sich jeder, der den Tauchsport ausübt, über die Risiken die er einzugehen bereit ist, klar sein. Dies kann von mündigen Menschen erwartet werden.

## 6. Praktische Hinweise für das Tauchen in größeren Tauchtiefen

6.1 Trainingsstand Größere Tauchtiefen können nur beherrscht werden, wenn der einzelne Taucher einen entsprechenden Trainingsstand aufweist. Es soll hier nicht der Eindruck hervorgerufen werden, daß damit alle Gefahrenpotentiale ausgeschaltet würden. Nur, es ist eben die unabdingbare Voraussetzung für sicheres Tauchen in größeren Tauchtiefen, daß der Taucher sich im Laufe eines längeren Trainings langsam an die neuen und oft ungewohnten Bedingungen (hoher Stickstoffpartialdruck, evtl. Dunkelheit, Kälte etc.) herantastet. Empfehlenswert ist dieses Training mit Tauchpartnern, die bereits über entsprechende Erfahrung verfügen und unter charakterlichem und sportlichen Aspekt für diese Aufgabe geeignet sind. Unter dieses Kapitel fallen auch die theoretischen Kenntnisse, die ein Sporttaucher über Tauchmedizin im allgemeinen und über die Dekompressionsproblematik im Besonderen haben muß. Wenn, wie häufig bei der heutigen (kommerziell) orientierten Tauchausbildung, dieser Aspekt aus Zeitmangel (und gelegentlich Kompetenzgründen) ignoriert wird, ist die Durchführung von dekompensationspflichtigen Tauchgängen nicht zu verantworten. Weiterhin muß gewährleistet werden, daß Taucher nicht nur das Ablesen eines Tauchcomputers beherrschen, sondern die gelieferten Daten auch sachgerecht interpretieren können, i.e. aufgrund ihrer theoretischen Kenntnisse in der Lage sein müssen, Fehlberechnungen und -messungen als solche zu erkennen und zu korrigieren. Es darf nicht sein, daß drastische Abweichungen der Daten vom Sollwert, die ein Dekompressionscomputer im Fehlerfalle liefert, vom Taucher in der jeweiligen Situation ohne weiteres akzeptiert werden,

aus Unkenntnis der real zu erwartenden Meßwerte. Aus diesem Grunde sollten Taucher in jedem Falle bei allen Tauchgängen eine Dekompressionstabelle zusätzlich mitführen und auch geübt darin sein, die notwendigen Dekompressionspausen mit dieser Tabelle berechnen zu können. Zusätzlich müssen als Ausrüstungsgegenstände immer eine Uhr und ein Tiefenmesser mit Maximaltiefenanzeige mitgeführt werden.

6.2 Ausrüstung Es erscheint selbstverständlich, daß die Tauchausrüstung für den geplanten Tauchgang in einwandfreiem Zustand sein muß. Mit Atemreglern, die seit Jahren keine Revision erhalten haben oder Tarierhilfen, bei denen die Ventile nicht zuverlässig arbeiten, kann man derartige Unternehmungen nicht verlässlich durchführen.

6.3 Persönliche Befindlichkeit Auch die Tagesform spielt eine gewichtige Rolle. Wer sich aus welchen Gründen auch immer nicht wohlfühlt, wer unter Streß steht, oder im schlimmsten Fall unter der (Nach-)Wirkung von Alkohol oder Medikamenten steht, sollte gar nicht tauchen. Es ist selbstredend, daß größere Tiefen hier zu einem nicht kalkulierbaren Risiko werden können. Man sollte sich stets darüber im Klaren sein, daß Tiefen unterhalb 40m mit einem gewissen erhöhten Risiko verbunden sind, was aber eingegangen werden kann, wenn die Vorbedingungen entsprechend eingestellt sind. Peter Rachow, im Februar 1999 Ich freue mich über Anmerkungen per e-mail! Zu Teil II

### **deko.html: Die Bläschenerkrankung**

Nach neuen Daten von DAN Europa beträgt das Risiko eines Dekompressionsunfalls 0,015 % (1 auf 6 604). Werden nur Tauchgänge oberhalb 30 m ohne Dekompressionspflicht berücksichtigt, beträgt das Risiko 0,0025 % (1 auf 40 227). Auch bei genauer Einhaltung der Dekompressionsvorschriften besteht grundsätzlich ein Restrisiko, doch zu erkranken. Das gilt auch für die Nullzeittauchgänge !

Dekounfälle stellen insgesamt nur ca. 20 % aller schweren Zwischenfälle beim Sporttauchen. Bei tödlichen Tauchunfällen führt die Panikreaktion mit nachfolgendem Ertrinken die Statistik an.

Neben der Panik mit nachfolgendem Ertrinken ist die Überdehnung der Lunge die häufigste Todesursache beim Tauchen. Sie entsteht, wenn sich das beim Auftauchen in der Lunge ausdehnende Atemgas nicht ausreichen abgeatmet werden kann. Für den Riss von Lungenbläschen genügt ein geringer Druck. Er wird erreicht, wenn ein Taucher aus 2 m Wassertiefe nach vollständiger Einatmung mit angehaltener Luft an die Oberfläche schwimmt (Schwimmbadtraining !). Neuere Untersuchungen haben kleinste Schwachstellen in den äußeren Lungenabschnitten auch bei völlig gesunden jungen Menschen nachgewiesen. Wird durch eine leichte Erkältung der zu diesen Bläschen führende Luftkanal durch Schleimhautschwellung verschlossen, reißt das Bläschen beim Auftauchen ein und die Luftbläschen werden mit dem Blut verschleppt (Air trapping).

Durch den Übertritt von Atemgas aus gerissenen Lungenbläschen kann es zu einer Luftembolie im Gehirn mit Übelkeit, Kopfschmerzen , Krämpfen und Schwindelzuständen, ins Rückenmark mit Lähmungen oder in die Herzkranzgefäße mit Herzinfarkt kommen.

Von diesen durch verschleppte Luftblasen hervorgerufenen Erkrankungen (arterielle Gasembolie) zu trennen ist die Schädigung durch Stickstoffblasen. Kleinste Stickstoffblasen im venösen Blut entstehen während nahezu jedem Tauchgang (!), auch bei sehr langsamen Aufsteigen.

Mikrostickstoffblasen im arteriellen Blut entstehen bei zu schnellen Aufstiegen und sind gefährlich, da sie wie die Luftblasen zur arteriellen Gasembolie führen.

Mikrostickstoffblasen im Gewebe entstehen während und nach einer ungenügenden Dekompression. Sie bewirken die Dekompressionskrankheit.

Im venösen Kreislauf bilden sich die Blasen hauptsächlich am Ende eines Aufstiegs und in den folgenden drei bis vier Stunden an der Oberfläche. Sie wandern in die Lunge, verstopfen die feinen Blutgefäße und behindern die Stickstoffabatemung. Dadurch erhöht sich der Stickstoffdruck im Blut des arteriellen Systems. Zehn bis dreißig Minuten nach dem Erreichen der Oberfläche erreicht dieses Phänomen seinen Höhepunkt. Nach zwei bis vier Stunden sind die Blasen verschwunden.

Bei mehreren Tauchgängen mit kurzem Oberflächenintervall sind die Gasblasen des letzten Tauchgangs noch nicht vollständig abgebaut, die Blasen vermehren sich nach jedem zusätzlichen Tauchgang. Die Behinderung der Stickstoffabatemung wird nach jedem Tauchgang größer. Außerdem steigt mit zunehmender Anzahl der Blasen die Gefahr, daß die Blasen den Lungenfilter überwinden und in das arterielle System eingeschleppt werden.

Wenn 40 % der Lungengefäße durch Stickstoffblasen belegt sind, kommt es zu stechenden Atembeschwerden (Chokes).

Die Dekompressionskrankheit wird nach den Beschwerden unterteilt:

Typ I.

Nur Schmerzen, die bis 24 Stunden nach dem Tauchgang auftreten. Gelenk- und Muskelschmerzen (Bends), Hautsymptome (Taucherflöhe). Typ I kann vor allem bei längeren Tauchzeiten im flachen Wasser auftreten (krank sind die "langsamen" Gewebe).

Typ II:

Krank werden Gehirn, Rückenmark, Herz und Lunge (die "schnellen" Gewebe). Beginn innerhalb von Minuten bis zu zwei Stunden nach dem Tauchgang.

Gehirn: Kopfschmerzen, Seh-, und Sprechstörungen, Bewußtseinsstörung, extreme Müdigkeit.

Rückenmark: Lähmungen, am häufigsten strumpfhosenförmige Gefühlsausfälle, verbunden mit einer Schwäche der Beinmuskulatur, Blasen- und Mastdarmlähmung.

Innenohr : Schwindel und starkes Erbrechen, Ohrgeräusche, Hörverlust.

Lunge : Stechende Schmerzen bei tiefer Atmung.

Ein führender Taucharzt aus den USA, Prof. Elliot, beendete seinen Vortrag auf einem Kongreß mit dem Wunsch an seine Zuhörer: "That all your bubbles remain silent".

Dem ist nichts hinzuzufügen.

zurück zur Übersicht © Udo Blatzheim

## hyperventilation.html: Hyperventilation

Unter Hyperventilation versteht man im allgemeinen ein schnelles, tiefes, hintereinander ausgeführtes ein- und ausatmen. Die Hyperventilation kann bewußt durchgeführt werden, aber auch unbewußt erfolgen. Hierbei wird Kohlendioxid abgeatmet, wodurch der Kohlensäurespiegel im Blut vermindert wird.

Oft wird irrtümlicher Weise angenommen, daß durch Hyperventilation der Sauerstoffanteil im Blutkreislauf ansteigt und man somit länger den Atem anhalten könnte. Dies ist nicht der Fall, da das Hämoglobin bereits bei normaler Atmung zu 97% mit Sauerstoff gesättigt ist. Man kann somit durch Hyperventilation keine Erhöhung des Sauerstoffanteils im Blut erreichen. Durch das schnelle hintereinander ausgeführte ein- und ausatmen wird jedoch der Kohlendioxidgehalt im Blut gesenkt. Der Kohlendioxidgehalt ist der Faktor, der dem Atemzentrum signalisiert wann eingeatmet werden muß. Durch die Senkung der Kohlendioxidgehaltes wird ebenfalls der sogenannte Atemreiz hinausgezögert. Die Apnoe- oder Atemhaltezeit wird vermeindlich verlängert. Da der Körper während dieser Zeit Sauerstoff verbraucht entsteht ein vom Taucher nicht bemerkbarer Sauerstoffmangel. Dies kann zur Bewusstlosigkeit führen. Gefährlich ist diese Bewusstlosigkeit vor allem, weil sich diese durch keinerlei Anzeichen ankündigt und spontan auftritt. Viele Unfälle im Schwimmbad lassen sich auf Hyperventilation zurückführen. Man spricht von Schwimmbad-Blackout. Einige Menschen meinen durch bewusste Hyperventilation vor dem Durchtauchen des Schwimmbeckens länger den Atem anhalten zu können. Wie bereits beschrieben kann dies fatale Folgen haben.

### Gegenmaßnahme

Durch Hyperventilation hervorgerufene Bewusstlosigkeit tritt nur in besonderen Situationen ein, bei welchen zwei Faktoren aufeinandertreffen. Sollten Sie durch Stresseinwirkung in eine Situation kommen, wodurch Ihre Atmung stark verstärkt wird, und würden Sie daraufhin Ihren Atem anhalten, so könnten Sie bewusstlos werden. Behalten Sie während Stresssituationen Ruhe und versuchen Sie ruhig weiterzuatmen. Oft hilft es für kurze Zeit die Augen zu schließen um Ihre innere Ruhe wiederzufinden.

## **1.4 Erste Erprobung**

**L 70**

## Erste Erprobung des Lernzyklus ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ am THG

Von Anfang September bis Mitte November 2000 wurde der Lernzyklus im Rahmen von 31 Schulstunden in einem Leistungskurs am Theodor – Heuss – Gymnasium in Göttingen erprobt. Jede Schülergruppe durchlief in der Erarbeitungsphase fünf Lernstationen. Die Lernstationen ‚Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall‘ und ‚Atmen in extremen Höhen‘ konnten alternativ gewählt werden. Die Materialien standen zu Beginn der Erarbeitungsphase allen Schülerinnen und Schülern zu Verfügung. Im Rahmen einer Langzeithausaufgabe war von allen ein Bericht anzufertigen, der die Bearbeitung aller Lernstationen enthielt und der benotet wurde. Zur Klausurvorbereitung wurden die Ergebnisse zu den Lernstationen von einzelnen Schülergruppen präsentiert und zur Diskussion gestellt. Die erste Klausur bezog sich auf die Arbeit in den Lernstationen.

### Tauchkurs

Um die Erfahrungen beim Tauchen am eigenen Körper wahrnehmen zu können, besaßen die 17 Schüler und Schülerinnen des Kurses die Möglichkeit, an einem sechsständigen Einführungskurs im Tauchen teilzunehmen, so dass parallel zu den Simulationsexperimenten für sie die Möglichkeit bestand, direkt ihre Körperreaktionen bei wechselnden Parametern wahrzunehmen und mit ihrem theoretisch und experimentell erarbeiteten Wissen zu verankern. Der Tauchkurs fand zusätzlich an sechs Donnerstagen von 13:30 Uhr – 15:00 im Sportinstitut statt. Der Leistungskurs war in zwei Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe hat eine Doppelstunde geschnorchelt und zwei Doppelstunden mit Geräten getaucht.

### Vorlauf

Bevor die Arbeit in Stationen begonnen wurde, fand eine Einführung in Gleichgewichtsbetrachtungen statt. Einführungsexperiment war die unterschiedliche Gasentwicklung beim Auflösen von Brausetabletten<sup>54</sup>.

#### Geräte und Chemikalien

Messzylinder, Wanne, Aspirin plus C® - Brausetabletten

#### Durchführung und Beobachtung

Wurde eine Tablette in einem mit Wasser gefüllten Messzylinder gelöst, der umgekehrt in einem Wasserbad stand, bildete sich ein Gasvolumen von 90 ml. Wurde eine zweite Tablette unter den Gaszylinder gebracht, war das Volumen nicht 180 ml sondern ca 280 ml. Das verblüffende Ergebnis führte zur Diskussion über die unterschiedliche Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid. Der pH –Wert der Lösung, nachdem eine Tablette aufgelöst war, verringerte sich auf ca.4,5.

**Der Einführungsversuch wurde ergänzt durch ein zweites Demonstrationsexperiment<sup>55</sup> zur pH – Wert-Abhängigkeit der Kohlenstoffdioxidlöslichkeit.**

#### Geräte und Chemikalien

Saugflasche, Kolbenprober, Stopfen, Gasflasche mit CO<sub>2</sub>, c(HCl) = 0,1 mol/l, v(HCl) = 10 ml, c(NaOH) = 0,5 mol/l, v(NaOH) = 10 ml, Pipetten und Pipettierhilfen

<sup>54</sup> R. Piosik: Experiment mit Aspirin plus C –Brausetabletten. Chemie in der Schule, 47/2, 2000, S.77-78.

<sup>55</sup> A. Paschmann, u.a.: Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf. MNU 53/3,2000, S. 170-175 und Nr. 4, S.227-231.



Durchführung:

- Der Kolbenprober wurde mit 100 ml CO<sub>2</sub> gefüllt,
- die Saugflasche mit 10 ml Natronlauge versetzt und
- die Luft in der Saugflasche durch CO<sub>2</sub> verdrängt und mit einem Stopfen verschlossen.
- Die Saugflasche wurde mit dem Kolbenprober verbunden auf einen Magnetrührer gestellt
- und nachdem sich keine Veränderung zeigte mit Salzsäure versetzt.

Beobachtungen

Nach dem Einschalen des Rührers wird der Kolben eingezogen, das Gasvolumen reduziert sich bis fast auf null. Nach Zugabe der Säure erhöht sich das Volumen.

Deutungen

Einerseits weisen beide Experimente darauf hin, dass die Löslichkeit von CO<sub>2</sub> und die Protolyse von Kohlensäure reversibel sind, andererseits wird aber auch deutlich, dass es sich offensichtlich um ein Gleichgewichtssystem handelt, dass je nach Bedingung eine unterschiedliche Lage aufweist.

**Sinnvolle Ergänzung**

Zu diesem Zeitpunkt bietet es sich an, eine Computersimulation über Gleichgewichte und Gleichgewichtseinstellungen zu zeigen, um den dynamischen Charakter eines Gleichgewichtes zu verdeutlichen. Ich habe bei meiner Erprobung darauf verzichtet, habe aber bei der Auswertung der Arbeiten und beim concept mapping festgestellt, dass es Schülern immer wieder schwer fällt, physiologische Phänomene, die auf Veränderungen im Säure – Base –Haushalt zurückzuführen sind, auf der Teilchenebene zu interpretieren.

**Zeitschiene**

Datum	Stundenanzahl	Phasen	Thema	Methode
		<b>Vorlauf</b>		
25.8.2000	2	Einführungsexperiment 1:	Zwei ungleiche Tabletten	Unterrichtsgespräch
28.8.2000	2	Einführungsexperiment 2:	Die unterschiedliche Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in einer Saugflasche	Unterrichtsgespräch
		<b>Lernzyklus</b>		
6.9.2000	2	<b>Begegnungs- und Neugierphase:</b>	Taravana und Höhenkrankheit – zwei Phänomene	Unterrichtsgespräch
11.9.2000	2	Lernstationen 1,2,3	Barotrauma, Taucherflöhe, Blackout	Gruppenarbeit
13.9.2000	1	Lernstationen 1,2,3	Barotrauma, Taucherflöhe, Blackout	Gruppenarbeit
15.9.2000	2	Lernstationen 1,2,3	Barotrauma, Taucherflöhe, Blackout	Gruppenarbeit

Datum	Stundenanzahl	Phase	Thema	Methode
18.9.2000	2	Lernstationen 1,2,3	Barotrauma, Taucherflöhe, Blackout	Gruppenarbeit
20.9.2000	1	Erklärungsphase	O <sub>2</sub> -Sättigungskurve von Hämoglobin	Unterrichtsgespräch
22.9.2000	2	Lernstationen 4 alternativ 5 und 6	Standardtherapie nach einem Tauchunfall, Atmen in großen Höhen, Blutpuffer	Gruppenarbeit
25.9.2000	2	Lernstationen 4 alternativ 5 und 6	Standardtherapie nach einem Tauchunfall, Atmen in großen Höhen, Blutpuffer	Gruppenarbeit
27.9.2000	1	Wiederholungsphase	Barotrauma, Taucherflöhe	Präsentation
29.9.2000	2	Wiederholungsphase	Blackout, Standardtherapie nach einem Tauchunfall, Atmen in großen Höhen, Blutpuffer	Präsentation
4.10.2000	2	Wiederholungsphase	Übungen zur Klausur	Unterrichtsgespräch
6.10.2000		<b>Klausur Nr. 1</b>		
9.10.2000	2	Lernstationen 4 alternativ 5 und 6	Fortführung der Protokolle	Gruppenarbeit
11.10.2000	1		Rückgabe der Klausur	
		<b>Vertiefungsphase</b>		
13.10.2000	2	Lernstation 7, Teil 1	Titration einer Infusionslösung	Gruppenarbeit
16.10.2000	2	Lernstation 7, Teil 1	Auswertung der Titrationskurve	Unterrichtsgespräch
18.10.2000	1		Gespräch über den Lernzyklus und Abgabe der Langzeithausaufgabe der Stationen 1-6.	
		<b>Herbstferien</b>		
3.11.2000	2	Lernstation 7, Teil 2	Titration von Aqua dest.	Gruppenarbeit
8.11.2000	1	Lernstation 7, Teil 2	Auswertung der Kennlinie	Unterrichtsgespräch
10.11.2000	2	Lernstation 7, Teil 3	Titration von Blut	Gruppenarbeit
13.11.2000	2	Lernstation 7, Teil 3	Auswertung der Kennlinie	Unterrichtsgespräch

## Leistungsüberprüfung

Im Kurs wurde am 6.10.2000 die erste Klausur geschrieben. Es war eine theoretische Klausur, die an die Lerninhalte des Lernzyklus ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ anknüpfte.

Die zweite Klausur fand am 24.11.2000 statt. Es war eine praktische Klausur. Es handelte sich um die potentiometrische Titration eines Mineralwasser.

## Motivation und Interesse

Motivation, Interesse, und Einstellung zur Gruppenarbeit wurde in Form von Fragebögen abgefragt. Fragebogen 1 wurde vor Beginn des Lernzyklus ausgegeben, Fragebogen 2 nach Beendigung der Stationenarbeit.

**1.5 Klausur zum Kontext**

**L 74**

**Thema: Kontextgebundene Gleichgewichtsbetrachtungen****Aufgabe 1**Geräte und Chemikalien

Kunststoffschlauch (Höhe: 2,05 m, Durchmesser<sub>(innen)</sub>: 2,6 cm), Kolbenprober, Schlauchstück, 2 Stopfen, Kunststoffschüssel, Mineralwasser

Durchführung und Beobachtung

- Das Glasrohr, das **unten** mit einem Stopfen verschlossen ist, wird mit Mineralwasser gefüllt. Dann wird **oben** ein Stopfen aufgesetzt.
- Ist die Gasblasenentwicklung zum Stillstand gekommen, wird der **obere** Stopfen entfernt.
- Die Gasblasenentwicklung setzt erneut ein, wobei die Gasblasen von unten nach oben größer werden.
- Wird der **obere** Stopfen erneut aufgesetzt, kommt die Gasblasenentwicklung zum Stillstand.
- Nun wird der untere Stopfen entfernt. Die Gasblasenbildung setzt erneut ein und hört erst auf, wenn man die untere Öffnung verschließt.

Auswertung

- 1.1 Werten Sie die Beobachtungen unter 3, 4 und 5 aus.
- 1.2 Formulieren Sie die sich aus dem Experiment ergebende Gesetzmäßigkeit. Gehen Sie dabei auf die Veränderung von Partialdruck und Löslichkeit des Gases ein.
- 1.3 Deuten Sie die gefundene Gesetzmäßigkeit auf der Teilchenebene und verdeutlichen Sie dabei das Le Chatelier Prinzip.
- 1.4 Bestimmen Sie die Konzentration des gelösten Stickstoff im Blut eines Tauchers in 30 m Tiefe und an der Wasseroberfläche bei 1013 hPa. Die Henry – Konstante für Stickstoff beträgt  $7,3 \cdot 10^{-9} \text{ molL}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  Welche Auswirkungen hat es für einen Taucher, wenn er aus 30 m Tiefe panikartig auftaucht und welche Symptome stellen sich möglicherweise ein? Gehen Sie dabei sowohl auf das Gasvolumen wie auch auf die Löslichkeit ein.

**Aufgabe 2**Durchführung und Beobachtung

- In einen Kolbenprober mit Hahn werden 10 ml Kohlenstoffdioxid eingefüllt und 20 ml Wasser, das durch Universalindikator grün gefärbt ist, nachgezogen..
- Der Kolbenprober wird bei geschlossenem Hahn geschüttelt und der Kolben kräftig eingedrückt. Der Indikator schlägt nach Rotorange um und zeigt damit einen sauren Bereich an. Das Volumen beträgt nach Hineindrücken des Kolbens nur 1 –2 ml.
- Wird nun der Kolben kräftig herausgezogen, so ist eine heftige Gasblasenentwicklung zu beobachten und die Färbung der Lösung verändert sich nach Grün.

Auswertung

- 2.1 Deuten Sie die Farbänderungen des Indikators mit Hilfe von Gleichgewichtsbetrachtungen. Formulieren Sie für alle beteiligten Gleichgewichtsreaktionen das entsprechende MWG.

- 2.2 Erklären Sie die Auswirkungen der Hyperventilation auf die Kohlenstoffdioxid/Kohlensäuregleichgewichte und auf den pH – Wert im Blut. Warum wird eine Schwimmer bewusstlos, wenn er vor dem Streckentauchen hyperventiliert?

### **Aufgabe 3**

#### Geräte und Chemikalien

Kunststoffschlauch (Höhe: 2,05 m, Durchmesser<sub>(innen)</sub>: 2,6 cm), Kolbenprober, Schlauchstück, 2 Stopfen, Kunststoffschüssel, Salzsäure  $c = 1 \text{ mol/l}$

#### Durchführung und Beobachtung

- Der Kunststoffschlauch wird unten mit einem Stopfen verschlossen und randvoll mit Salzsäure der Konzentration  $1 \text{ mol/l}$  gefüllt.
- Der Schlauch wird soweit abgesenkt, bis die untere Öffnung in eine mit Wasser gefüllte Kunststoffschüssel taucht.
- Das obere Ende des Schlauches wird ebenfalls mit einem Stopfen verschlossen. Der untere Stopfen wird vorsichtig entfernt.
- Mit Hilfe eines Kolbenprobers, an dessen Ende sich ein Schlauchstück mit einem Auströmerstein befindet, werden  $100 \text{ ml}$  Kohlenstoffdioxid durch die untere Öffnung eingeleitet. Es stellt sich eine  $1,8 \text{ cm}$  lange Gassäule ein.
- Zum Vergleich wird der Schlauch mit Wasser gefüllt und es werden ebenso  $100 \text{ ml}$  Kohlenstoffdioxid eingeleitet. Die Länge der Gassäule beträgt  $1 \text{ cm}$

#### Auswertung

- 3.1 Bestimmen Sie rechnerisch das Volumen Kohlenstoffdioxid, das sich in Wasser und Salzsäure löst.
- 3.2 Begründen Sie den Unterschied in der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser und Salzsäure.
- 3.3 Ein Erkrankter atmet sehr schnell in und aus. Eine Blutuntersuchung ergibt einen pH – Wert von  $7,1$ . Zu erwarten ist, dass der pH – Wert noch weiterfällt. Machen Sie eine Aussage über die Konzentration der Oxoniumionen, über die Konzentration von Hydrogencarbonationen und über den Partialdruck von Kohlenstoffdioxid im Blut.
- 3.4 Welche Eigenschaft muss das zu verabreichende Medikament besitzen und welchen Stoff enthalten, um die Störung im Säure – Base Haushalt des Blutes aufzuheben?

## Erwartungshorizont

Aufgabe	Erwartete Leistungen	Punktzahl
1.1	Im verschlossenen Schlauch ist solange eine Gasblasenentwicklung zu beobachten, bis der Partialdruck von CO <sub>2</sub> in der Flüssigkeit dem Partialdruck in der Gasphase entspricht. Dabei herrscht in der Gasphase ein Überdruck. Bei Entfernen des oberen Stopfens entweicht das Gas in den Luftraum. Der Partialdruck in der Gasphase erniedrigt sich, dem entsprechend wird auch die Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit reduziert und CO <sub>2</sub> perlt aus.	4
	Die Mikroblasen bilden sich dort bevorzugt, wo schon Blasen sind; Blasen nehmen nach oben hin ein größeres Volumen ein, damit werden die Gasblasen von unten nach oben größer.	1
	Wird der Schlauch erneut verschlossen, ist solange eine Gasblasenentwicklung zu beobachten, bis der Partialdruck von CO <sub>2</sub> in der Flüssigkeit erneut dem Partialdruck in der Gasphase oberhalb der Flüssigkeitssäule entspricht.	1
	Durch Entfernen des untern Stopfens wird durch das Gewicht der Wassersäule ein Unterdruck im Gasraum erzeugt. Die Löslichkeit des Gases wird erniedrigt und CO <sub>2</sub> perlt aus. Wird der Stopfen erneut aufgesetzt, nimmt die Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit zu.	6
1.2	Die Löslichkeit eines Gases ist druckabhängig. Nach dem Henry – Gesetz ist der Partialdruck des Gases in einer Flüssigkeit, der auch dem Partialdruck des Gases in der Gasphase entspricht proportional zur Konzentration des Gases also seiner Löslichkeit. Der Proportionalitätsfaktor ist die Henry – Konstante, deren Größe von der Temperatur, den stoffartspezifischen Eigenschaften des Gases und des Lösungsmittels abhängen. Es gilt: $c = k_H \cdot p$	8
1.3	Zwischen den Gasmolekülen in der Lösung und den Gasmolekülen in der Gasphase liegt ein dynamisches Gleichgewicht vor. Ist das Lösungsmittel mit Gas gesättigt, wandern pro Zeiteinheit gleich viele Gasmoleküle aus der Lösung heraus wie in die Lösung eintauchen. Wird der Druck erhöht, treffen pro Zeiteinheit öfter Gasmoleküle auf die Oberfläche der Lösung. Folglich steigt die Konzentration in der Lösung. Die gestiegene Konzentration bedeutet aber auch, dass die Anzahl der Moleküle, die die Lösung verlassen, zunächst zunimmt. Wenn wiederum die Anzahl der Moleküle, die die Lösung verlassen mit der Anzahl der Gasmoleküle identisch ist, die in die Flüssigkeit eintauchen, hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt mit neuer Gleichgewichtslage. Dieses neue Gleichgewicht ist gekennzeichnet durch eine höhere Löslichkeit.	6
	Das Prinzip von Le Chatelier besagt: Ein dynamisches Gleichgewicht hat die Tendenz, einer Änderung der Umweltbedingungen entgegenzuwirken.	2
	Bei einer Druckerhöhung versucht das System durch eine Erhöhung der Konzentration des Gases in der Lösung das Gleichgewicht wiederherzustellen. Das sich neu einstellende Gleichgewicht besitzt eine neue Gleichgewichtslage, so dass die Druckerhöhung zum Teil kompensiert wird.	2
1.4	$C = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ molL}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \cdot 101300 \text{ Pa} \cdot 0,78 = 5,77 \cdot 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$	4
	$C = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ molL}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \cdot 395335 \text{ Pa} \cdot 0,78 = 22,5 \cdot 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$	4

Aufgabe	Erwartete Leistungen	Punktzahl
	Reduziert sich der Partialdruck des Stickstoffs, vermindert sich auch die Löslichkeit. Stickstoff perlt aus. Werden zu viele Gasblasen gebildet, die nicht abgeatmet werden können, verstopfen sie feine Lungenkapillaren. Die Verstopfung führt zu einer Druckzunahme im venösen Teil des Kreislaufes. Beträgt die Druckzunahme mehr als 5% über dem Normalwert werden arteriovenöse Kurzschlüsse geöffnet und Gasblasen gehen in das arterielle Blut über, was zu Schädigungen im Gehirn und Rückenmark führen kann. Typ 1 der Dekompressionskrankheit ist die milde Form. Dazu zählen Beschwerden der Haut sowie Schmerzen in Muskeln oder Gelenken. Es handelt sich hauptsächlich dabei um Gasblasen, die im Gewebe um die Gelenke und in der Haut entstanden sind. Typ 2 zeichnet sich durch schwerwiegende Symptome aus, die unter Beteiligung von Gehirn, Rückenmark und Lunge entstehen.	6
	Beim Tauchen mit einem Pressluftgerät wird die Lunge nicht nur an der Wasseroberfläche normal mit Luft gefüllt, sondern auch unter Wasser erfolgt eine normale Luftfüllung. In 10 m Tiefe beispielsweise befindet sich etwa doppelt soviel Luftmasse in der Lunge wie an der Wasseroberfläche. In 30 m Tiefe herrscht ein Druck von 4 bar, also kann die Lunge mit der vierfachen Luftmenge gefüllt werden. Panikartiges Auftauchen eines Presslufttauchers ohne ausreichende Ausatmung bedeutet aber auch, dass sich bei Druckminderung das Volumen der Lunge ausdehnt, was zu Rissen in den Lungenbläschen und damit zu Gasembolien führen kann.	6
2.1	Wird der Kolben hineingedrückt, also der Druck erhöht, erhöht sich auch die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid. Nimmt die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid zu, wird die Oxoniumionenbildung gefördert. Die Erniedrigung des pH – wertes führt zur Rotfärbung.	4
	Wird der Kolben herausgezogen, der Druck erniedrigt, reduziert sich der Partialdruck von CO <sub>2</sub> und die Löslichkeit nimmt ab. Durch Rückbildung von Kohlesäure aus Hydrogencarbonationen und Oxoniumionen wird der Störung entgegengewirkt.	4
	$K_H = \frac{c(\text{CO}_2)}{p(\text{CO}_2)} ; K(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}{c(\text{CO}_2)} ; K(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	6
2.2	Durch Hyperventilation wird der Partialdruck von CO <sub>2</sub> in der Lunge und damit auch im Blut erniedrigt. Somit erniedrigt sich auch die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> im Blut. Damit wird die Protolyse der Kohlensäure gestört. Die Oxoniumionenkonzentration erniedrigt sich, der pH – wert erhöht sich. Da die Chemorezeptoren, die das Atemzentrum aktivieren, auf eine erhöhten Partialdruck von CO <sub>2</sub> ansprechen, flacht die Atemfrequenz ab. Ein Sauerstoffdefizit stellt sich ein. Das Gehirn reagiert auf einen Sauerstoffmangel sofort. Die mangelnde Sauerstoffversorgung führt zur Bewusstlosigkeit.	8
3.1	$V(\text{Schlauch}) = 205 \text{ cm} \cdot \pi \cdot 1,3^2 = 1088,40 \text{ cm}^3$ <p>d.h. 1 cm entspricht 5,31 cm<sup>3</sup> und 1,8 cm entsprechen 9,56 cm<sup>3</sup> Ohne Berücksichtigung des Unterdrucks haben sich in Salzsäure 90,44 ml CO<sub>2</sub> gelöst und in Wasser 94,69 ml. Mit Berücksichtigung des Unterdrucks haben sich in Salzsäure 92,32 ml und in Wasser 95,74 ml gelöst.</p>	4+6

Aufgabe	Erwartete Leistungen	Punktzahl
3.2	Wird die Oxoniumionenkonzentration erhöht, reagieren die Oxoniumionen mit den Hydrogencarbonationen unter Bildung von Kohlensäure. Es stellt sich ein neues Gleichgewicht ein mit veränderter Gleichgewichtslage, bei der die Konzentration der Kohlensäure erhöht ist. Damit wird der saure Eintrag zum Teil kompensiert. Damit einher geht eine Störung des Löslichkeitsgleichgewichtes von Kohlenstoffdioxid. Kohlenstoffdioxid perlt solange aus, bis der Partialdruck in der Flüssigkeit und in der Gasphase gleich ist. In dem sich neu einstellenden Gleichgewicht ist weniger CO <sub>2</sub> gelöst.	6
3.3	Der pH – Wert im Blut ist erniedrigt; die Oxoniumionenkonzentration erhöht. Der Säureeintrag war so hoch, dass die Puffereigenschaften des Blutes nicht mehr ausreichen. Die Hydrogencarbonationenkonzentration ist erniedrigt und der CO <sub>2</sub> – Partialdruck im Blut ist erhöht. Der erhöhte CO <sub>2</sub> – Partialdruck sorgt für eine Aktivierung des Atemzentrums.	8
3.4	Wird Hydrogencarbonat als Infusion gegeben, werden weitere Oxoniumionen neutralisiert unter Bildung von CO <sub>2</sub> , das abgeatmet werden kann.	4

**Ausfall der Klausur**

Zahl der Kursteilnehmer: 17

Mitgeschrieben: 17

Note	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00
Anzahl	-	3	1	3	5	1	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-



## **1.6 Exemplarische Langzeithausaufgabe**

**L 80**

---

**Name: F. O.**

**Klasse 12, 1. Semester**

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Thema</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Station 1: Barotrauma</b>	<b>2 - 4</b>
<b>2. Station 2 – Variante 2: Dekompressionstrauma</b>	<b>5 - 7</b>
<b>3. Station 2 – Variante 3: Taucherflöhe und andere Beschwerden</b>	<b>8 - 11</b>
<b>4. Station 3: „Blackout“ – Ohnmacht nach Hyperventilation</b>	<b>12- 13</b>
<b>5. Station 4 – Variante 2: Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall</b>	<b>14- 16</b>
<b>6. Station 5: Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen</b>	<b>17- 19</b>

---

## Station 1: Barotrauma

### Messungen: 2.

Volumen	12 cm	11cm	10 cm	9 cm	8 cm	7 cm	6 cm	5 cm
Druck	1,0 kPa	1,1kPa	1,2 kPa	1,4 kPa	1,6 kPa	1,8 kPa	2,1 kPa	2,5 kPa

### Auswertung: 4./5.

Dieses Diagramm stellt eine Hyperbel dar. Es wird deutlich, daß Volumen und Druck zueinander anti-proportional sind.

Diese Gesetzmäßigkeit wird als Boyle – Mariottesches Gesetz bezeichnet, welches besagt, daß das Volumen eines jeden Gases unter konstanter Temperatur sich umgekehrt proportional zum absoluten Druck verhält. Aus dem Produkt von Druck und Volumen ergibt sich eine Konstante.

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad \text{bzw.} \quad p = \text{Konstante} \cdot 1/V$$

### Erweiterung: 6.

Im Regelfall ist es unsinnig, eine auf niedrige Tauchtiefen beschränkte Tauchtauglichkeit auszusprechen, da die druckänderungsabhängigen Risiken in der Nähe der Wasseroberfläche am größten sind. Beim Abtauchen steigt der absolute Druck linear alle 10 m um 1 bar. Von der Oberfläche auf 10 m Wassertiefe steigt der relative Druck jedoch um 100% an, wobei er von 10 m auf 20 m nur noch um 50% ansteigt. Dies verdeutlicht, daß gerade in der Nähe der Wasseroberfläche der Druck stark ansteigt. Wenn also keine Tauchtauglichkeit besteht, dann besteht auch keine Tauchtauglichkeit für niedrige Tauchtiefen.

### Erweiterung: 7.

Wenn aufgrund einer Erkältung zugeschwollene Nasennebenhöhlen oder Paukenhöhle, d.h. ein starr umschlossener Gasraum mit einem fest umschlossenen Gasvolumen einer Druckänderung ausgesetzt werden, ist es nicht mehr möglich, daß sich das Volumen ändert und sich der Druck an den sich ändernden Umgebungsdruck anpaßt. Damit entstehen Druckunterschiede zwischen der starr umschlossenen Gasmenge und der Umgebung, die im Falle der Nasennebenhöhlen starke Schmerzen und im Falle der

---

Paukenhöhle auf Grund der Druckdifferenz zwischen Paukenhöhle und äußerem Gehörgang zum Zerreißen des Trommelfells führen können. Dies kann für den Taucher tödliche Folgen haben, da gegenüber der Körpertemperatur deutlich kälteres Wasser einströmt, wodurch das Gleichgewichtsorgan erheblich gereizt wird. Dies wiederum führt zu einer Orientierungslosigkeit und schließlich zum Ertrinken des Tauchers.

#### Erweiterung: 8.

Beim Abtauchen in 10 m Tiefe steigt der Umgebungsdruck und somit auch der Druck in den Lungen von 1 bar auf 2 bar. Dieser Umgebungsdruck, auch Schweredruck genannt, läßt sich folgendermaßen errechnen:

$$p = h \cdot r \cdot g$$

p = Schweredruck des Wassers

h = Wassertiefe

r = Dichte des Wassers: 999,1 kg/m<sup>3</sup> bei 15°C

g = Erdbeschleunigung: 9,81 m/s<sup>2</sup>

Je tiefer man also taucht, d.h. je größer der Wert h wird, desto größer wird auch der Schweredruck des Wassers, der auf dem Körper des Tauchers lastet. Beim Abtauchen und somit beim gleichzeitigen Erhöhen des Umgebungsdruckes wird die in der Lunge eingeschlossene Luft auf die Hälfte ihres Volumens komprimiert, gemäß des Boyle - Mariotteschen Gesetzes.

Durch ein Preßluftgerät erfolgt auch unter Wasser eine „normale“ Lungenfüllung. Dies hat zur Folge, daß sich in 10 m Wassertiefe doppelt soviel Luftmasse in der Lunge befindet wie bei gleicher Atemlage an der Oberfläche. Wenn nun dieser Taucher panisch an die Wasseroberfläche auftaucht, ohne zuvor ausreichend ausgeatmet zu haben, dehnt sich die in der Lunge enthaltene Luftmenge auf das Doppelte aus, was zur Lungenzerreiung mit anschließender Gasembolie in die Blutgefäße führen kann.

#### Erweiterung: 9.

Beim Schnorcheln ergeben sich Druckdifferenzen zwischen dem unter höherem Druck stehenden Körper und somit dem Lungengewebe einschließlich der Lungenkapillaren und dem unter niedrigerem Druck stehende Lunge und somit den Lungenbläschen und dem Luftröhrenraum. Um diese Druckdifferenz zu begrenzen, sind zulässige Schnorchel auf eine Maximallänge von 30 cm begrenzt. Bei einer Verlängerung des Schnorchels auf 60 cm wäre die Druckdifferenz mit 0,06 bar so groß, daß selbst beim völlig Gesunden Blutflüssigkeit aus den Kapillaren in die Lungenbläschen gepreßt würde, die somit dem Gasaustausch entzogen werden (Lungenödem).

---

## Station 2 – Variante 2: Dekompressionstrauma

### Beobachtungen: 1.

Beim Herausziehen des Kolbens ist eine heftige Gasblasenentwicklung zu beobachten, beim Hineindrücken hört das Mineralwasser auf zu sprudeln.

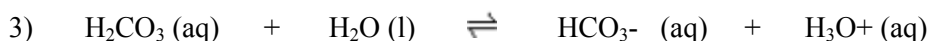
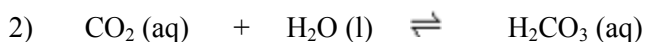
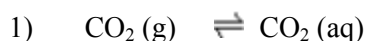
Nachdem der Versuch beendet wurde, bemerkten wir noch eine Vergrößerung des Gasvolumens in der Gasspritze.

### Auswertungen: 2./3.

Nach dem Löslichkeitsgesetz ist im Gleichgewichtszustand der Partialdruck des Gases im Gasraum gleich dem Partialdruck des in der Flüssigkeit gelösten Gases. Dabei ist der Sättigungswert eines Gases in einer Flüssigkeit erreicht, d.h. pro Zeiteinheit treten gleich viele Teilchen in die Lösung ein wie die Lösung verlassen.

Beim Herausziehen des Kolbens wird der Druck des Gases im Gasraum durch die Vergrößerung des Gasvolumens erniedrigt, und somit reduziert sich auch der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid und die Löslichkeit nimmt ab. Um diese Gleichgewichtsstörung zu kompensieren, reagieren die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen zu Kohlensäure, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet, welches dann in die Gasphase übergeht und als Gasbläschenbildung sichtbar wird. Es stellt sich ein neues Gleichgewicht mit veränderter Gleichgewichtslage ein.

Folgende Gleichgewichtsreaktionen liegen vor:



Beim Eindrücken des Kolbens wird der Druck des Gases im Gasraum durch die Komprimierung des Gasvolumens erhöht, und somit erhöht sich auch der Partialdruck von Kohlenstoffdioxid, und die Löslichkeit nimmt zu. Dies fördert die Oxoniumionenbildung, da vermehrt Kohlenstoffdioxid in den physikalisch gelösten Zustand übergeht und die oben genannten Gleichgewichtsreaktionen ablaufen.

Nach dem Gesetz von Henry lassen sich Chemische Gleichgewichte quantitativ beschreiben. Dieses Gesetz besagt, daß die Konzentration eines physikalisch gelösten Gases direkt vom Partialdruck des Gases, welches die Flüssigkeitsoberfläche berührt abhängt, d.h. die Konzentration und der Partialdruck des Gases stehen im linearen Verhältnis zueinander. Der Proportionalitätsfaktor wird als Henrysche Konstante bezeichnet, die von der Art des Gases, vom Lösungsmittel und von der Temperatur abhängig ist.

$$\text{Es gilt: } c (\text{Gas}) = k (\text{H}) \cdot p (\text{Gas})$$

---

Das Gesetz von Dalton besagt, daß der Partialdruck der Teildruck eines Gases ist, d.h. sein Anteil am Gesamtdruck in einem Gasgemisch.

Die Vergrößerung des Gasvolumens in der Gasspritze hat folgenden Grund: Zu Beginn unseres Versuches hat sich das Gleichgewicht zwischen dem Partialdruck des Gases im Gasraum und dem Partialdruck des in der Flüssigkeit gelösten Gases noch nicht vollständig eingestellt. Deshalb geht etwas Kohlenstoffdioxid in die Gasphase über und man beobachtet ein leichtes Perlen des Mineralwassers.

#### Auswertung: 4.

Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in wäßriger Lösung als Gleichgewichtsreaktion:



Es liegt zwischen den Gasmolekülen in der Lösung und den Gasmolekülen in der Gasphase ein dynamisches Gleichgewicht vor. Auf der Teilchenebene bedeutet das also, daß eine dynamische Bewegung besteht. Im Gleichgewichtszustand treten pro Zeiteinheit gleich viele Teilchen in die Lösung ein wie die Lösung verlassen. Hingegen auf der Stoffebene ändert sich von der Stoffmengenkonzentration nichts, wenn sich Druck, Temperatur und Konzentration nicht ändern. Durch Druckerhöhung wird die Bildung der Stoffe mit kleinerem Volumen begünstigt. Bei Gasreaktionen entspricht das einer Verminderung der Teilchenzahl. Eine Druckerniedrigung verschiebt das Gleichgewicht in die umgekehrte Richtung. Ein neues Gleichgewicht mit neuer Gleichgewichtslage hat sich eingestellt, wenn der Partialdruck des in der Flüssigkeit gelösten Gases mit dem Partialdruck des Gases im Gasraum identisch ist.

#### Erweiterung: 5.

Das Körpergewebe eines Tauchers, der panikartig auftaucht, enthält einen Überschuß an gelöstem Stickstoff im Blut. Beim Auftauchen reduziert sich der Partialdruck des Stickstoffs und somit vermindert sich auch die Löslichkeit und Stickstoff perlt aus. Die dadurch entstehenden Gasblasen werden normalerweise im Lungenkapillarnetz ausgefiltert und abgeatmet. Wenn der Taucher jedoch zu schnell auftaucht, ist das Filtersystem überlastet, und ein Teil der Gasblasen gelangt über die Lungenvene in die linke und rechte Herzkammer und weiter über die Aorta in den Körper. Dort können sich die Gasblasen leicht zu größeren entwickeln, die Blutgefäße quetschen und die Durchblutung der Gewebe behindern. Aufgrund unterschiedlicher Verteilung der Blasen inner- und außerhalb von Gefäßen entstehen verschiedenartige Symptome. Die Folgen dieser sogenannten Dekompressionskrankheit werden entsprechend ihrer Auswirkungen in zwei Gruppen eingeteilt.

Typ 1 (milde Fälle): Es kann zu Hautjucken (Taucherflöhe) und marmorierten Verfärbungen der Haut kommen. Häufig sind diese Symptome kombiniert mit Muskel- und Gelenkschmerzen (Bends), die durch Gasblasen, die das Gewebe um die Gelenke herum überdehnen und Nervenendigungen beeinträchtigen, hervorgerufen werden.

Typ 2 (schwere Fälle): Es kann auch zu Lähmungen kommen, die durch Gasblasen, die die Blutbahn und Nervenleitungen unterbrechen, hervorgerufen werden. Außerdem können Gasblasen im venösen Kreislauf zu Husten und Kurzatmigkeit führen. Wenn größere Gasblasen ins venöse System gelangen und die verstopften Lungenkapillare zu einem erhöhten Druck im Lungenkreislauf und zu einem Rückstau von Blut im venösen Kreislauf führen, kann es zur Lungenembolie kommen. Die Zumischung von arteriellem zu venösem Blut kann zu Schädigungen im Gehirn und im Rückenmark füh-

---

ren. Im cerebralen Bereich sind das Sprach - und Bewußtseinsstörungen, im spinalen Bereich Symptome wie bei der Querschnittslähmung.

Erweiterung: 6.

Bei einem gesunden Herzen werden die Gasblasen, die häufig im venösem System vorkommen, insbesondere in der rechten Herzkammer und in den Lungenarterien, im

Lungenkapillarnetz ausgefiltert und abgeatmet. Das „gereinigte“ Blut (frei von Gasblasen) gelangt dann über die Lungenvene in die linke Herzkammer und weiter über die Aorta in den Körper.

Wenn ein Taucher eine kleine Öffnung der Scheidewand zwischen dem rechten und linken Herzvorhof hat, d.h. ein offen gebliebenes Foramen ovale, gelangen die Gasbläschen direkt in die linke Herzkammer und somit in den Körper statt zunächst im Lungenkapillarnetz ausgefiltert und abgeatmet werden. Die Gasbläschen, die sich leicht zu größeren entwickeln, können im Körper gefährliche Dekompressionserscheinungen hervorrufen, wie schon in Erweiterung: 5 beschrieben.

---

## Station 2 – Variante 3: Taucherflöhe und andere Beschwerden

### Durchführung: 1.

Skalierung des Glasrohres:

Wir haben die Skalierung durch Rechnung erstellt und dabei folgende Daten gemessen:

100 ml Kohlenstoffdioxid wurden eingeleitet:

Länge des Glasrohres: 208 cm

Radius des Glasrohres: 1,25 cm

Formel zum Errechnen des Glasrohrvolumens:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l = V$$

$$\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2 \cdot 208 \text{ cm} = 1021,018 \text{ cm}^3 = 1021,018 \text{ ml (H}_2\text{O)}$$

100 ml Stickstoff wurden eingeleitet:

Länge des Glasrohres: 201 cm

Radius des Glasrohres: 1,25 cm

Formel zum Errechnen des Glasrohrvolumens:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l = V$$

$$\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2 \cdot 201 \text{ cm} = 986,656 \text{ cm}^3 = 986,656 \text{ ml (H}_2\text{O)}$$

### Beobachtung: 1.

Nachdem wir 100 ml Kohlenstoffdioxid in das mit Wasser gefüllte 2,08 m lange Glasrohr geleitet haben, entsteht ein Gasraum von 9,4 cm.

Nachdem wir 100 ml Stickstoff in das mit Wasser gefüllte 2,01 m lange Glasrohr geleitet haben, entsteht ein Gasraum von 27,1 cm.



---

Beim Einleiten des jeweiligen Gases in das Glasrohr, haben wir festgestellt, daß die Gasbläschen nach oben hin kleiner werden. Außerdem konnte man beobachten, daß die N<sub>2</sub> – Gasbläschen größer waren als die CO<sub>2</sub> – Gasbläschen.

Auswertung: 2.

Volumenerrechnung von Kohlenstoffdioxidgas:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l = V$$

$$\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2 \cdot 9,4 \text{ cm} = 46,14 \text{ cm}^3 = 46,14 \text{ ml}$$

Volumenerrechnung von Stickstoffgas:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l = V$$

$$\pi \cdot (1,25 \text{ cm})^2 \cdot 27,1 \text{ cm} = 133,027 \text{ cm}^3 = 133,027 \text{ ml}$$

Die Volumenberechnung zeigt, daß sich die verschiedenen Gase unter den gleichen Bedingungen unterschiedlich in Wasser lösen.

Dies läßt sich mit Hilfe des Gesetzes von Henry beweisen, welches verdeutlicht, daß die Konzentration und der Partialdruck des Gases im linearen Verhältnis zueinander stehen, d. h. die Konzentration eines physikalisch gelösten Gases hängt direkt vom Partialdruck des Gases, welches die Flüssigkeitsoberfläche berührt, ab. Der Proportionalitätsfaktor wird als Henrysche Konstante bezeichnet, die sich bei unterschiedlichen Gasen ändert.

Errechnung des Schweredruckes des Wassers in dem Glasrohr, in das Kohlenstoffdioxid eingeleitet wurde:

h = Differenz von der Gesamthöhe des Glasrohres und des entstandenen Gasraums

$$2,08 \text{ m} - 0,094 \text{ m} = 1,986 \text{ m}$$

r = Dichte des Wassers

$$999,1 \text{ kg/m}^3 \text{ bei } 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

g = Erdbeschleunigung

$$9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = h \cdot r \cdot g$$

$$p = 1,986 \text{ m} \cdot 999,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 19465,13 \text{ Pa}$$

Errechnung des Partialdrucks von Kohlenstoffdioxid:

---

Atmosphärendruck – Schweredruck = Partialdruck

$$101300 \text{ Pa} - 19465,13 \text{ Pa} = 81834,87 \text{ Pa}$$

Errechnung des Schweredrucks des Wassers in dem Glasrohr, in das Stickstoff eingeleitet wurde:

$$h = 2,01 \text{ m} - 0,271 \text{ m} = 1,739 \text{ m}$$

$$r = 999,1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = h \cdot r \cdot g$$

$$p = 1,739 \text{ m} \cdot 999,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 17044,24 \text{ Pa}$$

Errechnung des Partialdrucks von Stickstoff:

Atmosphärendruck – Schweredruck = Partialdruck

$$101300 \text{ Pa} - 17044,24 \text{ Pa} = 84255,76 \text{ Pa}$$

Es wird deutlich, daß sich das Volumen eines jeden Gases unter konstanter Temperatur umgekehrt proportional zum absoluten Druck verhält, und daß die Löslichkeit eines Gases druckabhängig ist.

Infolge des durch die Wassersäule hervorgerufenen Unterdrucks löst sich noch mehr Kohlenstoffdioxid, als zunächst durch das Volumen erschließbar ist, und es stellt sich beim Stickstoff ein größeres Gasvolumen ein, als durch den Kolbenprober zugeführt wurde.

Die Verkleinerung der Gasblasen nach oben hin, läßt sich folgendermaßen erklären: Der Partialdruck des Gases in der Gasblase ist höher als der des in der Flüssigkeit gelösten Gases. Wenn nun die Gasblasen in den gelösten Zustand übergehen, um ein Gleichgewicht herzustellen, verlieren sie an Volumen und werden deswegen kleiner. Die  $\text{N}_2$  – Gasbläschen sind dennoch größer als die  $\text{CO}_2$  – Gasbläschen, da sich jene schlechter in Wasser lösen.

Auswertung: 3.

Die unterschiedliche Löslichkeit hängt mit der Polarisierung der freien Elektronenpaare der Gase zusammen.

Kohlenstoffdioxid ist wegen der Größe und Form des Moleküls leichter polarisierbar als Stickstoff, da das freie Elektronenpaar - je größer das Molekül ist - leichter zur Bindung zur Verfügung gestellt wird.

---

#### Erweiterung: 4.

Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid:

$$k = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

$$p = 101300 \text{ Pa} \cdot 0,003 = 30,39 \text{ Pa}$$

$$c = k \cdot p$$

$$c = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot 30,39 \text{ Pa} = 0,0069 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Löslichkeit von Stickstoff:

$$k = 7,0 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

$$p = 101300 \text{ Pa} \cdot 0,78 = 79014 \text{ Pa}$$

$$c = k \cdot p$$

$$c = 7,0 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot 79014 \text{ Pa} = 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Löslichkeit von Sauerstoff:

$$k = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$$

$$p = 101300 \text{ Pa} \cdot 0,21 = 21273 \text{ Pa}$$

$$c = k \cdot p$$

$$c = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot 21273 \text{ Pa} = 0,276 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

#### Erweiterung: 5.

Der bekannte Taucharzt, Prof. Eliot, der seinen Vortrag auf einem Kongress mit dem Wunsch an seine Zuhörer: „That all your bubbles remain silent“ beendet, möchte zum Ausdruck bringen, daß er hofft, niemand würde nach dem Tauchgang an gefährlichen Dekompressionserscheinungen leiden.

Diese sogenannten Dekompressionserscheinungen, auch Taucherkrankheit genannt, werden durch einen Überschuß an Gasblasen – aufgrund von einer zu schnellen Druckabnahme - hervorgerufen, die nicht mehr im Lungenkapillarnetz ausgefiltert und abgeatmet werden können, da das Filtersystem durch diesen Überschuß überlastet ist. Gasblasen im arteriellen Blut können zu Schädigungen im Gehirn und im Rückenmark führen; Gasblasen, die das Gewebe um die Gelenke herum überdehnen, führen zu Muskel- und Gelenkschmerzen. Dem Taucher wird der Überschuß an gelöstem Stickstoff bewußt, da dieser Hautjucken (Taucherflöhe), Gliederschmerzen und/oder Lähmungen hervorruft.

### Station 3: „Blackout“ – Ohnmacht nach Hyperventilation

#### Beobachtungen: 1.

Nachdem wir die Wasserstrahlpumpe angestellt haben, blubbert das mit Indikator rot/orange gefärbte Wasser in der Waschflasche. Nach einiger Zeit verändert sich die Färbung des Wassers nach gelb und wird schließlich grün.

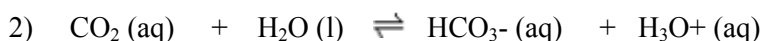
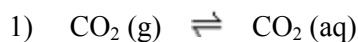
#### Auswertung: 2.

Durch die Wasserstrahlpumpe entsteht ein Saugeffekt, d.h., daß das Kohlenstoffdioxid im Gasraum hinausgesaugt wird, sobald man diese anstellt. Das hat zur Folge, daß der Partialdruck des Gases im Gasraum geringer ist, als der Partialdruck des in der Flüssigkeit gelösten Gases, wodurch letztlich das Gleichgewicht gestört ist. Um die Störung zu kompensieren, reagieren die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen zu Kohlensäure, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet, welches dann in die Gasphase übergeht und sich somit ein neues Gleichgewicht mit veränderter Gleichgewichtslage eingestellt. Durch das Nachbilden der Kohlenstoffdioxidmoleküle werden die Oxoniumionen verbraucht und die zuvor saure Lösung wird im Laufe der Zeit zunehmend neutral, was an der grünlichen Färbung des Wassers zu erkennen ist. Zu Beginn war dieses mit Indikator gefärbte Wasser rot, was die sauren Eigenschaften signalisiert.

#### Auswertung: 3 und 4.

Unter Hyperventilation (Überatmung) versteht man das schnelle und tiefe Durchatmen vor dem Abtauchen. Dadurch wird vermehrt Kohlenstoffdioxid ausgeatmet und daher sinkt der Kohlenstoffdioxidpartialdruck im Blut.

Im Blut liegen folgende Gleichgewichte vor:



Durch das verstärkte Ausatmen von Kohlenstoffdioxid ist das Gleichgewicht gestört. Um die Störung zu kompensieren, wird Kohlenstoffdioxid unter Verbrauch von Oxoniumionen, die mit Hydrogencarbonationen zu Kohlensäure reagieren, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet, nachgeliefert.

Im Allgemeinen ist also die Hyperventilation das gleiche Prinzip wie die Wasserstrahlpumpe; das Gleichgewicht wird jeweils durch den Verbrauch von Kohlenstoffdioxid – sei es durch das Hinausaugen mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe oder durch verstärktes Ausatmen aufgrund einer Hyperventilation – gestört.

Auswertung: 5.

Durch Hyperventilieren erhöht sich der pH-Wert, da durch die Nachbildung von Kohlenstoffdioxid die Oxoniumionen verbraucht werden.

Der Schwimmer bemerkt nicht rechtzeitig, daß er einen Sauerstoffmangel hat, da der Partialdruck des Kohlenstoffdioxids durch die Hyperventilation gering ist. Der Kohlenstoffdioxidpartialdruck ist nämlich verantwortlich für das Gefühl der Atemnot. Hyperventilation bewirkt also ein verspätetes Ansprechen des Atemzentrums, was aufgrund des zu spät bemerkten Sauerstoffmangels zur Bewußtlosigkeit führt.

## Station 4 – Variante 2:

### Sauerstofftherapie nach einem Tauchunfall

#### Beobachtungen: 1.

Nachdem wir den Sauerstoff des öfteren durchgeleitet haben, ist eine Trübung des Kalkwassers sichtbar.

Als sich Blut in der Waschflasche befand, wurde dieses zuvor dunkelrote Blut beim Durchleiten des Sauerstoffs zunehmend heller.

Als sich Wasser in der Waschflasche befand, haben wir folgendes Gasvolumen im zweiten Kolbenprober erhalten:

Volumen: 92 ml

Volumen: 94 ml

Volumen: 93 ml

Mittelwert: » 93 ml

Als sich Blut in der Waschflasche befand, haben wir folgendes Gasvolumen im zweiten Kolbenprober erhalten:

Volumen: 90 ml

Volumen: 91 ml

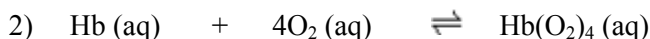
Volumen: 90 ml

Mittelwert: » 90 ml

#### Auswertung: 2.

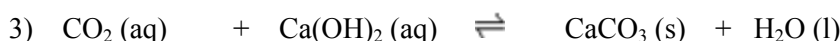
Durch das Durchleiten des Sauerstoffs ist der Partialdruck des Sauerstoffs im Gasraum der mit Blut gefüllten Waschflasche erhöht worden. Daraufhin löst sich ein Teil des Sauerstoffs im Blut, indem es mit Hämoglobin zu Oxyhämoglobin übergeht. Die hellrote Farbänderung des Blutes signalisiert, daß Sauerstoff gelöst und gebunden wurde.

Folgende Gleichgewichtsreaktion ist abgelaufen:



Nach mehreren Durchgängen ist schließlich noch eine Trübung des Kalkwassers in der zweiten Waschflasche zu beobachten, welches ein Nachweis für Kohlenstoffdioxid ist. Es ist also anzunehmen, daß Kohlenstoffdioxid verdrängt worden ist und in die mit Kalkwassers gefüllte Waschflasche übergegangen ist.

Folgende Reaktion ist abgelaufen:



Da im zweiten Kolbenprober letztlich nur eine Differenz von 10 ml Gasvolumen zum ersten Kolbenprober vorhanden ist, wird wahrscheinlich ein großer Teil des Gases Stickstoff sein,

welches verdrängt wurde und nur geringe Anteile von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid im zweiten Kolbenprober vorhanden sind.

Aus den erhaltenen Gasvolumina im zweiten Kolbenprober ist erschießbar, daß sich in Wasser weniger Sauerstoff löst als im Blut. Das hängt damit zusammen, daß Sauerstoff sehr gut von Hämoglobin, welches im Blut vorhanden ist, gebunden werden kann.

### Auswertung: 3.

Diese Abbildung beschreibt die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck bei unterschiedlichen Kohlenstoffdioxidpartialdrücken.

Es wird deutlich, daß allgemein die Bindungsfähigkeit des Hämoglobins gegenüber dem Sauerstoff bei einem geringen Sauerstoffpartialdruck relativ zögerlich ist. Dies hat jedoch zur Folge, daß das Hämoglobin eine festere Bindung mit den drei nachfolgenden Sauerstoffmolekülen eingeht, da eine eintretende Konformationsänderung ihre Sauerstoffbindungs-fähigkeit begünstigt. Bei höherem Sauerstoffpartialdruck steigt diese stetig an.

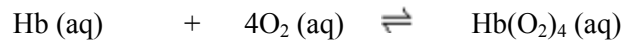
Außerdem wird gezeigt, daß die Sauerstoffbindungsfähigkeit auch von dem pH-Wert beeinflusst wird, d.h. indirekt vom Kohlenstoffdioxidpartialdruck.

Ist z.B. der Partialdruck des im Blut gelösten Kohlenstoffdioxids sehr gering, werden vermehrt Oxoniumionen verbraucht, um Kohlenstoffdioxid nachzubilden. Durch den Verbrauch von Oxoniumionen wird das Blut zunehmend alkalischer, d.h. der pH-Wert steigt an. Bei erhöhtem pH-Wert kann sich das Hämoglobin besser mit Sauerstoff binden trotz niedrigem Sauerstoffpartialdruck. Hierbei ist dann die vollständige Sättigung des Hämoglobins schon eher erreicht als bei gleichem Sauerstoffpartialdruck, aber geringerem pH-Wert.

Ist der Partialdruck des im Blut gelösten Kohlenstoffdioxid sehr hoch, werden vermehrt Oxoniumionen gebildet, um Kohlenstoffdioxid zu verbrauchen. Durch die Bildung von Oxoniumionen wird das Blut zunehmend saurer, d.h., der pH-Wert sinkt. Bei erniedrigtem pH-Wert kann sich das Hämoglobin schlechter mit Sauerstoff binden trotz hohem Sauerstoffpartialdruck.

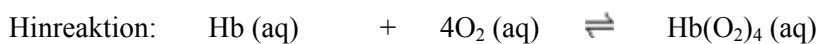
Auswertungen: 4. /5.

Bei der Sauerstoffbindungskurve handelt es sich um eine graphische Veranschaulichung des folgenden Gleichgewichts:



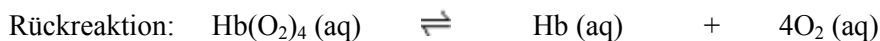
Diese Abbildung zeigt, daß die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins vom Sauerstoff -partialdruck abhängt.

Steigt nämlich der Sauerstoffpartialdruck, ist das Gleichgewicht gestört. Um die Störung zu kompensieren, wird Sauerstoff „verbraucht“, indem es sich mit Hämoglobin zu Oxyhämoglobin verbindet.



Dadurch wird also das Hämoglobin zunehmend mit Sauerstoff gesättigt.

Wird der Sauerstoffpartialdruck jedoch verringert ist erneut das Gleichgewicht gestört und das Oxyhämoglobin zerfällt in Hämoglobin und Sauerstoff.



Die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins ist somit geringer.

Auswertung: 6.

In den Lungenkapillaren ist ein relativ hoher Sauerstoffpartialdruck. Da viel Sauerstoff vorhanden ist, wird auch dementsprechend viel vom Hämoglobin aufgenommen, um das Gleichgewicht wiederherzustellen.

In den Gewebekapillaren ist der Sauerstoffpartialdruck sehr gering und somit gibt das Oxyhämoglobin den Sauerstoff ab, um auch hierbei wieder ein Gleichgewicht zu erreichen.

Dieses Phänomen verdeutlicht die Sauerstoffbindungskurve, welche zeigt, daß der Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut sehr hoch ist, und deshalb eine relativ hohe Sauerstoffsättigung des Hämoglobins vorliegt. Hingegen im venösen Blut ist der Sauerstoffpartialdruck und somit auch die Sauerstoffsättigung sehr gering.

Auswertung: 7.

Durch eine Hyperventilation wird der Sauerstoffgehalt geringfügig erhöht und somit ist das Hämoglobin nur in der Lage etwas mehr Sauerstoff aufzunehmen, als es bei der normalen Atmung sowieso bindet.

Da bei der Hyperventilation jedoch vermehrt Kohlenstoffdioxid ausgeatmet wird, ist der Partialdruck des im Blut gelösten Kohlenstoffdioxids geringer als der in der Umgebung. Dadurch ist das Gleichge-



wicht gestört, und deshalb wird Kohlenstoffdioxid unter Verbrauch von Oxoniumionen nachgebildet. Dies hat zur Folge, daß das Blut zunehmend alkalischer wird, wodurch die Sauerstoffbindungsfähigkeit des Hämoglobins begünstigt wird, d.h. bei gleichem Partialdruck liegt mehr gesättigt vor.

Erweiterung: 8.

Ein an einer Dekompressionskrankheit leidender Patient wird mit einer Sauerstoff – Überdruck – Therapie (Hyperbare Oxygenation (HBO)) behandelt. Dabei atmet er in einer sogenannten Überdruckkammer, in der der Umgebungsdruck bei 1,4 bis 1,8 bar Überdruck liegt, reinen Sauerstoff ein. Dadurch wird der Sauerstoffpartialdruck im Blut erhöht und die Körperzellen können auch ohne rote Blutkörperchen mit Sauerstoff versorgt werden, da dieser in der Blutflüssigkeit gelöst wird, über die Blutbahn zu den Geweben transportiert wird und durch die Diffusion in die Körperzellen gelangt. Durch den erhöhten Sauerstoffgehalt werden Bakterien abgetötet und die Abwehrzellen gestärkt.

Außerdem kann durch das Einatmen von reinem Sauerstoff schneller der überschüssige Stickstoff eliminiert werden, indem er vermehrt abgeatmet wird.

Erweiterung: 9.

Wenn ein Patient, der an Symptomen der Dekompressionskrankheit leidet, mit einem Rettungshubschrauber fliegt, der eine Flughöhe von 300 m überschreitet, würden die Druckunterschiede noch verstärkt werden und somit auch die Verstärkung der Dekompressionserscheinungen begünstigen.

## Station 5: Blutpuffer – Möglichkeiten und Grenzen

### Auswertung: 1.

Blut und Wasser zeigen unterschiedliche Ergebnisse. Als wir in Wasser Salzsäure gegeben haben, ist ein Abfall des pH-Werts zu messen; nach Zugabe der Natronlauge in neues Wasser steigt der pH-Wert an.

Bei Blut hingegen ist keine Veränderung des pH-Werts festzustellen. Er schwankt lediglich zwischen 7,35 und 7,43.

Durch die Zugabe von Säure bzw. Base wird das chemische Gleichgewicht gestört, d.h., daß jeweils die Konzentration eines Produkts erhöht wird, wodurch gleichzeitig auch die Konzentration der Edukte ansteigt. Ein Teil der zugesetzten Teilchen eines Produkts reagieren mit den Teilchen des zweiten Produkts zu Teilchen der unterschiedlichen Edukte zurück. Es stellt sich dann ein neues Gleichgewicht mit veränderten Konzentrationen ein.

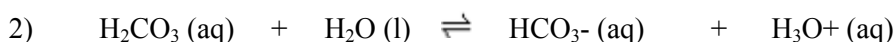
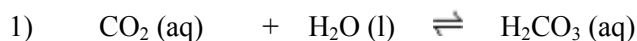
### Auswertung: 3.

Durch die Salzsäurezugabe in Blut wird das Gleichgewicht gestört, d.h., daß die Konzentration eines Produkts bzw. von Oxoniumionen erhöht wird. Um die Störung zu kompensieren muß auch die Konzentration der Edukte ansteigen. In diesem Fall reagieren die zugesetzten Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen, also mit Teilchen des zweiten Produkts zu Teilchen der unterschiedlichen Edukte, d.h. zu Wasser und Kohlensäure, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet, welches dann in den gasförmigen Zustand übergeht. Somit ist wieder ein vollständiges Gleichgewicht erreicht worden.

Wenn nun Natronlauge in Blut gegeben wird, ist auch hierbei das Gleichgewicht gestört, da ein Überschuß an Hydroxidionen vorhanden ist. Diese reagieren mit Kohlensäure, die dabei

verbraucht wird. Es löst sich noch mehr Kohlenstoffdioxid in Wasser, um die verbrauchte Kohlensäure nachzubilden. Dadurch stellt sich schließlich ein neues Gleichgewicht ein.

Wasser verhält sich nach Säure- bzw. Basenzugabe anders als Blut, da im Wasser folgende Gleichgewichte nicht vorliegen:



Wenn in Wasser Salzsäure gegeben wird, entsteht ein Überschuß an Oxoniumionen, der durch den niedrigen pH-Wert angezeigt wird. Das Wasser kann nicht neutralisiert werden, da im Gegensatz zum Blut kein Blutpuffersystem vorhanden ist, d.h. es gibt keine Hydrogencarbonationen, die mit Oxoniumionen reagieren. Bei Natronlaugezugabe wird das Wasser zunehmend alkalischer aufgrund des Überschusses an Hydroxidionen, deshalb steigt auch der pH-Wert.

Auswertung: 4.

Im Säure – Basen Haushalt sind Kohlenstoffdioxid und Hydrogencarbonationen von besonderer Bedeutung, da sie zusammen ein Puffersystem bilden, daß dadurch besonders wirksam ist, da Kohlenstoffdioxid flüchtig ist und leicht durch Veränderungen der Lungenbelüftung vermehrt eliminiert (ausgeatmet) oder auch retiniert (wieder gelöst) werden kann.

Im Blut liegt in ausreichender Konzentration Hydrogencarbonat in Ionenform vor. Hydrogencarbonationen reagieren mit Oxoniumionen zu Kohlensäure, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet. Trotz Säureeintrag ändert sich der pH-Wert kaum. Hydrogencarbonationen werden auch als Protonenfänger bezeichnet, da sie als Puffer wirken, und Säure- bzw. Baseinträge neutralisiert werden können.

Erweiterung: 6.

Wenn bei hoher Körperleistung vermehrt Milchsäure ins Blut abgegeben wird, erhöht sich die Konzentration der Oxoniumionen, d.h. die Konzentration des einen Produkts erhöht sich. Durch die zusätzliche Säure fällt der pH-Wert. Dadurch ist das Säure – Base – Gleichgewicht im Körper gestört, und um die Störung zu kompensieren, reagiert ein Teil der zugesetzten Oxoniumionen mit den Hydrogencarbonationen zu Wasser und Kohlensäure, d.h. daß ein Teil der zugesetzten Teilchen des einen Produktes mit den Teilchen des zweiten Produktes zu Teilchen der unterschiedlichen Edukte zurückreagieren. Die Kohlensäure zerfällt und bildet Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst, welches in die Gasphase übergeht und über die Atemfrequenz abgeatmet wird. Das Ausgangsgleichgewicht stellt sich also wieder ein, und somit läßt sich auch der pH-Wert regulieren, der sich daraufhin wieder neutralisiert.

Erweiterung: 7.

Der Patient leidet an einer metabolischen Störung durch Verlust von basischen Stoffen oder durch verstärkte Bildung von Säuren. Bei einer metabolischen Störung (Acidose) ist der Hydrogencarbonatengehalt des arteriellen Plasmas schon bei normalem Kohlenstoffdioxidpartialdruck erniedrigt, dementsprechend ist auch der pH-Wert erniedrigt.

Der Patient hat also aufgrund einer Krankheit einen zu geringen Anteil von Hydrogencarbonationen. Dadurch erhöht sich der Anteil von Oxoniumionen, der durch den niedrigen pH-Wert angezeigt wird. Der Kohlenstoffdioxidpartialdruck ist normal, doch da das System des Patienten signalisiert, daß dieser einen zu hohen Säuregehalt hat, versucht er diesen durch verstärktes Ausatmen (Hyperventilieren) zu regulieren. Da jedoch zu wenig Hydrogencarbonationen zur Verfügung stehen, ist die metabolische Störung nicht zu kompensieren.

Erweiterung: 8.

Das zu verabreichende Medikament muß Hydrogencarbonationen enthalten, welche dann mit Oxoniumionen zu Kohlensäure reagieren, die wiederum zerfällt und Kohlenstoffdioxid physikalisch gelöst bildet, welches dann über die Atemfrequenz abgeatmet werden kann. Dadurch kann die Störung im Säure – Base – Haushalt kompensiert werden, was durch den normalen pH-Wert angezeigt wird, welcher signalisiert, daß das Blut neutralisiert wurde.

**Bewertungskriterien  
zur Bearbeitung der Stationen 1 – 5 in den Langzeithausaufgaben**

**Verfasser/Verfasserin**.....

<b>Bewertungskriterien</b>	<b>Beurteilung</b>
Formale Gestaltung	
Korrektur Abgabetermin	
Station 1	
Korrekte Messwerterfassung	
Korrekte mathematische Beschreibung der Kurve im p – v - Diagramm	
Formulierung des Boyle - Mariottischen Gesetzes	
Schlüssige und korrekte Argumentation in der Bearbeitung der Aufgaben 6-9.	
Station 2.2	
Vollständige und korrekte Beobachtungen	
Korrekte Auswertung	
Formulierung des Henry – Dalton -gesetzes	
Schlüssige Deutungen in der Bearbeitung der Aufgaben 4-6.	
Station 2.3	
Skalierung rechnerisch nachvollziehbar bzw. experimentell korrekt durchgeführt	
Korrekte Messergebnisse	
Rechnerisches Verfahren zur Bestätigung des Unterdrucks im Gasraum	
Schlüssige Deutung der Aufgaben 3-5	
Station 3	
Korrekte und vollständige Beobachtungen	
Deutung der Farbänderung: schlüssige Erläuterungen zu entsprechenden Gleichgewichtsstörungen und Anpassung an veränderte Versuchsbedingungen	
Widerspruchsfreie Argumentation in der Bearbeitung der Aufgaben 3-5	
Station 4	
Vollständige und korrekte Beobachtungen(1)	
Widerspruchsfreier Bezug zum Sauerstofftransport im Blut (2)	
Beschreibung der Sauerstoffbindungskurve des Hämoglobins im Sauerstoffsättigungs – Sauerstoff partialdruck – Diagramm (3)	
Korrekte Bezüge zwischen Kurve und MWG für die Sauerstoffbindung des Hämoglobins (4)	
Schlüssige Argumentation für die Sauerstoffabgabe im Gewebe und die Sauerstoffaufnahme in der Lunge (6)	
Durch Hyperventilation wird mehr Sauerstoff gebunden (7)	
Druckkammertherapie: Reduktion des Partialdrucks vom Stickstoff. Absenkung von 280 kPa auf 101 kPa über sechs Stunden entspricht nötigen Dekompressionspausen, um den Stickstoff angemessen abzuatmen (8)	
Korrekte Bearbeitung von Aufgabe (9)	
Station 5	
Messwerterfassung vollständig und korrekt	
Formulierung des MWGs von drei Gleichgewichtsreaktionen	
Logarithmierte Form des MWGs	
Charakteristische Merkmale und Eigenschaften des Blutpuffers	
Schlüssige Argumentation in der Bearbeitung der Aufgaben 6-8	

**Gesamtnote**

**Göttingen, den**

**Ausfall**

Punkte	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Anzahl	0	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	6	0	0	5	0

## 2. Anhang C zu Kapitel 4.4 <sup>1</sup>:

<b>Concept - Mapping als Wissensdiagnose</b>	<b>C</b>	<b>1</b>
2.1 Datenaufbereitung der Gruppe k1	C	2
2.2 Datenaufbereitung der Gruppe kg	C	39
2.3 Datenaufbereitung der Gruppe bz	C	72
2.4 Datenaufbereitung der Gruppe k2	C	105
2.5 Datenaufbereitung: des Referenznetzes	C	147
2.6 Auswertungsgespräch der Beobachter	C	159
2.7 Überprüfung der Filmtranskription	C	166
2.8 Datenaufbereitung der Gruppe JEJC	C	178
2.9 Datenaufbereitung der Gruppe SIF	C	183
2.10 Datenaufbereitung der Gruppe HUGO	C	187
2.11 Datenaufbereitung der Gruppe KRÜCKE	C	192
2.12 Aussagen der Netze im Vergleich	C	197
2.13 Befragung zum Concept - Mapping	C	200
2.14 Leistungstest	C	209

---

<sup>1</sup> Die Veröffentlichung der Aussagen im Anhang C erfolgt mit dem Einverständnis aller Beteiligten.

<b>2.1</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe k1</b>	<b>C</b>	<b>2</b>
	• Transkription der Filmaufnahme k1	C	03
	• Auswertung der Filmaufnahme k1	C	12
	• Facetten des Lernens und Erinnerns	C	15
	• Beobachtungsbogen k1	C	17
	• Lehrernetz	C	19
	• Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C	20
	• Schülernetz k1	C	23
	• Datenaufbereitung 1: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung der Aussagen	C	24
	• Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Schülernetz	C	27
	• Datenaufbereitung 3: Sortierung der Aussagen nach inhaltlichen Kategorien	C	35
	• Datenaufbereitung 4: Flussdiagramme nach inhaltlichen Kategorien	C	36

## Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum k1:

- A., L., M., T., Herr P. -

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
			Karten werden aufgelegt.
			T. fragt nach, ob es möglich ist, zusätzliche Zettel zu benutzen. Nach der Bestätigung, formuliert er das Löslichkeitsgleichgewicht von CO <sub>2</sub> , die Hydratation von CO <sub>2</sub> zu Kohlensäure und die Protolyse der Kohlensäure korrekt auf einem DIN A 4 – Blatt.
	T.	Wenn CO <sub>2</sub> weniger wird, dann ist dieses Le Chatelier Prinzip so, das wird weniger, dann geht das in die Richtung und dann steigt der pH – Wert wieder.	T. erklärt anhand formulierter Gleichungen: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ CO <sub>2</sub> wird weniger, die Gleichgewichtslage verschiebt sich zugunsten der Edukte, die Oxoniumionen werden weniger, der pH –Wert steigt.
3:38 – 4:09		Störung	
	A.	Dann wird davon weniger,	A. zeigt auf CO <sub>2</sub> .
	T.	Dann steigt der pH –Wert	
	L.	Dann sinkt er, glaube ich.	
	A.	Ich glaube auch.	
	L.	Normalerweise ist der pH –Wert 7,3 oder so.	
	T.	Mmmm? Wenn abgeatmet wird?	
	A.	Ich glaube, es war so, bei Hyperventilation, hier steht auch pH - Werterniedrigung	A. weist auf die vorgegebene Karte: 'pH – Werterniedrigung'.
4:19	L.	War das nicht so, dass CO <sub>2</sub>	
	T.	CO <sub>2</sub> wird auch produziert, wenn Du schwimmst, z.B. wenn du schwimmst.	
4:46	L.	Wenn abgeatmet wird?	
	T.	Ja, das heißt, man hat Sauerstoff drin und hält die Luft an, wenn Du dann tauchst, wird er dann verbraucht. Dann fällt mehr CO <sub>2</sub> an.	
	A.	Es ist doch mehr CO <sub>2</sub> .	
	T.	Du hast mehr CO <sub>2</sub> , wenn Du die Luft dann anhältst.	
5:13	L.	Wenn Du hyperventilierst, atmest Du doch auch CO <sub>2</sub> aus.	
	A.	Du denkst, die Gleichgewichtslage bleibt. Du hast weniger CO <sub>2</sub> und dann hast Du davon weniger und davon mehr, davon weniger, davon .	
5:24	T.	Mm? Nee, Du hyperventilierst, Du gibst CO <sub>2</sub> bei der Hyperventilation ab, das machst Du vorher, vor dem Tauchen. D. h., wenn das verbraucht wird, der pH – Wert wird dann höher. Wenn Du dann tauchst,	
5:56	L.	Der Atemreiz, wenn Du Luft hoch holst, wenn Du Luft hoch holst.	
	T.	Wann wird der Atemreiz ausgelöst?	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	A.	Normalerweise ist es so, wenn Du weniger hast. Es wird eingeatmet. Es wird umgewandelt in $\text{CO}_2$ und wenn Du zuviel $\text{CO}_2$ hast, dann wird der Atemreiz ausgelöst, damit Du atmest, das ist ganz logisch. Wenn Du zu wenig $\text{CO}_2$ im Blut hast, dann hast Du Atemnot. Wenn Du hyperventilierst, hast Du zu wenig $\text{CO}_2$ im Blut und deswegen hast Du nicht mehr den Atemreiz und Du kannst länger tauchen.	
6:36	T.	Der Atemreiz wird ausgelöst, wenn Du zuviel hiervon hast, dann hast Du auch zu viel hier von und zuviel hier von. Wenn der Atemreiz ausgelöst wird, bedeutet es, dass Du zuviel von der rechten Seite hast, dann bedeutet das, dass der pH – Wert erniedrigt ist.	T. zeigt auf $\text{CO}_2$ und $\text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{HCO}_3^-$ und schließt korrekt auf eine pH – Werterniedrigung, wenn der $\text{CO}_2$ -Partialdruck im Blut erhöht ist.
7:06	A.	Normalerweise hast Du einen pH – Wert von 7,35. Ich erinnere mich, dass bei der Hyperventilation der pH – Wert steigt, Du hast mehr $\text{H}_3\text{O}^+$ - Ionen. Ich kann es mir nicht erklären, Du hast mehr $\text{H}_3\text{O}^+$ Ionen. Wenn der pH – Wert sinkt, ich kriege das nicht mehr zusammen, wenn Du hiervon mehr hast,	In der Logik von A. müsste sie sagen, der pH – Wert sinkt.
7:49	T.	Wenn Du das abgibst, wird das verbraucht, also würde der pH – Wert steigen.	T. weist auf Kohlenstoffdioxid, was abgegeben wird und Hydrogencarbonat, was verbraucht wird.
7:55	L.	War das nicht Alkalose oder so was?	
	A.	Der pH – Wert muss sinken.	
	L.	Vielleicht gibt es verschiedene Sachen, einmal beim Tauchen müsste ersteigen und beim Hyperventilieren sinken.	
	T.	Wenn man hyperventiliert, dann steigt er.	
	L.	Wenn man so hyperventiliert, dann sinkt er, und beim Tauchen dann steigt er.	
	L.	Vielleicht müssen wir über zwei verschiedene Fälle nachdenken? Einmal beim Tauchen müsste er steigen, beim Hyperventilieren sinken.	
	T.	Wenn er hyperventiliert, dann steigt er.	
	L.	Wenn man so hyperventiliert, dann sinkt er und wenn man taucht, dann steigt er beim Tauchen.	
	T.	Beim Hyperventilieren gibst Du $\text{CO}_2$ ab. Das wird zu dem, das wird zu dem, das wird zu dem. Von der Logik her muss ersteigen.	T. zeigt mit dem Stift auf Produkte und dann auf die Edukte jeder Gleichung, liest also von rechts nach links. Er beginnt mit dem Löslichkeitsgleichgewicht und endet mit der Protolyse.
8:46	L.	Es hat doch ein Mittel gegeben gegen Hyperventilation. Hydrogencarbonat oder war das bei Alkalose?	
	T.	Wenn Du eine Alkalose, nein, wenn Du zu viel Säure hast, dann nimmt man Hydrogencarbonat.	



Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
9:07	L.	Also muss er sinken, bei Säure, wenn Du ein Gegenmittel bekommst.	L. hat nicht mehr in Erinnerung, dass man aus verschiedenen Gründen hyperventilieren kann. Ist der pH – Wert des Blutes gesunken, weil der Stoffwechsel abnorm ist, dann ist die unbewusste Hyperventilation eine Kompensation des Körpers, um dem abnormen Säuregehalt entgegenzuwirken. Bei einer bewussten Hyperventilation wird die Alkalose verstärkt.
9:22	A.	Gehen wir davon aus, wir sind uns einig, dass der pH – Wert steigt, wenn wir hier eine höhere Konzentration von haben. Entschuldigung, der pH –Wert sinkt, wie das genau funktioniert, darüber sind wir uns noch nicht so richtig einig. Wir können mal versuchen, dies im Prinzip anzuordnen.	Sie zeigt auf den rechten Teil der Protolysegleichung.
	L.	Wir können uns überlegen, wie das mit dem Hydrogencarbonat.	
	A.	(akustisch nicht zu verstehen) das Verhältnis wird das mehr..(akustisch nicht zu verstehen)	
	L.	Säureangabe ins Blut	Sie hält die vorgegebene Karte ‚Säureabgabe ins Blut‘ in der Hand.
10:30	L.	Wenn Du hyperventilierst, löst sich auch viel.	L. erkennt nicht, dass drei Gleichgewichte nebeneinander vorliegen und sich gegenseitig beeinflussen.
10:36	T.	Wenn Du die Atemfrequenz erhöhst, machst Du den O <sub>2</sub> –Partialdruck hoch, ist der CO <sub>2</sub> – Partialdruck niedrig, weil Du abgibst, d.h., wenn Du es abgibst dann muss das alles in die Richtung gemacht werden. Wir gehen jetzt vom Nichthyperventilieren aus. Man taucht und atmet vorher ein, dann hättest Du mehr gelöst.	
	A.	Ich kann auch hyperventilieren, ohne dass das mit dem Tauchen zu tun hat. Ich könnte mich auch jetzt hier hinstellen und hyperventilieren, bis ich umfalle. Dann habe ich auch erhöhte H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> - Ionen.	
11:21	T.	Erhöhte? Ich dachte, es wären weniger.	
	A.	Ich weiß nicht.	
	L.	Man kann ja CO <sub>2</sub> einatmen. Ach ne!	
11:49	T.	Wir müssen uns mehr auf das Tauchen beziehen. Wenn ein Taucher unter Wasser atmet, dann müssten sich die Partialdrucke erhöhen. Das ist ein Taucher, der einmal atmet, und dann die Luft anhält, und dann taucht. Das kommt dadurch zustande. Dann würde mehr CO <sub>2</sub> entstehen, das ist doch logisch, bei der Muskelbewegung entsteht mehr das hier (CO <sub>2</sub> ), und deswegen müsstest Du beim Tauchen eine Erniedrigung haben.	
12:23	L.	Weil die Muskeln H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> produzieren.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	T.	Wenn Du vorher hyperventiliert hast, und hast den pH – Wert gesteigert, dann kann er länger fallen. So würde ich mir das erklären. Wenn Ihr so sicher seid, dass Du durchs Hyperventilieren erniedrigst, das ist nicht logisch. M., was sagst Du dazu?	
12:51	A.	Wir haben einen Versuch dazu gemacht.	
	L.	(akustisch nicht zu verstehen)	
	A.	Beim Tauchen. Wir haben einen Versuch dazu gemacht. Mit einer Flasche mit Indikator.	A. erinnert sich an das Experiment der Station ‚Taucherflöhe‘
	L.	Wir haben das mit Blut gemacht.	
13:20	T.	Wir haben auch mit Blut einen Versuch mit CO <sub>2</sub> gemacht. Das war mit Messkolben.	T. erinnert sich an das Experiment der Station ‚Blutpuffer‘
	A.	z.B. mit der Flasche. Wir haben CO <sub>2</sub> drauf gebracht, dann hat sich das umgefärbt.	
	L.	War das ein Indikator?	
	T.	Das wurde basisch. Ich bin mir sicher, dass das basisch wurde.	
	L.	War das mit Thymolblau?	
	A.	Ich bin mir so sicher. Ich habe mich noch mit meiner Mutter unterhalten, die ist Ärztin.	
	T.	Und die meinte, dass beim Hyperventilieren wird der pH –Wert gesenkt?	
	A.	Ich weiß nicht. Lass uns anfangen und legen. Egal! Die vorgegebene Karte $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ regt die Gruppe erneut an. Über die pH –Wertänderung nach einer Hyperventilation zu diskutieren.	
15:59	T.	Le Chatelier, Le Chatelier Prinzip ist, wenn der Störung, wenn eine Störung kommt, z.B. wenn der Druck erniedrigt wird, der Störung entgegengewirkt wird, d.h. wenn wir den Druck von einem Bar auf einen halben Bar machen, wird im Gleichgewicht das so gemacht, dass das nahtlos geht. Der Druck wird durch Hyperventilation erniedrigt der erhöht? Durch Erhöhung der Atemfrequenz wird der Druck erhöht oder erniedrigt?.	
		Übersetzung von L. für M..	
17:14	A.	Die Gleichgewichtslage ist verändert?	A. zeigt die vorgegebene Karte ‚Gleichgewichtslage‘.
	T.	Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird.	T. legt die Karte zur Karte ‚Erhöhung der Atemfrequenz‘ und erläutert.
		Das bedeutet für das MWG, jetzt kommt diese Karte ins Spiel. Das kann nicht sein!	T. nimmt die Karte ‚MWG‘ und danach die Karte $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ . Er überprüft die Karte anhand der Protolysegleichung.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
17:55	A.	Ich finde das komisch, dass das zweimal auftritt. ( <i>akustisch nicht zu verstehen</i> ). A. und T. diskutieren kurz über Gleichgewichtsverschiebungen.	A. meint die Hydrogencarbonatkonzentration Beide erkennen nicht, dass der Wert des Quotienten eine Aussage über die Pufferkapazität macht.
18:40 Beginn	T.	Ich finde Erniedrigung nicht logisch. Wenn Du viel hiervon hast, wenn das hierhin verlagert wird, hast Du viel hiervon. Da gibt es noch eine andere Gleichung. Man nimmt den pH – Wert. Der pH – Wert wird berechnet aus dem pK (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) plus Logarithmus aus Base zur Säure. Dann siehst Du, ich schreibe auf.	T. formuliert folgende Gleichung (siehe Ergänzung zum Map) $\text{pH} = \text{pK}(\text{H}_2\text{CO}_3) + \lg \frac{c\text{HCO}_3^-}{c\text{H}_3\text{O}^+}$ Die Henderson – Hasselbalchgleichung ist falsch formuliert: Im Nenner muss die Konzentration von Kohlensäure bzw. von CO <sub>2</sub> stehen.
19:51		Das hängt von dem Verhältnis ab. wenn Du das erhöhst, wenn der Bruch groß ist, dann würde der Logarithmus von einem hohen Wert ein hoher Wert.	
	A.	Wenn Du mehr H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> hast, wird der Bruch klein, der Logarithmus ist klein, der pH – Wert ist kleiner, weil der pK – Wert konstant ist.	Die schlüssige Argumentation baut sich auf der falsch formulierten Henderson-Hasselbalchgleichung auf.
20:47	T.	Wenn das Verhältnis, ja das ist das, was Du meinst, das es nicht nur hierauf ankommt, sondern auf das Verhältnis, dann sagen wir H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> wird klein beim Hyperventilieren.	
21:02	A., L.	Klein?	
	T.	Weil Du abgibst, Dein gelöster CO <sub>2</sub> – Gehalt wird höher.	
	A.	Hydrogencarbonat wird weniger.	
21:22	T.	Nee, nee jetzt wird Deine Theorie bestätigt. Der Druck muss groß werden, um einen hohen pH – Wert zu haben. Wenn der Druck klein ist, wird der pH – Wert klein, weil pK konstant.. Wenn der H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> klein ist, und das groß, das ist ein unabhängiges Verhältnis, das bedeutet, dass der.	Nach der falsch formulierten Gleichung wird die Argumentation von A. für T. schlüssig. Der pH – Wert wird klein, wenn die H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> Konzentration groß, die Hydrogencarbonatkonzentration klein und damit auch der Partialdruck von CO <sub>2</sub> klein werden.
22:00	A.	Beim Hyperventilieren wird der pH – Wert klein, Du hast doch mehr H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> - Ionen, davon mehr, davon weniger.	
22:29	T.	Wenn beide gleich groß sind, ist pH = pK. Wenn das größer wird, wird der pH – Wert kleiner. D. h., bei der Hyperventilation, wenn der pH – Wert sinkt, was ich nicht verstehe, würdet Ihr sagen, wird das groß, klein, wird größer, ganz klein und der pH – Wert klein. Das heißt, dass das ganz groß ist und das ganz klein. Also H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ganz groß.	T. verweist darauf, dass die Konzentration im Nenner des Bruches ganz groß sein muss und die Konzentration im Zähler ganz klein, damit der pH – Wert klein wird. Er bestätigt damit die Theorie von A., dass bei Hyperventilation der pH – Wert sinkt, da der Zähler klein und der Nenner groß ist. Dennoch ist T. nicht überzeugt.
	L.	Man kriegt ja auch Hydrogencarbonat, damit das wieder ausgeglichen wird ...( <i>akustisch nicht zu verstehen</i> )	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
23:07	T.	Der Patient hyperventiliert, weil er das von selbst ausgleichen will.	
	A.	Ja, das stimmt. Wenn Du einmal angefangen hast zu hyperventilieren, wird das immer schlimmer.	
	T.	Das ist eine Reaktion des Körpers. Deshalb gibt er das, um den pH – Wert zu erhöhen. Die Hyperventilation wirkt der Erniedrigung entgegen, das ist doch logisch.	
23:31	A.	Mmm?	
	T.	D.h., wenn ein Patient hyperventiliert, dann erhöht er, dann atmet er mehr aus, d.h. er will den pH – Wert erhöhen, weil er das ja abgibt.	
	A.	Ich glaube, wenn Du hyperventilierst, dass es dann immer schlimmer wird. Das im Prinzip	
24:04	T.	Das ist aber eine Reaktion des Körpers gegen die Ursache. Du hyperventilierst, wenn er zu niedrig wird. Deshalb gibt der Arzt auch dann Hydrogencarbonat, da der Patient das nicht mehr von selbst ausgleichen kann, damit der pH – Wert höher wird, sich einpendelt..	
24:26	A.	Es tut mir leid, ich glaube, da war ein Zettel, dann stand da drin der Zettel war eine Aufgabenstellung, „Stellen Sie sich vor, Sie kommen zur Unfallstelle, Sie sind Arzt, der Patient hyperventiliert. Sie können davon ausgehen, dass der pH – Wert weiter sinkt“. D.h., der Patient, der hyperventiliert, hyperventiliert immer mehr, es wird immer schlimmer, d.h. er kann sich selbst nicht mehr helfen.	A. steht auf.
25:10	T.	Gegen was kann er sich nicht mehr helfen, gegen eine Erniedrigung? D.h. die Hyperventilation ist nur das Mittel. Der Körper macht nichts, was den Zustand verschlimmert.	
	A.	Du verstehst mich nicht.	
	T.	Doch ich weiß, was Du meinst. Weil in der Aufgabenstellung steht, gehe Sie davon aus, dass er sinkt, dass der pH –Wert weiter sinkt. Normalerweise ist es, dass die Hyperventilation wieder ausgleicht, wenn er gesunken ist, dass er dann wieder steigt. Aber in dem Fall, dass er weiter sinkt, dann nützt ihm die Hyperventilation nichts mehr. Du musst ihm was geben. Das wird bestätigt. Die Hyperventilation steigert eindeutig den pH –Wert..	
25:41 Ende	A.	Das stimmt nicht, ich bin mir sicher. Nee, ich kann es nicht erklären, nee.	
			M. und L. und T. und A. bilden Zweiergruppen und diskutieren weiter. Im Gespräch zwischen T. und A. bestätigt A. nochmals, dass ihre Mutter G.gt hat, dass der pH –Wert bei der Hyperventilation weiter sinkt.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
26:49	T.	Wenn Du eine Hyperventilation hast, bekommst Du eine Tüte über den Kopf oder vor den Mund. Dadurch wird der CO <sub>2</sub> – Partialdruck erhöht in der Tüte, dann erhöhst Du den CO <sub>2</sub> , dann erhöhst Du, das ist es, wenn Du hyperventilierst, dann würdest Du eigentlich das Gleichgewicht in die Richtung verschieben, wenn jemand hyperventiliert. Wenn Du hyperventilierst, dann kriegst Du eine Tüte vor den Mund. Dadurch, dass er CO <sub>2</sub> einatmet, erhöht er den CO <sub>2</sub> – Gehalt, um dem entgegenzuwirken. Das bestätigt das, dass bei der Hyperventilation an der Luft, das so rum abläuft. D.h., das wird verbraucht, damit erhöht sich der pH – Wert. Wenn die Tüte kommt, läuft es wieder so rum und der pH – Wert erniedrigt sich.	T. verweist auf die gleichzeitig vorliegenden Gleichgewichte. Spricht er von Hyperventilation, dann zeigt er in den Gleichgewichten von rechts nach links. Also: Verlagerung zugunsten der Edukte. Meint er das Atmen mit Tüte, zeigt er in den Gleichgewichten von links nach rechts. Also: Verlagerung zugunsten der Produkte.
	T.	Die Säureabgabe ins Blut hat nichts mit der Hyperventilation zu tun, sondern sie entsteht bei der Bewegung.	
	L.	Aber er hat doch keinen pH – Wert von 7,6 sondern einen pH –Wert von 7,1, das war doch mal in einer Arbeit.	
	A.	Ich bin mir ganz sicher, der pH Wert erniedrigt sich.	
	T.	Es kann auch sein, was Du sagst.	
		Diese Konzentration muss höher werden, deswegen muss dieses höher werden, dadurch. Es ist nicht so nach dem Massenwirkungsgesetz, wenn weniger Kohlensäure ist, ja	
	M.	<i>(akustisch nicht zu verstehen)</i>	
	T.	Du kannst das auch L. sagen.	an M. gerichtet.
	A.	Ich glaube das, dass wird weniger wird, dies wird im Verhältnis dazu mehr.	
	T.	Der Druck würde sich so verschieben, das wird kleiner und dann sagt man bei der Hyperventilation wird das auf jeden Fall weniger, weil das im Verhältnis zu dem mehr, das wird weniger, d.h. der Druck wird klein, kleiner pH.	T. versucht anhand der formulierten Gleichungen nachzuvollziehen, dass der pH – Wert sich bei einer Hyperventilation erniedrigt. Er schließt sich dabei der Argumentation von A. an. Beide beachten zu diesem Zeitpunkt nicht die zur Zeit übliche Modellvorstellung auf der Teilchenebene. Das Gleichgewichtskonzept beruht auf der Kollisionstheorie, die davon ausgeht, dass die Teilchen miteinander erfolgreich kollidieren. Bei Veränderung der Konzentration eines Reaktionspartners, läuft die Teilreaktion bevorzugt ab, die der Störung entgegenwirkt.
	A.	Dadurch wird es schlimmer, wenn Du einmal angefangen hast zu hyperventilieren, atmest Du CO <sub>2</sub> aus, das ist das Problem. Das ist so bei der Hyperventilation. Das ist, bis man umfällt.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	T.	Hyperventilation war Erhöhung, nee Erniedrigung des pH - Wertes	
	A.	Wir haben überlegt, wenn das beides weniger wird, das kann auch einzelne Teile sein, nach dem Massenwirkungsgesetz ist ja da, dass Konzentration von dem mal Konzentration von dem gleich Konzentration von dem mal Konzentration von dem. Deswegen denke ich, dass nur dies hier weniger wird, dass wir weniger Kohlensäure haben bei der Hyperventilation, deswegen ist auch hiervon weniger, die $H_3O^+$ bleiben gleich, aber das Verhältnis wird anders. Bruch – 1 durch diese Zahl - wird kleiner, dadurch wird der pH – Wert kleiner.	an L. und M. gerichtet. A. erklärt, warum nach ihrer Meinung der pH – Wert bei der Hyperventilation fallen muss. Sie nimmt dabei an, dass bei Erhöhung der Atemfrequenz sich die Löslichkeit von $CO_2$ verringert, ebenso die Hydrogencarbonatkonzentration. Die Konzentration von $H_3O^+$ verhält sich ihrer Meinung nach unabhängig davon. Da es wie es die falsch formulierte Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt auf das Verhältnis $\frac{c(HCO_3^-)}{c(H_3O^+)}$ ankommt, steigt der pH – Wert.
	T.	Was passiert beim Tauchen? Du hyperventilierst vorher und erniedrigst den pH – Wert?	
	A.	Fürs Tauchen ist es deswegen gut, weil Du Atemnot später kriegst, weil der Partialdruck im Blut ist geringer, weil weniger $CO_2$ gelöst ist.	
	T.	Das geht nach dem pH – Wert, wenn der Körper sagt, Du musst atmen.	
	L.	(akustisch nicht zu verstehen) Vielleicht sind das verschiedene Sachen, dass der pH – Wert an der Luft sinkt.	
	A.	Wie ging das mit dem Druck, wenn der Druck steigt ist $CO_2$ besser gelöst oder schlechter?	
	T.	Wenn der Druck steigt, auf jeden Fall besser.	
	L.	Könnte es sein, dass es vielleicht zwei verschiedene Arten gibt, dass an der Luft der pH – Wert weniger wird, unter Wasser höher?	
	T.	Unter Wasser würdest Du anfangen zu tauchen, dann wird im Körper $O_2$ zu $CO_2$ , was Du in der Lunge hast.	
	A.	(akustisch nicht zu verstehen) Wenn Du hyperventilierst, hast Du weniger $CO_2$ .	
	T.	Bei der Bewegung wird $CO_2$ höher.	
	A.	Dann müsste der pH – Wert steigen.	
	T.	Wenn Du $CO_2$ mehr hast, dann, ich finde, das von der Logik, das ist.	
32:32 Video b2	A.	Lasst uns legen.	Die Gruppe legt die Karten
		Einzelaussagen	
	T.	Erhöhte Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, $CO_2$ wird stärker abgeatmet. Dadurch wird $HCO_3^-$ verbraucht, der pH – Wert fällt, Hydrogencarboant ist nicht nachlieferbar, d.h. es puffert so lange, wenn es verbraucht wird, fällt er rapide.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	T.	Dies Verhältnis würde bedeuten, das zu dem hier, das zu dem hier, wenn das weniger wird, muss das beides mehr werden, das ist doch logisch, wenn das weniger wird, wird das mehr.	
	A.		A. bezieht sich auf die Karte $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
	T.	Wir können das MWG ergänzen. MWG bedeutet	T. formuliert das MWG.
36:51	A.	Ich guck gleich in meine Mappe	
	T.	Ich habe meine gar nicht mit.	
	A.	D. h. ,dass das MWG verschoben wird, der Wert bleibt gleich, das Verhältnis wird verändert, der Bruch bleibt an sich gleich.	
	T.	Du hast weniger CO <sub>2</sub> gelöst. Das bedeutet, Du hast weniger. Wenn Du hyperventilierst, hast Du weniger CO <sub>2</sub> im Blut, daher hast Du weniger Ac, der pH –Wert wird erhöht.	T. meint weniger Hydrogencarbonat. Nachdem T. das MWG nochmals formuliert hat, diesmal nicht in seiner logarithmierten Form, bestätigt sich die Aussage, der pH – Wert wird beim Hyperventilieren erhöht.
41:12			Pfeile werden eingezeichnet. Es folgen sehrschöne Großaufnahmen des map, während der Pfeildarstellungen.
44	T.	Das Verhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bestimmt die Pufferkapazität. Wenn Du ein bestimmtes Verhältnis hast, das ist Pufferkapazität, bestimmt durch das Konzentrationsverhältnis.	T. schreibt eine neue Karte mit dem Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat zur Kohlensäure.
52			Großaufnahme des map
59:29			Photo des map
1:02			Aufkleben der Karten.

## Auswertung der Filmaufnahme des Concept Mappings k1

- A., L., M., T., Herr P. -

### Zur Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung zeitgleich vorliegender Gleichgewichte.

T. formuliert zu Beginn das Löslichkeitsgleichgewicht von  $\text{CO}_2$ , die Hydratation von  $\text{CO}_2$  zu Kohlensäure und die Protolyse der Kohlensäure auf einem DIN A 4 Blatt. Anhand der aufgestellten Gleichgewichte zeigt er die wechselseitige Beeinflussung der nebeneinander vorliegenden Gleichgewichte schlüssig auf, unter der Bedingung, dass die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  geringer wird.

T.: *Mm? Nee, Du hyperventilierst, Du gibst  $\text{CO}_2$  bei der Hyperventilation ab, das macht Du vorher, vor dem Tauchen. D.h., wenn das verbraucht wird, der pH-Wert wird dann höher (Transkription S. C 3).*

A. argumentiert aus ihrer Erinnerung. Sie erinnert, dass der pH Wert sinkt, wenn man hyperventiliert (Transkription S. C 4,5). Obwohl die Erklärungen von T. schlüssig sind, bleibt A. bei ihrer Meinung. Sie hält daran fest, dass der pH –Wert bei der Hyperventilation sinkt, ohne ihre Meinung fachimmanent zu begründen. A. sieht ihre Mutter als Expertin an. In zurückliegenden Gesprächen kamen in der Erinnerung von A. A.s Mutter und A. zu der Überzeugung, dass der pH – Wert bei einer Hyperventilation sinkt und weiter sinkt. Die Mimik zeigt, dass A. von ihrer Meinung trotz schlüssiger Gegenargumente überzeugt bleibt, dennoch unsicher ist, möglicherweise, weil sie keine plausible fachsystematische Erklärung hat. Sie ist zu diesem Zeitpunkt der Mapperstellung nicht mehr offen für schlüssige Argumente, die für eine pH –Werterhöhung sprechen.

A.: *Ich bin mir so sicher. Ich habe mich noch mit meiner Mutter unterhalten, die ist Ärztin*

T.: *Und die meinte, dass beim Hyperventilieren wird der pH – Wert gesenkt?*

A.: *Ich weiß nicht. Lass uns anfangen zu legen. Egal (Transkription, S. C 6)*

A.: *Ich bin mir ganz sicher, der pH – Wert erniedrigt sich (Transkription, S. C 9)*

T. erinnert sich an die Henderson Hasselbalchgleichung, die den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen dem pH – Wert und den Konzentrationen von Base und Säure wiedergibt. Er formuliert die logarithmierte und umgeformte Form des Massenwirkungsgesetzes aus der Erinnerung, verwechselt aber die Konzentration im Nenner des logarithmischen Terms. Anstatt der Konzentration von Kohlenstoffdioxid oder der Konzentration von Kohlensäure formuliert er die Konzentration von  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $\text{pH} = \text{pK}(\text{H}_2\text{CO}_3) + \lg \left( \frac{c_{\text{HCO}_3^-}}{c_{\text{H}_3\text{O}^+}} \right)$ ).

T.: *Ich finde Erniedrigung nicht logisch.*

*Wenn Du viel hier von hast, wenn das hierhin verlagert wird, hast Du viel hier von.*

*Da gibt es noch eine andere Gleichung.*

*Man nimmt den pH – Wert. Der pH – Wert wird berechnet aus dem  $\text{pK}(\text{H}_2\text{CO}_3)$  plus Logarithmus aus Base zur Säure. Dann siehst Du, ich schreibe auf.*

*Das hängt von dem Verhältnis ab. wenn Du das erhöhst, wenn der Bruch groß ist, dann würde der Logarithmus von einem hohen Wert ein hoher Wert (Transkription, S. C 7).*

*A. baut eine schlüssige Argumentation auf, die auf der falsch formulierten Henderson – Hasselbalchgleichung beruht, aber ihre Aussage – ‚Der pH – Wert erniedrigt sich bei einer Hyperventilation‘ – bestätigt.*

A.: *Wenn Du mehr  $\text{H}_3\text{O}^+$  hast, wird der Bruch klein, der Logarithmus ist klein, der pH – Wert ist kleiner, weil der  $\text{pK}$  – Wert konstant ist (Transkription, S. C 7).*

T. versucht anhand der formulierten Gleichungen nachzuvollziehen, dass der pH – Wert sich bei einer Hyperventilation erniedrigt. Er schließt sich dabei der Argumentation von A. an. Beide beachten zu diesem Zeitpunkt nicht die übliche Modellvorstellung auf der Teilchenebene, wie sie in der Fachwissenschaft vereinbart wurde. Nach dieser Vorstellung ändern sich die Stoffmengen der sich im Gleichgewicht befindlichen Teilchen bei einer Konzentrationsänderung nicht unabhängig voneinander, wie es eine nur rechnerische Betrachtung des MWG zulassen würde, sondern in eindeutiger Abhängigkeit. Das Gleichgewichtskonzept beruht auf der Kollisionstheorie, die davon ausgeht, dass die Teilchen miteinander erfolgreich kollidieren, so dass bei Veränderung der Konzent-



ration eines Reaktionspartners, die Teilreaktion bevorzugt abläuft, die der Störung entgegen wirkt. Stellt sich dann ein neues Gleichgewicht ein, hat sich das Verhältnis der Stoffmengen im verändert, wobei die Größe der Änderung von dem Stoffmengenverhältnis abhängig ist, was vor der Störung vorlag. Auf die Hyperventilation bezogen verringert sich die Stoffmenge von  $\text{HCO}_3^-$  nur dann, wenn gleichzeitig  $\text{H}_3\text{O}^+$  Ionen verbraucht werden, so dass  $\text{CO}_2$  nachgeliefert wird.

T.: *Der Druck würde sich so verschieben, das wird kleiner und dann sagt man bei der Hyperventilation wird das auf jeden Fall weniger, weil das im Verhältnis zu dem mehr, das wird weniger, d.h. der Druck wird klein, kleiner pH (Transkription, S. C 9).*

A. erklärt L. und M., warum nach ihrer Meinung der pH – Wert bei der Hyperventilation fallen muss. Sie nimmt dabei an, dass bei Erhöhung der Atemfrequenz sich die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  verringert, ebenso die Hydrogencarbonatkonzentration. Die Konzentration von  $\text{H}_3\text{O}^+$  verhält sich ihrer Meinung nach unabhängig davon. Da es, wie es die falsch formulierte Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt nach ihrer Meinung auf das Verhältnis  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_3\text{O}^+)}$  ankommt, fällt der pH – Wert.

A.: *Wir haben überlegt, wenn das beides weniger wird, das kann auch einzelne Teile sein, nach dem Massenwirkungsgesetz ist ja da, dass Konzentration von dem mal Konzentration von dem gleich Konzentration von dem mal Konzentration von dem. Deswegen denke ich, dass nur dies hier weniger wird, dass wir weniger Kohlensäure haben bei der Hyperventilation, deswegen ist auch hiervon weniger, die  $\text{H}_3\text{O}^+$  bleiben gleich, aber das Verhältnis wird anders. Bruch minus 1 durch diese Zahl - wird kleiner, dadurch wird der pH – Wert kleiner (Transkription, S. C 10).*

Nachdem T. das MWG nochmals formuliert hat, diesmal nicht in seiner logarithmierten Form, bestätigt sich seine Aussage, die er aus der Dynamik der Gleichgewichtverschiebungen bei Erhöhung der Atemfrequenz schon zu Beginn erschlossen hat: Der pH – Wert wird beim Hyperventilieren erhöht.

T.: *Du hast weniger  $\text{CO}_2$  gelöst. Das bedeutet, Du hast weniger. Wenn Du hyperventilierst, hast Du weniger  $\text{CO}_2$  im Blut, daher hast Du weniger  $\text{Ac}^2$ , der pH – Wert wird erhöht (Transkription, S. C 11).*

### Hyperventilation aus zwei verschiedenen Gründen

Die Gruppe erinnert sich, dass es verschiedene Ursachen gibt, die eine Hyperventilation auslösen. Die bewusst gesteuerte Erhöhung der Atemfrequenz führt zu einer Abnahme des  $\text{CO}_2$  – Partialdruckes und kann dazu führen, dass eine Bewusstlosigkeit eintritt (Transkription, S. C 9). T. erklärt die Soforthilfe, die immer dann eintreten werden muss, wenn - aus welchen Gründen auch immer - eine bewusst gesteuerte Hyperventilation vorliegt. Er weist darauf hin, dass dem Hyperventilierenden eine Tüte über den Kopf gezogen wird, die dazu dient, den  $\text{CO}_2$  – Partialdruck in der Lunge und damit die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  im Blut zu erhöhen. Er formuliert korrekt die dadurch ausgelöste Ereigniskette.

T.: *Wenn Du eine Hyperventilation hast, bekommst Du eine Tüte über den Kopf oder vor den Mund. Dadurch wird der  $\text{CO}_2$  – Partialdruck erhöht in der Tüte, dann erhöhst Du den  $\text{CO}_2$ , dann erhöhst Du, das ist es, wenn Du hyperventilierst, dann würdest Du eigentlich das Gleichgewicht in die Richtung verschieben, wenn jemand hyperventiliert. Wenn Du hyperventilierst, dann kriegst Du eine Tüte vor den Mund. Dadurch, dass er  $\text{CO}_2$  einatmet, erhöht er den  $\text{CO}_2$  – Gehalt, um dem entgegenzuwirken. Das bestätigt das, dass bei der Hyperventilation an der Luft, das so rum abläuft. D.h., das wird verbraucht, damit erhöht sich der pH – Wert. Wenn die Tüte kommt, läuft es wieder so rum und der pH – Wert erniedrigt sich (Transkription, S. C 9).*

Hyperventilation wird aber auch ausgelöst, wenn der pH – Wert des Blutes unter den Normbereich abgesunken ist. Die Hyperventilation wird unter diesen Bedingungen als Gegenmaßnahme des Körpers gesehen. L. ergänzt, dass unter diesen Bedingungen auch Hydrogencarbonat von außen zugefügt wird (Transkription, S. C 7). A. erinnert sich an eine Aufgabenstellung, die wie folgt lautete:

---

<sup>2</sup> T. sagt  $\text{Ac}$ , mein Hydrogencarbonat.

- A.: *Es tut mir leid, ich glaube, da war ein Zettel, dann stand da drin der Zettel war eine Aufgabenstellung, ‚Stellen Sie sich vor, Sie kommen zur Unfallstelle, Sie sind Arzt, der Patient hyperventiliert. Sie können davon ausgehen, dass der pH – Wert weiter sinkt‘. D.h., der Patient, der hyperventiliert, hyperventiliert immer mehr, es wird immer schlimmer, d.h. er kann sich selbst nicht mehr helfen.*
- T.: *Gegen was kann er sich nicht mehr helfen, gegen eine Erniedrigung? D.h. die Hyperventilation ist nur das Mittel. Der Körper macht nichts, was den Zustand verschlimmert.*
- A.: *Du verstehst mich nicht.*
- T.: *Doch ich weiß, was Du meinst. Weil in der Aufgabenstellung steht, gehe Sie davon aus, dass er sinkt, dass der pH – Wert weiter sinkt. Normalerweise ist es, dass die Hyperventilation wieder ausgleicht, wenn er gesunken ist, dass er dann wieder steigt. Aber in dem Fall, dass er weiter sinkt, dann nützt ihm die Hyperventilation nichts mehr. Du musst ihm was geben. Das wird bestätigt. Die Hyperventilation steigert eindeutig den pH – Wert..*
- A.: *Das stimmt nicht, ich bin mir sicher. Nee, ich kann es nicht erklären, nee (Transkription, S. C 8).*

A. erschließt aus der Angabe, ‚Sie können davon ausgehen, dass der pH – Wert weitersinkt‘, dass die Ursache des Sinkens die Hyperventilation ist. T. versteht A.s Annahme, weist aber darauf hin, dass die Hyperventilation normalerweise eine Kompensationsmaßnahme des Körpers ist, um den pH – Wert zu erhöhen, wenn er durch anormalen Säureeintrag ins Blut stark abgesunken ist. A. lässt sich nicht überzeugen.

### Das Le Chatelier Prinzip

T. erinnert sich an das Le Chatelier Prinzip. Er weist einerseits darauf hin, dass bei einer Konzentrationsänderung, die Teilreaktion eines Gleichgewichtes bevorzugt wird, die der Störung entgegenwirkt, andererseits formuliert er auch die Konsequenzen, die sich für das sich neu einstellende Gleichgewicht ergeben.

- T.: *Le Chatelier, Le Chatelier Prinzip ist, wenn der Störung, wenn eine Störung kommt, z.B. wenn der Druck erniedrigt wird, der Störung entgegengewirkt wird, d.h. wenn wir den Druck von einem Bar auf einen halben Bar machen, wird im Gleichgewicht das so gemacht, dass das nahtlos geht. Der Druck wird durch Hyperventilation erniedrigt der erhöht? Durch Erhöhung der Atemfrequenz wird der Druck erhöht oder erniedrigt?.*
- A.: *Die Gleichgewichtslage ist verändert?*
- T.: *Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird (Transkription, S. C 6).*

### Zur Pufferkapazität

T. erinnert sich, dass das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure die Pufferkapazität bestimmt (Transkription, S. C 11). Er erkennt jedoch den selben Zusammenhang auf der vorgegebenen Karte  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$  nicht wieder. A. reduziert die Formeln auf der Karte auf ihren mathematischen Inhalt, zieht korrekte Schlussfolgerungen, kommt aber zu keiner chemisch relevanten Aussage (Transkription S. C 6 - 7).

## Facetten des Lernens und Erinnerens – Überlegungen zur Auswertung der Filmaufnahme (s. S. C 12 – C14)

Neulich wartete der Dreijährige unserer Mitbewohner draußen an meinem Fahrrad. Er sagte zu mir:

„Heute morgen ist Peter mit deinem Fahrrad gefahren.“

Ich entgegnete:

„Nein, das kann nicht sein. Heute morgen bin ich schon kurz vor sieben Uhr mit dem Fahrrad in die Schule gefahren und das Fahrrad hat dort die ganze Zeit im Fahrradkeller gestanden. Vielleicht verwechselst Du das. Vielleicht hast Du gestern Peter mit meinem Fahrrad fahren gesehen.“

Der Kleine zögerte und erwiderte dann entschieden:

„Nein, ich habe Peter heute morgen gesehen“.

Meine Mitteilung, die immerhin beinhaltet, dass ich es für ausgeschlossen halte, dass Peter morgens mein Fahrrad benutzt hat, da ich selbst es gefahren und untergestellt habe, verunsicherte den Kleinen zunächst, die Mitteilung war als Information jedoch für ihn nicht ausreichend, seine Meinung zu ändern.

A. hat sich mit ihrer Mutter über das Phänomen der Hyperventilation unterhalten. Ihre Mutter ist Ärztin und wird von A. als Expertin anerkannt. Bei A. ist in Erinnerung geblieben, dass bei einer Hyperventilation der pH – Wert fällt. In A.s Vorstellung ist die Hyperventilation die Ursache für den Abfall des pH – Wertes im Blut. T. versucht A. davon zu überzeugen, dass der pH – Wert steigt, wenn man hyperventiliert. Als Argumente benutzt er

- dass beim Aatmen nach dem Le Chatelier Prinzip das Protolysegleichgewicht der Kohlensäure sich zugunsten der Kohlensäure verlagert, so dass Oxoniumionen verbraucht werden müssen (vgl. Transkription C 3, C6 und C9).
- dass bei einer Hyperventilation, die aus psychogenen Gründen erfolgt, als Soforthilfe eine Tüte dem Hyperventilierenden über den Kopf gestülpt wird, um zu erreichen, dass der Hyperventilierende vermehrt Kohlenstoffdioxid einatmet. Damit wird durch die größere Löslichkeit von CO<sub>2</sub> der pH – Wert im Blut erniedrigt ( vgl. Transkription C 9).
- dass nach dem Massenwirkungsgesetz weniger Oxoniumionen vorliegen, wenn der CO<sub>2</sub> – Gehalt erniedrigt wird, weil der pK – Wert nur dann konstant ist, wenn die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen reagieren und damit sich vermindern ( vgl. Transkription C 11).

T. erklärt mit Deutungsmustern, die auch denen entsprechen, mit denen die Lehrerin argumentiert hätte. T. hat offensichtlich die Deutungsangebote, die ihm von der Lehrerin zur Verfügung gestellt wurden, in sein Wissenskompendium eingebaut.

T. verwechselt in der aus seiner Erinnerung heraus formulierten Henderson - Hasselbalchgleichung die Größe im Nenner des logarithmischen Terms. Anstatt der Konzentration der Kohlensäure setzt er die Konzentration der Oxoniumionen ein. Auf der Basis der falsch formulierten Henderson – Hasselbalchgleichung bestätigt A. durch schlüssige Argumentation, dass der pH – Wert sinkt, wenn man hyperventiliert. (Der Wert des logarithmischen Terms wird kleiner und damit auch der pH – Wert, weil der pK – Wert eine Konstante ist). A. nutzt ihre rechnerischen Fähigkeiten, um ihre Aussage – der pH – wert sinkt bei einer Hyperventilation – zu bestätigen (vgl. Transkription C 7). Das Deutungsangebot, das T. hier in Form einer falsch formulierten Gleichung zur Verfügung stellt, wird von A. angenommen und in ihr Wissen integriert.

Für mich ist dies ein Beispiel dafür, dass nicht unbedingt schlüssige Zusammenhänge, automatisch in die eigenen Vorstellungen integriert werden. Für A. ist die Expertenmeinung ihrer Mutter so hochrangig, dass sie sich Argumenten, die eine gegensätzliche Aussage stützen, verschließt. Sie nimmt nur das auf und stimmt es mit ihren Deutungsmustern ab, was sie für nützlich hält.

„Neues Wissen wird ‚biographisch synthetisiert‘ (Ziehe 1982, S.191), d.h. es wird an vorhandene Erfahrungen angepasst, umgedeutet, zurückgewiesen oder auch ‚widerständig ‚aufbewahrt‘ “<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> R. Arnold, H. Siebert: Konstruktivistische Erwachsenen Bildung. In Grundlagen der Berufs- und Erwachsenenbildung, Band 4. 3. Auflage, Schneider Verlag, Hohengehren, 1999, S. 90.

A. verknüpft alte Deutungen, die mit ihrer Biographie und ihrem sozialen Kontext verwoben sind, mit neuen Sichtweisen. Ist allerdings die neue Sichtweise nicht integrierbar, wird sie von ihr zurückgewiesen. Dabei bestimmt bei A. die emotionale Abhängigkeit zur Mutter und deren große Fachkompetenz den Grad der Offenheit, neue Aussagen nachzuvollziehen und sich von ihnen leiten zu lassen. Da sie die im gemeinsamen Gespräch mit der Mutter erworbene Aussage über den Zusammenhang zwischen Hyperventilation und pH – Werterniedrigung als wahres Wissen im Sinne von fachwissenschaftlich richtigem Wissen ansieht, verschließt sie sich schlüssigen Argumenten und bleibt bei ihrer Vorstellung.

Ähnlich verhält sich der Dreijährige unserer Mitbewohner. Die Erklärung, die von mir gegeben wird, passt nicht in sein schon vorhandene Muster, also wird sie abgewiesen. Für den Dreijährigen könnte die definitive Behauptung eine Strategie sein, aus dieser Verunsicherung heraus für sich eine Möglichkeit zu finden, die für ihn selbst nützlich ist und einem Selbstschutz gleich kommt.

## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping k1

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	00:00	05:00	10:00	15:00	20:00	25:00
L.	3	2	3	3	3	3
M.	5	6	6	6	6	6
A.	2	2	3	3	3	2
T.	1	1	1	1	1	1
Begriffe						
Sonstiges	Sacherklärung auf Zettel	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung Beispiel AA nicht

## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping k1

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	30:00	35:00	40:00	45:00	50:00	55:00
L.	3	4	3			
M.	5	6	6			
A.	2	2	2			
T.	1	1	1			
Begriffe						
Sonstiges	entwickeln c.m.	entwickeln c.m.	entwickeln c.m	entwickeln c.m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach Ausschalten der Kamera, Weiterarbeit beim Fixieren:</li> <li>• Zum Begriff Störung zwei neue Pfeile</li> </ul>	



## Tabellarische Auflistung der Aussagen im Lehrermap

Aussagen (L1 heißt beispielsweise Proposition 1 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ .	ja	ja
L2 $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...	ja	ja
L4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base - Haushalt.	ja	ja
L5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	ja	ja
L6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	ja	ja
L7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	ja
L8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	ja	ja
L11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L12 pH – yWerterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	ja	ja
L13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	ja	ja
L17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja

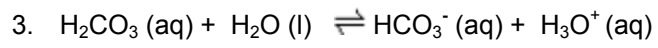
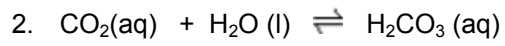
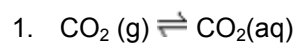


<b>Aussagen</b> (L19 beispielsweise heißt Proposition 19 im Lehrermap)	<b>in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage</b>	<b>in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage</b>
L19 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	ja	ja
L20 Die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L21 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	ja	ja
L23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	ja	ja
L24 Die Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	ja	ja
L25 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L26 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L27 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja	ja
L28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	ja	ja

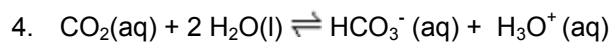
### Verwendete Begriffe und ihr Verknüpfungsgrad

<b>Begriffe</b>	<b>einfach verknüpft</b>	<b>zweifach verknüpft</b>	<b>dreifach verknüpft</b>	<b>vierfach verknüpft</b>	<b>x-fach verknüpft</b>
1. Le Chatelier Prinzip			ja		
2. MWG			ja		
3. Säureabgabe ins Blut			ja		
4. pH - Werterniedrigung					ja (5)
5. Gleichgewichtslage					ja (7)
6. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)					ja (8)
7. Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				ja	
8. Erhöhung der Atemfrequenz					ja (6)
9. Pufferkapazität		ja			
10. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja			
11. bewusst gesteuerte Hyperventilation			ja		
12. Rezeptoren		ja			
13. Störung im Säure-Base-Haushalt			ja		
14. Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> )			ja		
15. Henderson-Hasselbalchgleichung		ja			
16. CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)					ja (5)

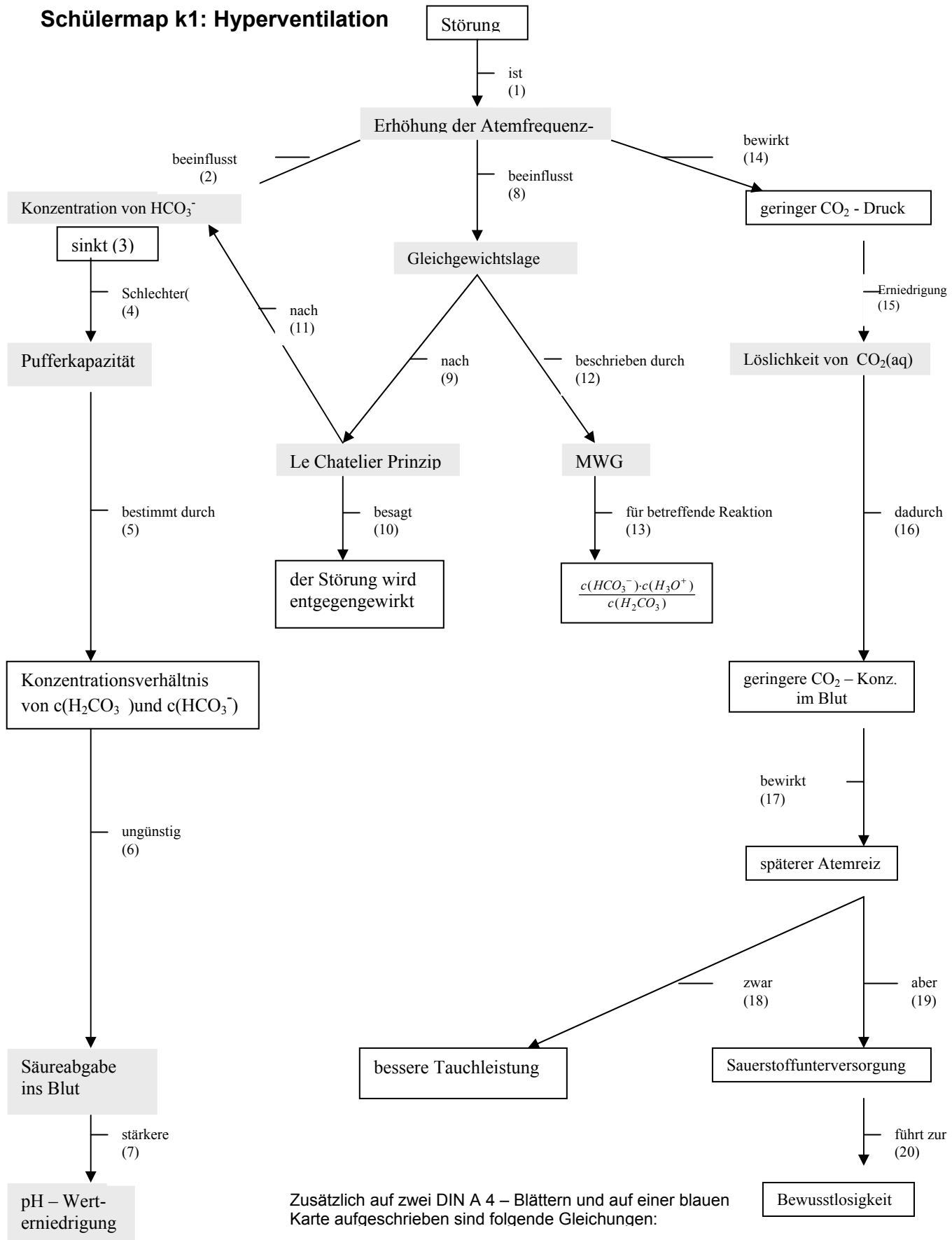
**in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:**



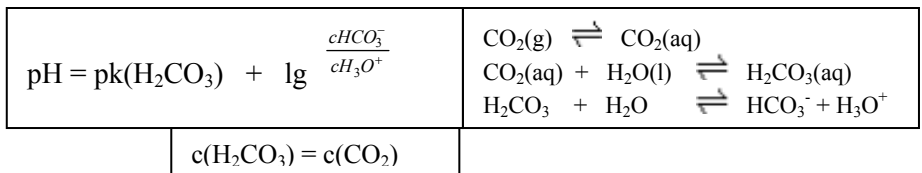
oder 2. und 3. zusammengefasst:



# Schülermap k1: Hyperventilation



Zusätzlich auf zwei DIN A 4 – Blättern und auf einer blauen Karte aufgeschrieben sind folgende Gleichungen:



## Datenaufbereitung 1 des Concept Maps k1: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung nach vier Kategorien

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
(S1 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)					
S1 Störung ist Erhöhung der Atemfrequenz.	ja		nein	ja	ja
S2 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja		nein	ja	ja
S3 Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ sinkt .	ja		nein	ja	nein
S4 <b>(Bei)</b> schlechter Pufferkapazität,.....	missverständlich Begründung: Maß für die Pufferkapazität ist die pH - Wertänderung		zum Teil Begründung: „schlecht“, umgangssprachlich	ja	ja
S5 Pufferkapazität( <b>wird</b> ) bestimmt durch <b>(das)</b> Konzentrationsverhältnis von $\text{c}(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $\text{c}(\text{HCO}_3^-)$ .	ja		nein	ja	ja
S6 <b>(Ist das)</b> Konzentrationsverhältnis von $\text{c}(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $\text{c}(\text{HCO}_3^-)$ ungünstig, .....	ja		nein	ja	ja
S7 <b>(zeigt sich bei)</b> Säureabgabe ins Blut <b>(eine)</b> stärkere pH – Werterniedrigung.	ja		nein	ja	nein Begründung: keine nachfolgende Aussage in der Wirkungskaskade
S8 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Gleichgewichtslage.	ja		nein	ja	ja
S9 Gleichgewichtslage <b>(ergibt sich)</b> nach <b>(dem)</b> Le Chatelier Prinzip.	ja		nein	ja	ja
S10 <b>(Das)</b> Le Chatelier Prinzip besagt (:/der Störung wird entgegengewirkt.	ja		nein	ja	ja
S11 Le Chatelier Prinzip nach Konzentration von $\text{c}(\text{HCO}_3^-)$ sinkt.	nein Begründung: Die Konzentration von $\text{c}(\text{HCO}_3^-)$ sinkt nach dem Le Chatelier Prinzip	T. definiert das Le Chatelier Prinzip und wendet es auf das Löslichkeitsgleichgewicht und die Kohlensäuregleichgewichte an. T1: „Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, $\text{CO}_2$ wird stärker abgeatmet. Dadurch wird Hydrogencarbonat verbraucht“ ( Transkription k1, T., S. C 10)	nein	ja	nein Begründung: keine nachfolgende Aussage in der Wirkungskaskade
S12 Gleichgewichtslage <b>(wird)</b> beschrieben durch <b>(das)</b> MWG.	ja		Nein	ja	ja

Aussagen (S1 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)	fachwissenschaftlich korrekt	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
S13 MWG für betreffende Reaktion ( <b>heißt:</b> ) $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} (= K)$	zum Teil: Begründung: Quotient korrekt; Gleichgewichtskonstante K fehlt	nein	ja	nein Begründung: keine nachfolgende Aussage in der Wirkungskaskade
S14 Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt geringer( <b>ein</b> )geringer) CO <sub>2</sub> -Druck	ja	nein	nein	ja
S15 geringer CO <sub>2</sub> -Druck ( <b>bedeutet</b> )Erniedrigung ( <b>der</b> )Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)	ja	nein	ja	ja
S16 Erniedrigung ( <b>der</b> )Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq), dadurch( <b>ergibt sich infolge eine</b> ) geringere CO <sub>2</sub> – Konz. im Blut	ja	nein	ja	ja
S17 ( <b>Eine</b> ) geringere CO <sub>2</sub> – Konz. im Blut bewirkt späterer ( <b>ein</b> )späterer) Atemreiz	ja	nein	ja	ja
S18 späterer Atemreiz ( <b>bewirkt</b> )zwar ( <b>eine</b> )bessere Tauchleistung	ja	nein	ja	ja
S19 späterer Atemreiz, ( <b>bedeutet</b> )aber Sauerstoffunterversorgung	ja	nein	ja	ja
S20 Sauerstoffunterversorgung führt zur Bewusstlosigkeit.	ja	nein	ja	nein Begründung: keine nachfolgende Aussage in der Wirkungskaskade

### Bewertung:

Von den 20 Propositionen sind 18 richtig und zwei missverständlich bzw. falsch. In Film werden missverständliche und falsche Aussagen korrekt dargestellt. Es zählen die korrekten Filmaussagen.

## Verwendete Begriffe und ihre Verknüpfungsgrade

Begriffe	einfach verknüpfpt. (6)	zweifach verknüpfpt. (10)	dreifach verknüpfpt. (4)	vorgegeben (9)	selbst gewährt(10)
1. Störung	ja				ja
2. Erhöhung der Atemfrequenz			ja	ja	
3. Konzentration von $c(\text{HCO}_3^-)$		ja		ja	
4. Pufferkapazität		ja		ja	
5. Konzentrationsverhältnis von $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $c(\text{HCO}_3^-)$		ja			ja
6. Säureabgabe ins Blut		ja		ja	
7. pH -werterniedrigung	ja	ja		ja	
8. Gleichgewichtslage			ja	ja	
9. Le Chatelier Prinzip			ja	ja	
10. der Störung wird entgegengewirkt	ja				ja
11. MWG		ja		ja	
12. $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	ja				ja
13. geringer $\text{CO}_2$ - Druck		ja			ja
14. Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$		ja		ja	
15. geringe $\text{CO}_2$ → Konz. im Blut		ja			ja
16. späterer Atemreiz			ja		ja
17. Sauerstoffunterversorgung		ja			ja
18. Bewusstlosigkeit	ja				ja
19. Tauchleistung	ja				ja

<b>Fehlender Begriff</b>	$\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$
<b>selbst gewählter Ersatz</b>	$\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
<b>formulierte Gleichgewichte:</b>	$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$
	$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$
<b>zusätzliche, auf DIN A 4 Blättern aufgeschriebene mathematische Bezüge</b>	$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ $c(\text{H}_2\text{CO}_3) = c(\text{CO}_2)$ $\text{pH} = \text{pK}(\text{H}_2\text{CO}_3) + \lg \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_3\text{O}^+)}$

## Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Concept Map k1

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24 - C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ .	S2: Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Konzentration von $HCO_3^-$ .	T8: (erhöhte) Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, $CO_2$ wird stärker abgeatmet. Dadurch wird $HCO_3^-$ verbraucht... (Transkriptinn K1, T., S. C 10)	Die Aussage im Conceptmap k1 bezieht sich nur auf die Konzentration von Hydrogencarbonat, die Aussage im Lehrermap auf den Quotienten der Konzentration von Hydrogencarbonat und Kohlensäure. Die Mapaussage S5 und die Filmaussage T8 ergänzen die Mapaussage S2.	richtig
L2 $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	S5: Pufferkapazität wird bestimmt durch das Konzentrationsverhältnis $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$		Die Aussagen im Lehrermap und im Conceptmap k1 sind identisch.	richtig
L3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...entspricht Störung im Säure –Base Haushalt	S1: Störung ist Erhöhung der Atemfrequenz	T3: „Wenn Du die Atemfrequenz erhöhst, ist der $CO_2$ – Partialdruck niedrig, weil Du abgibst, d.h., wenn Du es abgibst dann muss das alles in die Richtung gemacht werden“ (Transkription k1, T., S. C 5) „Der Druck wird durch Hyperventilieren erniedrigt“ (Transkriptinn k1, T., S.C 6) T8: (erhöhte) Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, $CO_2$ wird stärker abgeatmet. Dadurch wird $HCO_3^-$ verbraucht... (Transkriptinn K1, T., S.C 10)	Immer dann, wenn verstärkt ein- und ausgeatmet wird, also die Atemfrequenz erhöht wird, spricht man von Hyperventilation. Die Aussage T3 im Film weist auf den Zusammenhang zwischen bewusster Erhöhung der Atemfrequenz und niedrigem Partialdruck von $CO_2$ hin. In der Aussage T8 wird der Zusammenhang zwischen Hyperventilation, $CO_2$ – Konzentration und Hydrogencarbonatkonzentration korrekt formuliert.	richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 –C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.	S 8: Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Gleichgewichtslage	T3: „Wenn Du die Atemfrequenz erhöhst, ist der CO <sub>2</sub> – Partialdruck niedrig, weil Du abgibst, d.h., wenn Du es abgibst dann muss das alles in die Richtung gemacht werden.“ (Transkription k1, T., S. C5) „Der Druck wird durch Hyperventilieren erniedrigt“ (Transkription k1, T., S.C6) T8: (erhöhte)Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, CO <sub>2</sub> wird stärker abgeatmet. Dadurch wird HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> verbraucht...“ (Transkription k1, T., S.C10)	s.o. (Kommentar zu L3)	richtig
L5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	S10: (Das) Le Chatelier Prinzip besagt (/)der Störung wird entgegengewirkt S9: Gleichgewichtslage (ergibt sich) nach (dem) Le Chatlier Prinzip.		Die Aussage im Conceptmap k1 ist umfassender. Die Folge einer Störung auf ein Gleichgewicht wird angegeben.	richtig
L6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip L7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.		fehlt T4: „Da gibt es noch eine andere Gleichung. Man nimmt den pH –Wert. Der pH –Wert wird berechnet aus $pK(H_2CO_3)$ plus Logarithmus Base zur Säure“ (Transkription k1, T., S. C 7) T4: „Da gibt es noch eine andere Gleichung. Man nimmt den pH –Wert. Der pH –Wert wird berechnet aus $pK(H_2CO_3)$ plus Logarithmus Base zur Säure“ (Transkription k1, T., S. C 7)	Hier fehlt eine Aussage. Die Aussage in der k1 umfasst mehr als die Aussagen 7. und 8. im Lehrermap Die Henderson Hasselbalchgleichung wird korrekt angegeben.	falsch richtig
L8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $CO_2(aq) + 2 H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$			s. o.	richtig



Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24 - C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	S 12: Gleichgewichtslage (wird) beschrieben durch (das) MWG. S 13: MWG für betreffende Reaktion (heißt): $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} (= K)$	<b>T14:</b> Kommentar zum Filmausschnitt (CO <sub>2</sub> wird weniger, die Gleichgewichtslage verschiebt sich zugunsten der Edukte, die Oxoniumionen werden weniger, der pH –Wert steigt). T. erklärt anhand formulierter Gleichungen und weist auf Produkte und Edukte hin: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ (Transkription k1, T., S. C3). <b>T17:</b> „Da gibt es noch eine andere Gleichung. Man nimmt den pH – Wert. Der pH – Wert wird berechnet aus dem pK(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) plus Logarithmus aus Base zur Säure. Dann siehst Du, ich schreibe es auf.“ „Wenn beide gleich groß sind, ist pH = pK.“ (Transkription k1, T., S. C7)	Die Aussage im Conceptmap ist differenzierter. Das MWG für die Protolyse der Kohlensäure wird formuliert.	richtig
L10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut		<b>T5:</b> „Normalerweise ist es, dass die Hyperventilation wieder ausgleicht, wenn er gesunken ist, dass er dann wieder steigt. Aber in dem Fall, dass er weiter sinkt, dann nützt ihm die Hyperventilation nichts mehr. Du musst ihm was geben. Das wird bestätigt. Die Hyperventilation steigert eindeutig den pH –Wert“ (Transkription k1, T., S. C8).	Die Aussage in der Transkription ist umfassender. Sie bezieht sich nicht nur darauf, dass der Körper durch Hyperventilieren den verstärkten Säureeintrag kompensiert, sondern erfasst auch die Situation, bei der die körpereigene Kompensationsmaßnahme nicht mehr ausreicht. Dann muss dem Patienten zur pH –Werterhöhung medikamentös geholfen werden.	richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH –Werterniedrigung.	<b>S6 u. S7: (Ist das)</b> Konzentrationsverhältnis von $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $c(\text{HCO}_3^-)$ ungünstig, ( <b>zeigt sich bei</b> ) Säureabgabe ins Blut ( <b>eine</b> ) stärkere pH – Werterniedrigung.		Die Aussage im Conceptmap ist differenzierter. Sie weist nicht nur darauf hin, dass bei Säureabgabe ins Blut sich der pH –Wert erniedrigt, sondern ergänzt die Aussage durch eine Bedingung: Der pH –Wert erniedrigt sich nur, wenn das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure ungünstig ist.	richtig
L12 pH –Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	<b>S6 u. S7: (Ist das)</b> Konzentrationsverhältnis von $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $c(\text{HCO}_3^-)$ ungünstig, ( <b>zeigt sich bei</b> ) Säureabgabe ins Blut ( <b>eine</b> ) stärkere pH – Werterniedrigung.		Die Aussagen 12 - 15 im Lehrermap geben einen Zusammenhang wieder: Durch die Erhöhung von Oxoniumionen wird die Gleichgewichtslage der Kohlensäureprotolyse gestört, wobei die Gleichgewichtslage des sich neu einstellenden Gleichgewichtes von der Pufferkapazität der Lösung abhängt. S6 und S7 verweisen auf den Zusammenhang zwischen Säureabgabe und pH - Werterniedrigung	richtig
L13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	<b>S6 u. S7: (Ist das)</b> Konzentrationsverhältnis von $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$ und $c(\text{HCO}_3^-)$ ungünstig, ( <b>zeigt sich bei</b> ) Säureabgabe ins Blut ( <b>eine</b> ) stärkere pH – Werterniedrigung.	<b>T14:</b> Kommentar zum Filmausschnitt ( $\text{CO}_2$ wird weniger, die Gleichgewichtslage verschiebt sich zugunsten der Edukte, die Oxoniumionen werden weniger, der pH –Wert steigt ). T. erklärt anhand formulierter Gleichungen und weist auf Produkte und Edukte hin: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ (Transkription k1, T., S.C3). <b>T18:</b> „Mm? Nee. Du hyperventilierst. Du gibst $\text{CO}_2$ bei der Hyperventilation ab, das machst Du vorher, vor dem Tauchen. D.h., wenn das verbraucht wird, der pH – Wert wird dann höher, wenn Du dann tauchst“ ( Transkription k1, T. S C3)	Die Aussagen S6 und S7 im Conceptmap schließen die Beeinflussung der Gleichgewichtslage der Protolyse mit ein. Das Löslichkeitsgleichgewicht und die Protolyse werden im Zusammenhang der bewusst gesteuerten Hyperventilation erklärt.	z. T. richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.			Aussagen S6 und S7 und T14 erfassen teilweise Inhalt von Aussage L14.	z.T. richtig
L15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.		<b>T6:</b> „Das Verhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bestimmt die Pufferkapazität. Wenn Du ein bestimmtes Verhältnis hast, das ist Pufferkapazität, bestimmt durch das Konzentrationsverhältnis“ (Transkription k1, T., S. C11)	Aussagen in T6 sind differenzierter. Die Pufferkapazität wird als quantitatives Maß verstanden, dessen Wert durch das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure in der Pufferlösung bestimmt wird.	richtig
L16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage		<b>T7:</b> „Le Chatelier, Le Chatelier Prinzip ist, wenn der Störung, wenn eine Störung kommt, z.B. wenn der Druck erniedrigt wird, der Störung entgegengewirkt wird, d.h. wenn wir den Druck von einem Bar auf einen halben Bar machen, wird im Gleichgewicht das so gemacht, dass das nahlos geht. Der Druck wird durch Hyperventilation erniedrigt“ (Transkription k1, T., S. C 6)	Die Aussage in der T7 ist differenzierter. Das Le Chatelier Prinzip wird definiert und auf das Löslichkeitsgleichgewicht von $\text{CO}_2$ bezogen.	richtig
L17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$		<b>T8:</b> „(erhöhte) Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, $\text{CO}_2$ wird stärker abgeatmet. Dadurch wird $\text{HCO}_3^-$ verbraucht...“ (Transkription k1, T., S. C11)	Die Referenzaussage L16 wird durch L17 ergänzt. Die Aussage in der ist detaillierter. Die Verschiebung der Gleichgewichtslage im Protolysegleichgewicht bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip ein Verbrauch von Hydrogencarbonat.	richtig
L18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	<b>S 14 u. S 15:</b> Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt geringer ( <b>einen geringen</b> ) $\text{CO}_2$ – Druck. Geringer $\text{CO}_2$ – Druck ( <b>bedeutet</b> ) Erniedrigung ( <b>der</b> ) Löslichkeit von $\text{CO}_2$ (aq).	<b>T9:</b> „Du hast weniger $\text{CO}_2$ gelöst. Das bedeutet, Du hast weniger. Wenn Du hyperventilierst, hast Du weniger $\text{CO}_2$ im Blut, daher hast Du weniger $\text{Ac}^4$ , der pH – Wert wird erhöht“ (Transkription k1, T., S. C11).	Nimmt man an, dass für T., $\text{Ac}^4$ und Hydrogencarbonat identisch sind, schließt die Aussage T9 in der die Aussagen 18, 19 und 20 im Lehrermap mit ein. Die Aussagen in S14 und S15 entsprechen der Aussage in L18.	richtig

<sup>4</sup> T. sagt Ac, mein Hydrogencarbonat.

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	S1 u. S2: Störung ist Erhöhung der Atemfrequenz. Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	T 10: „Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird“ (Transkription K1, T., S. C6).	Die Aussagen in T9, T10, S1 und S2 entsprechen der Aussage in L19	richtig
L20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.		s.o T10	Die Aussage in T10 erfasst inhaltlich L20	richtig
L21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.		T 11: „Wenn Du hyperventilierst, dann kriegst Du eine Tüte vor den Mund. Dadurch, dass er $\text{CO}_2$ einatmet, erhöht er den $\text{CO}_2$ –Gehalt, um dem entgegenzuwirken. Das bestätigt das, dass bei der Hyperventilation an der Luft, das so rum abläuft. D.h., das wird verbraucht, damit erhöht sich der pH – Wert. Wenn die Tüte kommt, läuft es wieder so rum und der pH –Wert erniedrigt sich“ (Transkription K1, T., S. C9).	Die Aussage im Lehrermap wird von T. bestätigt (T 11). Er erinnert sich, dass ein Hyperventilierender eine Tüte über den Kopf bekommt, die dazu dient, den $\text{CO}_2$ – Gehalt im Blut zu erhöhen. Dadurch wird der pH –Wert im Blut erniedrigt. T. erklärt die pH – Werterniedrigung bei Erhöhung des $\text{CO}_2$ - Partialdruckes anhand einer Erste Hilfe - Sofortmaßnahme und folgert, dass bei einer Hyperventilation an der Luft der $\text{CO}_2$ – Partialdruck sich erniedrigt und damit der pH – wert sich erhöht.	richtig
L22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .		T 12: „Das ist aber eine Reaktion des Körpers gegen die Ursache. Du hyperventilierst, wenn er zu niedrig wird. Deshalb gibt der Arzt auch dann Hydrogencarbonat, da der Patient das nicht mehr von selbst ausgleichen kann, damit der pH –wert höher wird, sich einpendelt“ (Transkription K1, T., S. C8)	Die Aussage von T. umfasst mehr als die Aussage im Lehrermap. T. weist darauf hin, dass sich die Atemfrequenz erhöht, wenn der pH – wert erniedrigt ist und ergänzt, dass zusätzlich Hydrogencarbonat verabreicht wird, wenn die Kompensationsmaßnahme des Körpers nicht ausreicht. Damit werden Aussage 23 und 24 im Lehrermap mit eingeschlossen.	richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		T 13: „Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird“ (Transkription k1, T., S C 6).	s.o. In T 13 wird die Veränderung der Gleichgewichtslage beschrieben, wenn durch verstärktes Ein – und Ausatmen sich der pH – wert erhöht. Anzunehmen ist, dass eine ebenso korrekte Beschreibung vorläge bei Erhöhung des pH – wertes.	richtig
L24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		T 13: „Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird“ (Transkription k1, T., S C6).	s.o.	richtig
L25 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Gleichgewichtslage der Protolyse.	S1: Störung ist Erhöhung der Atemfrequenz. S2: Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ . S3: Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ sinkt.	T14: Kommentar zum Filmausschnitt ( $\text{CO}_2$ wird weniger, die Gleichgewichtslage verschiebt sich zugunsten der Edukte, die Oxoniumionen werden weniger, der pH – Wert steigt ). T. erklärt anhand formulierter Gleichungen und weist auf Produkte und Edukte hin: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ (Transkription k1, T., S. C 3).	Die Aussagen S1, S2 und S3 sowie T14 und die dazu gemachten Beobachtungen im Film umfassen mehr als die Aussage im Lehrer map. Die Beeinflussung der Gleichgewichtslagen bei einer veränderten Löslichkeit von $\text{CO}_2$ – in diesem Fall bei einer Partialdruckerniedrigung und damit bei einer verringerten Löslichkeit von $\text{CO}_2$ – wird korrekt erläutert.	richtig
L26 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	S 14: Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt geringer (einen geringen) $\text{CO}_2$ – Druck.	T 15: „...und wenn Du zuviel $\text{CO}_2$ hast, dann wird der Atemreiz ausgelöst, damit Du atmest, das ist ganz logisch“ (Transkription k1, A. S. C5).	Die Aussage im Lehrermap und die Aussage S 14 sind gleich zu behandeln.	richtig
L27 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ wird wahrgenommen von Rezeptoren.		fehlt	Hier fehlt eine Aussage.	falsch
L28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.		fehlt	Hier fehlt eine Aussage.	falsch

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 19 – C 20 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 24- C 26 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 3 – C 11	Kommentar	Bewertung
L29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	<b>S 14:</b> Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt geringer <b>(einen geringen)</b> CO <sub>2</sub> – Druck <b>S 15:</b> Geringer CO <sub>2</sub> – Druck <b>(bedeutet)</b> Erniedrigung <b>(der)</b> Löslichkeit von CO <sub>2</sub> . <b>S 16:</b> Dadurch <b>(ergibt sich infolge eine)</b> geringere CO <sub>2</sub> – Konzentration im Blut	<b>T 16:</b> „Wenn Du hyperventilierst, atmest Du doch auch CO <sub>2</sub> aus“ (Transkription k1, L., S. C3).	Aussagen T 15 und 16 und die Aussagen S 14-16 im Concept map decken die Aussage 29 im Lehrermap ab.	richtig
L30 nicht im Lehrermap	nur im Concept map k1			
L31	<b>(Eine)</b> geringere CO <sub>2</sub> – Konz. im Blut bewirkt späteren <b>(einen späteren)</b> Atemreiz.			richtig
L32	späterer Atemreiz <b>(bewirkt)</b> zwar <b>(eine)</b> bessere Tauchleistung			richtig
L33	Späterer Atemreiz <b>(bedeutet)</b> aber Sauerstoffunterversorgung			richtig
L34	Sauerstoffunterversorgung führt zur Bewusstlosigkeit.			richtig

### Zusammenfassung der Ergebnisse in der Datenaufbereitung 2:

Gesamtanzahl	Anzahl falscher Aussagen	Anzahl richtiger Aussagen
26	0	26
Aussagen im Referenznetz, zu denen es Schülersaagen gibt		
3	3	0
Aussagen, die nur im Referenznetz vorliegen.		
Summe	3	26
<b>Häufigkeit</b>	<b>10,3%</b>	<b>89,7%</b>
Aussagen, die nur im Schülernetz vorliegen	0	4

## Datenaufbereitung 3 des Concept Maps k1 nach inhaltlichen Kategorien

- neu nummerierte Auflistung von 23 richtigen Schüleraussagen, davon 19 Aussagen aus dem Concept Map (vgl. Datenaufbereitung 1 S. C. 24 ff) und 4 Filmaussagen (vgl. Transkription. S. C 3 ff) -

Zur Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte	Aussage
1. Störung ist Erhöhung der Atemfrequenz.	S1
2. Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt geringer(einen geringen) CO <sub>2</sub> -Druck	S14
3. Geringer CO <sub>2</sub> -Druck (bedeutet)Erniedrigung (der)Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)	S15
4. Erniedrigung (der)Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq), dadurch(ergibt sich infolge eine) geringere CO <sub>2</sub> – Konz. im Blut.	S16
5. Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Gleichgewichtslage	S8
6. Die Gleichgewichtslage von CO <sub>2</sub> (g) $\rightleftharpoons$ CO <sub>2</sub> (aq) und	T14, T18, T5
7. Die Gleichgewichtslage von CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq) <sup>5</sup>	T14, T18, T5
8. Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S2
9. Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> sinkt	S3
10. Bei der Hyperventilation atmest Du CO <sub>2</sub> aus, damit wird der pH –Wert höher <sup>6</sup>	T3, T18, T5
<b>Zur Hyperventilation</b>	
11. (Eine) geringere CO <sub>2</sub> – Konz. im Blut bewirkt späterer (einen späteren) Atemreiz	S17
12. späterer Atemreiz (bewirkt)zwar (eine)bessere Tauchleistung	S18
13. späterer Atemreiz, (bedeutet)aber Sauerstoffunterversorgung	S19
14. Sauerstoffunterversorgung führt zur Bewusstlosigkeit.	S20
15. Ist der pH – wert zu niedrig, wird die Atemfrequenz erhöht. Hydrogencarbonat wird verabreicht, wenn der Körper nicht mehr von selbst den sauren Eintrag kompensieren kann <sup>7</sup> .	T12
<b>Zur Pufferlösung und Pufferkapazität</b>	
16. Pufferkapazität(wird) bestimmt durch (das)Konzentrationsverhältnis von c(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) und c(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).	S5
17. (Ist das) Konzentrationsverhältnis von c(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) und c(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ungünstig, ..... (zeigt sich bei) Säureabgabe ins Blut (eine) stärkere pH –Werterniedrigung.	S6, S7
<b>Zum MWG und zum Le Chatelier Prinzip</b>	
18. (Das) Le Chatelier Prinzip besagt (: )der Störung wird entgegengewirkt.	S10
19. Gleichgewichtslage (wird)beschrieben durch (das)MWG.	S12, S13
20. MWG für betreffende Reaktion (heißt:) $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ (= K)	S13
21. Gleichgewichtslage (ergibt sich) nach (dem)Le Chatelier Prinzip.	S9
22. Le Chatelier Prinzip nach Konzentration von. <sup>8</sup> Die Konzentration von c(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) sinkt bei erhöhter Atemfrequenz nach dem Le Chatelier Prinzip <sup>9</sup>	S11
23. Der pH – wert wird berechnet aus dem pK(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) plus Logarithmus aus (der Konzentration) <sup>10</sup> der Base zur (Konzentration) der Säure <sup>11</sup> . Wenn beide gleich groß sind, ist pH =pK <sup>12</sup>	S13, T4

<sup>5</sup> In der Originalfassung des concept maps k1 finden sich die Gleichungen als zusätzliche Ergänzung auf einem angehefteten Blatt. Die Aussage ist der Filmaussage T18 angeglichen (Mm? Nee, Du hyperventilierst, Du gibst CO<sub>2</sub> bei der Hyperventilation ab, das machst Du vorher, vor dem Tauchen. D.h., wenn das verbraucht wird, der pH – Wert wird dann höher, wenn Du dann tauchst“ Transkription k1, S. C3)

<sup>6</sup> Keine Aussage in der Originalfassung des Concept Maps. Die Aussage wurde aufgrund der Filmaussagen T3, T5 und T18 formuliert: T3: „Wenn Du die Atemfrequenz erhöhst, ist der CO<sub>2</sub> - Partialdruck niedrig, weil Du abgibst, dann muss alles in die Richtung gemacht werden.. Der Druck wird durch Hyperventilieren erniedrigt“ (Transkription k1, S. C6). T5: „.....Die Hyperventilation steigert eindeutig den pH – Wert“ Transkription k1, S. C8); T18: „Mm, Nee. Du hyperventilierst, Du gibst CO<sub>2</sub> bei der Hyperventilation ab, das machst Du vorher, vor dem tauchen. D.h., wenn das verbraucht wird, der pH –Wert wird dann höher, wenn Du dann tauchst“ (Transkription k1, S. C3)

<sup>7</sup> Keine Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber im Film k1. „Du hyperventilierst, wenn er (der pH –Wert) zu niedrig ist. Deshalb gibt der Arzt auch dann Hydrogencarbonat, da der Patient das nicht mehr von selbst ausgleichen kann, damit der pH – Wert höher wird, sich einpendelt“ ( der Filmaufnahme k1, S. C8.)

<sup>8</sup> Originalfassung im concept map k1

<sup>9</sup> verbesserte Aussage unter Zuhilfenahme der Transkription k1, S. C6 und S. C10 und Auswertung der Filmaufnahme, S.C14).

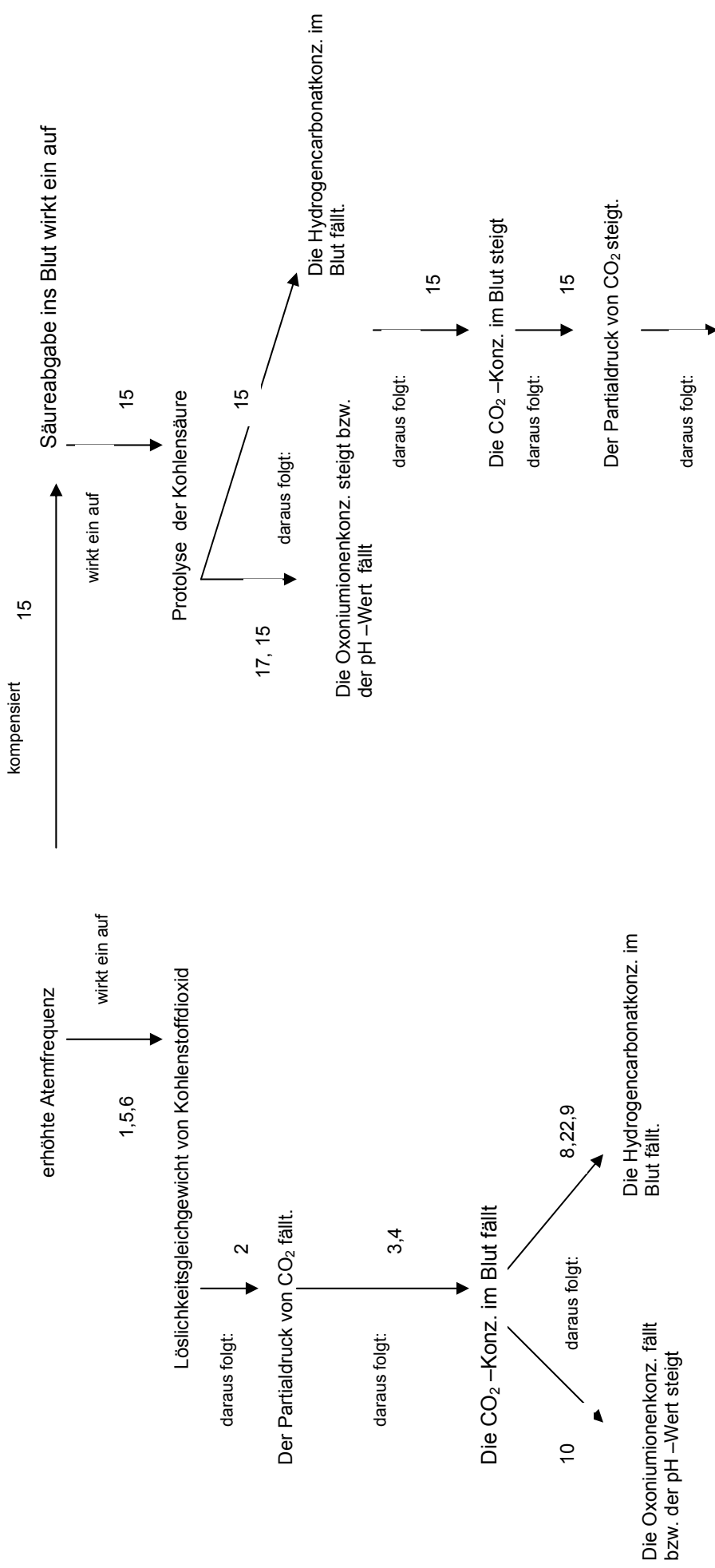
<sup>10</sup> zum besseren Verständnis ergänzt, in der Filmaussage nicht enthalten.

<sup>11</sup> keine Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber im Film k1 ( der Filmaufnahme k1, S. C7)

<sup>12</sup> in der Originalfassung des concept maps nicht enthalten, aber im Film k1 ( der Filmaufnahme k1,S. C7) T. bezieht ‚beide‘ nicht auf die Konzentration von Pufferbase und Puffersäure sondern fälschlicherweise auf Pufferbase und pH – Wert, da er von einer falschen formulierten Henderson –Hasselbalch-gleichung ausgeht.

## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm nach Schüleraussagen im Concept Mapping k1 in der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Hyperventilation und Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



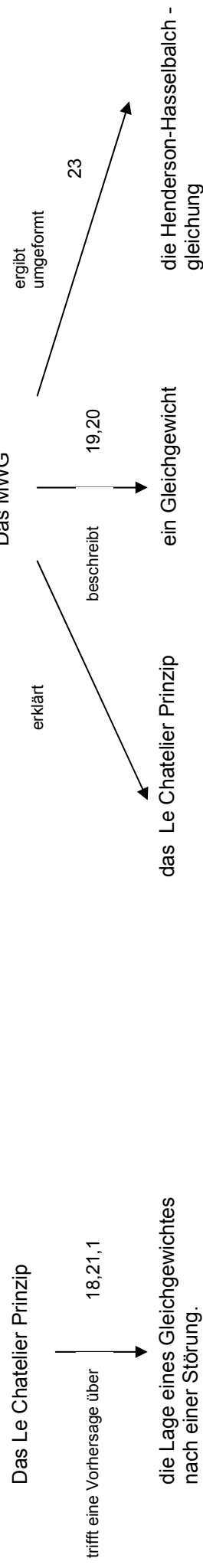
Folgende Aussage sind zusätzlich in der tabellarischen Auflistung der Aussagen enthalten:

11. Eine geringere  $\text{CO}_2$  - Konz. im Blut bewirkt einen späteren Atemreiz.
12. Späterer Atemreiz bewirkt zwar eine besserer Tauchleistung.
13. Späterer Atemreiz bedeutet aber Sauerstoffunterversorgung.
14. Sauerstoffunterversorgung führt zur Bewusstlosigkeit.



## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schülersaussagen im Concept Mapping k1 nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚MWG und Le Chatelier Prinzip‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3

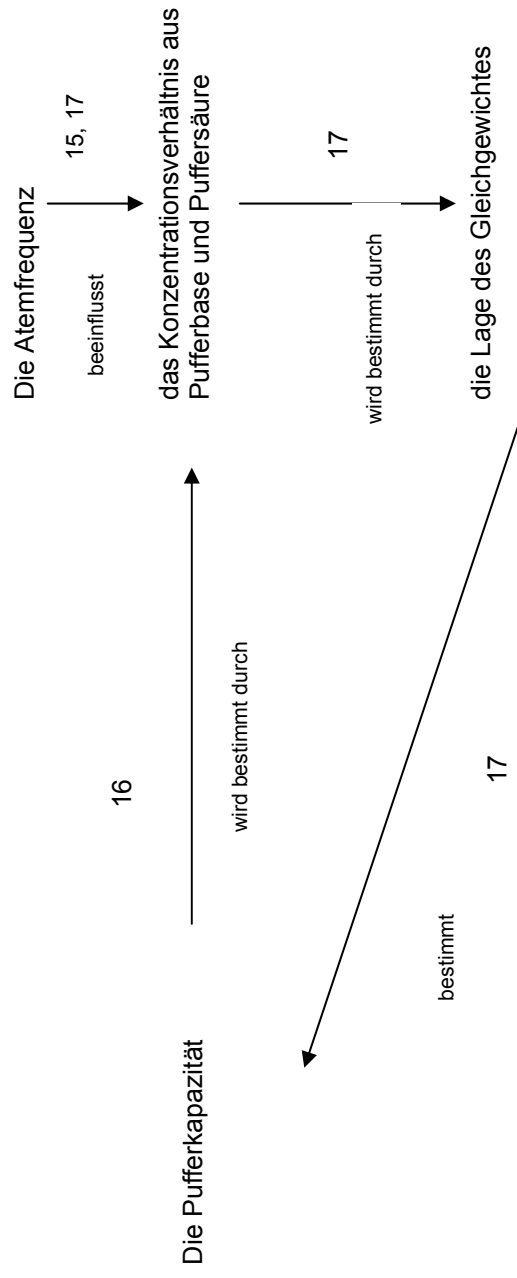


Ergänzungen, die über das Flussdiagramm hinaus, in der tabellarischen Auflistung nach Lernzielkategorien zusätzlich enthalten sind:

- ad 20 MWG für die betreffende Reaktion (**heißt**):  $\frac{c(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = K$   
 ad 23 Wenn beide  $c(\text{Säure})$  und  $c(\text{Base})$  gleich groß sind, ist  $\text{pH} = \text{pK}$ .

## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schülersaussagen im Concept Mapping k1 nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



Ergänzungen, die in der tabellarischen Auflistung nach Inhaltskategorien enthalten sind:

ad 17: **(Ist das)** Konzentrationsverhältnis von  $c(\text{H}_2\text{CO}_3)$  und  $c(\text{HCO}_3^-)$  **unünstig... (zeigt sich bei)** Säureabgabe ins Blut (eine) stärkere pH –Wert-erniedrigung.

<b>2.2</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe kg</b>	<b>C 39</b>
•	Transkription der Filmaufnahme kg	C 40
•	Auswertung der Filmaufnahme kg	C 48
•	Beobachtungsbogen kg	C 51
•	Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C 53
•	Lehrernetz	C 55
•	Schülernetz	C 56
•	Datenaufbereitung 1: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung der Aussagen	C 57
•	Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Schülernetz	C 61
•	Datenaufbereitung 3: Sortierung der Aussagen nach inhaltlichen Katgorien	C 68
•	Datenaufbereitung 4: Flussdiagramme nach inhaltlichen Kategorien	C 69

## Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum kg

- G., G., S., R., Frau A. -

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
1:26	S.	<p>Ich nehme schon mal die Karten.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Säureabgabe ins Blut</li> <li>• Pufferkapazität</li> <li>• Löslichkeit von CO<sub>2</sub></li> <li>• Konzentration von Hydrogencarbonat</li> <li>• Erhöhung der Atemfrequenz</li> <li>• Gleichgewichtslage</li> <li>• MWG</li> <li>• Le Chatelier Prinzip</li> <li>• pH –werterniedrigung</li> <li>• Konzentrationsgleichung</li> </ul>	
	G.	Das ist also die Gleichung... <sup>13</sup> .	gemeint ist die Karte mit $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$
	S.	<p>Ich kann mich gut daran erinnern, und zwar: Im Blut hast Du eine bestimmte Anzahl an Säure und an Hydrogencarbonat. Wenn Du anfängst, Sport zu treiben, wird der Muskel mehr Säure abgeben. Dadurch ist das Gleichgewicht gestört, dann muss sich alles verändern. Dann werden H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> reduziert, reagieren mit Hydrogencarbonat. Es entsteht CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> kommt über da Blut in die Lunge und wird abgeatmet. Dann fängt man an zu hyperventilieren.</p>	richtig
	G.	Was machen wir beim Tauchen? Ich dachte wir sollten das aufs Tauchen beziehen.	
	S.	Das ist das gleiche. Ich hyperventiliere, dadurch atmest Du viel CO <sub>2</sub> ab. Dann hast Du wenig CO <sub>2</sub> im Blut.	
	R.	Ach, ja	
	G.	Dann soll nicht nur das ausgeatmet werden, sondern mehr CO <sub>2</sub> sozusagen, wenn Du mehr . CO <sub>2</sub> .....Du kriegst die Atemnot	
	R.	weniger CO <sub>2</sub> .....	
	S.	Du hast weniger CO <sub>2</sub> im Blut. Du kriegst dann die Atemnot.	falsch: Die Höhe des CO <sub>2</sub> –Gehaltes bestimmt die Atemfrequenz. Durch zunehmenden CO <sub>2</sub> –Gehalt wird die Atemfrequenz erhöht. Geringer CO <sub>2</sub> –Gehalt zögert das Bedürfnis zu atmen hinaus
	R.	Du hast weniger CO <sub>2</sub> . Die Atemnot entsteht, wenn weniger CO <sub>2</sub> vorliegt.	s. o.
3	S.	Erhöhung der Atemfrequenz, ich lege das an die Spitze.	
	G.	Wir fangen da an und legen so rüber.	
	S.	Und dann, Säureabgabe ins Blut.	
	R.	Was war Säureabgabe ins Blut? Was ist das denn?	
	S.	Das sind Oxoniumionen, die erhöht werden.	

<sup>13</sup> .....:bedeutet Pause.

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	G.	Wenn Du eine Störung hast....	
	S.	Säureabgabe, wenn Du natürliche Hyperventilation machst.	
	R.	Nicht als zweiten Begriff. Die Konzentration von Hydrogencarbonat muss an den Anfang.	
	S.	Gleichgewichtslage; CO <sub>2</sub> wird ausgeatmet.	
	G.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> nimmt ab.	
	R.	Es wird weniger.	
	S.	Es wird weniger gebildet. Die Löslichkeit nimmt ab.	Es wird nur die Hinreaktion angesprochen, die Rückreaktion nicht beachtet.
	R.	Ja, genau.	
	G.	Du atmest ab, deshalb wird weniger gebildet. Ist das nicht das Prinzip von Dalton?	nicht ganz: Das Gesetz von Dalton: Der G.mtdruck ergibt sich aus der Summe der Partialdrucke der einzelnen gasförmigen Komponenten. richtig: Gesetz von Henry: Die Löslichkeit eines Gases ist proportional zu seinem Partialdruck.
	S.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> nimmt ab, wenn Du unter Wasser bist.	
	G.	Wir können noch ein Schild dazulegen. Abatmen von CO <sub>2</sub> bedeutet, die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> nimmt ab.	
	G.		
		Zusammenfassende Aussagen: • Wir müssen Pfeile aufmalen. Ich glaube, die roten Karten sind für die Begriffe	Gespräch über die Darstellung der Pfeile –gemalt oder ausgeschnitten-
		• Wir müssen Pfeile auf rote Karten aufschreiben; dann sieht man besser, was Begriffe, was Pfeile sind.	s.o.
	R.	Ich will schreiben.	
	S.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , Gleichgewicht bzw. Gleichgewichtslage gestört.	
		Was schreibe ich darauf?	
	R.	Abatmen, vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> .	
	G.	Erhöhung der Atemfrequenz und vermehrt Abatmen von CO <sub>2</sub> ; auf den Pfeil ‚dadurch vermehrtes‘. Die Beziehung muss man auf den Pfeil schreiben..	
	R.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ?	
	G.	verringert. - Von einem Begriff soll es zu mehreren Sachen weiter gehen.	
		Gleichgewichtslage gestört - jetzt weiß ich nicht mehr.	
	S.	hinter MWG	
8	G.	Es entsteht CO <sub>2</sub> dann, entsteht da Hydrogencarbonat? Was ist das?	
	G.		
9	S.	Kohlensäure bildet sich mit H <sub>2</sub> O und CO <sub>2</sub>	
	R.	Was ist das, Le Chatelier Prinzip?	

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	G.	Gleichgewicht, wenn es sich verschiebt...	Im wesentlichen: Ein dynamisches Gleichgewicht hat die Tendenz, einer Änderung der Umgebungsbedingungen entgegen zu wirken.
	G.	Le Chatelier Prinzip - Dass Gase immer den gleichen Raum ausfüllen ist das von Dalton. Dass das Gleichgewicht sich verschiebt, ist von Dalton. Le Chatelier Prinzip ist die Grundlage, Dalton der Unterbau.	falsch: Satz von Avogadro: Das Volumen einer gegebenen Gasmenge ist bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Druck proportional der Zahl der darin eingeschlossenen Gasmoleküle. Nach dem Satz von Avogadro nehmen ein Mol eines Gases x das gleiche Volumen ein, wie ein Mol eines Gases Y.
	S.	Wir hatten drei Gleichungen: Wollen wir die nicht aufstellen? Vielleicht, dann erklären sie.. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	
	R.	MWG?	
	S.	Wollen wir die drei Gleichungen nicht mal formulieren?	
	G.	Das wissen wir jetzt. Lasst und darüber nachdenken.	
		Wenn $\text{CO}_2$ verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger Hydrogencarbonationen und weniger $\text{H}_3\text{O}^+$ vor. Das stört die Gleichgewichtslage, dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert.	
10	S.	Ja, genau, wenn davon weniger ist, ist das Gleichgewicht gestört. Wenn davon weniger ist, müssen sie sich ausgleichen. Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ ist daran gebunden ?	
11	R.	Was steht darauf?	
		Wenn die Konzentration von $\text{CO}_2$ geringer wird, ist der Verbrauch von Hydrogencarbonat höher. Nee...	richtig
	G.	Ich verstehe die Gleichung nicht so ganz. Wenig $\text{CO}_2$ bedeutet wenig Hydrogencarbonat auf der rechten Seite, und es könnte sich mehr Kohlensäure aufspalten, die in Wasser und $\text{CO}_2$ zerfällt.	
	S.	Wir atmen $\text{CO}_2$ ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich.	
	G.	Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten...von der Reaktionskette ist das logisch: weil weniger $\text{CO}_2$ zu einer Aufspaltung von $\text{H}_2\text{CO}_3$ führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt das auch, weniger $\text{HCO}_3^-$ .....	
	S.	Kohlensäure wird gebildet aus Hydrogencarbonat. Das ist auf beiden Seiten die gleiche Konzentration. Die wird automatisch weniger. Darauf kommt es nicht an.	bezogen auf $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
	G.	Wenn man nur dieses anguckt.....ist.....	
		Ich finde es komisch...	

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	S.	Diese Konzentrationsgleichung haben wir wirklich mal aufgeschrieben.	
	G.	Die...nee, wir hatten....das ist gar nicht die MWG – Gleichung! Das ist komisch!	
	G.	Ich finde es verwirrend, dass die Konzentration von Hydrogencarboant zweimal vorkommt.....	bezogen auf $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$
13	G.	Oxoniumionen..	
	S.	Vielleicht zeigt die Gleichung nicht Grundlegendes.	
	G.	Wir sagen einfach: Die Gleichgewichtslage ist so und so. d.h.....	
	S.	Wir können es davor setzen.	
	G.	Ich finde – da - viel besser: Die Gleichgewichtslage wird gestört normalerweise	
	G.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> nimmt ab, Pfeil nach unten, also auch Abnahme von Kohlensäure	
	R.	Wenn die Löslichkeit abnimmt, dann stört das die Gleichung.	bezogen auf $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$
	S.	Das stört das, das finde ich besser – da- stört die Gleichgewichtslage.	
15:15	R.	MWG lassen wir	vorgegebene Karte
	S.	Die wird aufgelöst, reagiert mit Oxoniumionen.	
	G.	Lasst uns aufschreiben	
		Pause	
	R.	Zeig mal	
	G.	Kohlenstoffdioxid (aq) wird zu gasious.	selbst gewählte Karte
	S.	Hydrogencarbonat und Wasser werden zu Carbonationen.- Das ist nicht so wichtig.	
	G.	Wir müssen ‚gasious‘ zu ‚aq‘ machen.	
	G.	Die Oxoniumionen machen den pH –Wert niedriger ?	
	S.	Die Konzentration der Oxoniumionen machen den pH – Wert niedrig.	
	S.	Le Chatelier Prinzip	vorgegebene Karte
	G.	Nimmt die Kohlensäure ab, werden danach die Konzentrationen von Hydrogencarbonat und Oxoniumionen erniedrigt.	
	R.	Wenn H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> weniger wird, ist der pH –Wert erhöht- das kann nicht sein!	
	G.	Sie will doch, dass wir das machen. pH – werterniedrigung ist zuerst da, dann wird diese ausgeglichen durch die Erhöhung der Atemfrequenz.	
	S.	Die Erhöhung der Atemfrequenz ist die Folge, daher eher zum Schluss.	
	G.	Nein, wenn die Leute so was haben, wenn irgendso eine pH – Werterniedrigung auftritt ?... Doch.- und er fällt dann noch weiter, welches Medikament ?	
	S.	Der pH –Wert wird erniedrigt. Die Säureabgabe ins Blut war davor. Du hyperventilierst, weil der pH –Wert erniedrigt ist. Der pH –Wert ist erniedrigt, weil die Säureabgabe ins Blut stattfindet.	

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	G.	Das ist die Krankheit. Die Säureabgabe ins Blut erniedrigt den pH – Wert. Wir können die Karte auch hier ans Ende legen.	
	R.	Durch die Pufferkapazität wird der ganze Fortgang in Gang gesetzt. Das ist Pufferung: Die Säure wird neutralisiert.	
	S.	Das muss am Ende sein.....Das ist die Folge.	
	R.	Du musst hyperventilieren, dann passiert das.	
	G.	Wenn Du eine pH - Wertänderung hast, dann hat der Körper den Reflex zu hyperventilieren. Es ist so: das alles passiert danach.	
	R.	Du musst hyperventilieren, dann passiert das.ganze..	
	G.	CO <sub>2</sub> wird verringert, dann am Ende hast Du eine Normalisierung.	
	S.	Ich würde es andersherum sagen:	
	G.	Säureabgabe ins Blut erniedrigt den pH – Wert, das verringert die Pufferkapazität.	
	R.	Durch Erhöhung der Atemfrequenz, dadurch entsteht die Pufferkapazität.	
	G.	Pufferkapazität kann nicht entstehen, Pufferkapazität ist immer da.	
	R.	Die Pufferung entsteht.	
	R.	Es wird gepuffert, so dass CO <sub>2</sub> abgeatmet wird.	
	G.	Die Pufferkapazität ist optimal, wenn der pH – Wert ein bestimmtes Maß hat. Wenn er aber zu weit sinkt, dann ist die Pufferkapazität gestört. Stimmt das?	
	S.	Entweder habe ich einen Denkfehler, oder..? Ich denke andersherum: Du treibst Sport....., die Pufferkapazität tritt ein, die ist immer daran gebunden, wie viel Säure Du hast. Es ist die Frage, reicht die Pufferkapazität aus oder brauchst Du ein Medikament? Es ist entscheidend, wie stark Du hyperventilierst, wie viel CO <sub>2</sub> wir produzieren.	
	G.	Der Körper kann nicht sagen, er hyperventiliert so und so lange, er hyperventiliert überhaupt. Er hyperventiliert so lange, wie er hyperventilieren kann. Die Frequenz kann nicht bestimmt werden.	
	G.		
	G.	Die Pufferkapazität tritt ein, kann man nicht sagen..	
	R.	Das, was eintritt, ist die Pufferung.	
	S.	Die Pufferkapazität ist da, um die Säure zu regulieren.	missverständlich
	R.	Wir können es nicht an den Anfang setzen.	
	G.	Mit Pufferkapazität kann man anfangen. Die Säure - und Base - abgabe wird reguliert durch die Pufferkapazität im Körper.....Erhöht sich die Säureabgabe.....	Die Säure- und Baseabgabe wird kompensiert durch..
	G.	MWG?	
	R.	Die Konstante K , die wird bestimmt durch das MWG.	
	S.	Wenn das MWG sich ändert, dann folgt das daraus..	
25	G.	Die Löslichkeit nimmt ab, die Gleichgewichtslage verändert sich, die wird bestimmt durch das MWG, das ist die Folge. Das würde ich darunter legen.	



Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	S.	MWG: unten- Konzentration von Wasser mal Konzentration von $\text{H}_3\text{O}^+$ .	gedacht ist an den Quotienten der Gleichgewichtskonzentrationen
	R.	Die Konzentration von Wasser ist in K einbezogen. Unten – Konzentration von Hydrogencarbonat mal Konzentration von $\text{H}_2\text{CO}_3$ ;	
	G.	oben – Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ und $\text{H}_3\text{O}^+$ . und unten Konzentration von $\text{H}_2\text{CO}_3$ Le Chatelier, was ist das?	
	G.		
	G.	Bestrebt in ein Gleichgewicht? Produkte und Edukte?	
	S.	Ich erinnere mich an einen Text aus dem Buch, ein blöder Text, (S. erinnert sich an einen Text im Chemiebuch)	Chemie heute, S. 97: „Im Jahre 1884 versuchte der französische Chemiker Le Chatelier zu beschreiben, wie sich die Lage eines Gleichgewichtes qualitativ verschiebt, wenn man die Temperatur, den Druck oder die Konzentration ändert. Das wesentliche Ergebnis seiner theoretischen Überlegungen wird in der Literatur als Le Chatelier Prinzip bezeichnet. Jede Störung eines Gleichgewichtes durch Änderung der äußeren Bedingungen führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichtes, die der Störung entgegenwirkt“.
	G.	Du hast ihn als einzige gelesen.	
	R.	Was stand nun darin?	
	G.	Das weiß sie nicht mehr.....	
	S.	Le Chatelier hat herausgefunden, dass Edukte und Produkte sich verändern - der andere Teil sich angleichen muss. Mittelalter oder so.....	
	G.	Die Gleichgewichtslage wird nach dem Le Chatelier Prinzip ausgeglichen. Le Chatelier Prinzip gehört zum Gleichgewicht, zur Gleichgewichtslage davor.	
		Wir müssen Karten dazu schreiben. Konzentration von Hydrogencarbonat wird verringert.	
	S.	Hydrogencarbonat ist der Puffer! Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ . $\text{HCO}_3^-$ . Ist der Pufferwirkstoff.	
	G.	Pufferbase?	
	G.	Wenn $\text{HCO}_3^-$ abnimmt, nehmen auch die Oxoniumionen ab, das bewirkt Erhöhung des pH – Wertes.	
29:57	R.	MWG: Was steht oben, was steht unten?	
	S.	Wir haben gesagt, dass Blut zuviel $\text{HCO}_3^-$ besitzt und deshalb $\text{HCO}_3^-$ als Puffer wirkt.	
	G.	Pufferbase und Puffersäure liegen vor: $\text{HCO}_3^-$ und $\text{H}_2\text{CO}_3$ das sind die Pufferpartner.	

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	G.	Was muss man machen bei der Krankheit, wo der pH – Wert fällt, was das mit dem Hydrogencarbonat?	
	S.	Ja, Hydrogencarbonat ist der Puffer im Blut.	
	G.,	Dann weiß ich. Wenn Du Hydrogencarbonat erhöhst, warum erniedrigst Du den pH - Wert?	
	S., G.	Weil die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonat reagieren.	
	G.	Der pH – Wert ist niedrig, wenn Du zu viele Oxoniumionen hast, wenn das zu viel ist, brauchst Du	
	S.	Liegen zuviel $H_3O^+$ vor, muss ein Medikament gegeben werden.	richtg
			Neue Zeitangaben; Große Aktivität bei der Erstellung des maps
	G. u. a.	<b>Auswahl von Einzelaussagen:</b> pH – Werterhöhung, Konzentration von Oxoniumionen, sollen wir Konzentration von Kohlensäure als Begriff auf eine Karte schreiben? Die Säureabgabe wird ausgeglichen aufgrund der Pufferkapazität.....	Große Aktivität bei der Erstellung des maps
	S.	Was ist Pufferkapazität? Das haben wir noch nicht.	
	G.	Gleichgewichtslage wird gestört. Dann kommt es hinter.....Doch... Löslichkeit von $CO_2$ . Wird sie gestört, wird Puffersäure erniedrigt. Das erniedrigt $HCO_3^-$ , dadurch auch die Konzentration der Säure. Reaktionsschema geht dahin: $CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq)$	
	S.	Das Abatmen von $CO_2$ ?	
	G.	Abatmen von $CO_2$ beeinflusst das Löslichkeitsgleichgewicht von $CO_2$ . Da $CO_2$ gasförmig verringert wird, wird die Gleichgewichtslage gestört, deshalb wird die Konzentration von $CO_2$ im Blut verringert. Nächstes Reaktionsschema kommt danach.	
	G.		
		<b>Auswahl von Einzelaussagen:</b> Die Kohlensäure nimmt ab....., der pH – Wert erhöht sich.	Große Aktivität beim Kartenlegen
	G.	Ich finde das schöner: hier pH – Werterniedrigung da pH – Werterhöhung! Die Säureabgabe bewirkt das.	
39:29	G.	Le Chatelier bleibt übrig! Wohin? Hier muss ‚aq‘ und da muss ‚gaseous‘ hin. Abatmen verringert $CO_2(g)$ . Damit wird die Gleichgewichtslage gestört. Hier muss es hin – gemäß dem Le Chatelier Prinzip....wird Gleichgewichtslage gestört. Die Löslichkeit nimmt ab. Gemäß,....ja..., gestört?	
	S.	Le Chatelier Prinzip: folgt nach dem Le Chatelier Prinzip?	
40:18	G.	Haben wir das richtig verstanden, dass das Le Chatelier Prinzip etwas zu tun hat mit dem Gleichgewicht von Produkten und Edukten?	
40:54	R.	MWG: mathematische Umschreibung der Gleichgewichtsveränderung	

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
	G.	Gleichgewichtslage gemäß dem Le Chatelier Prinzip wird mathematisch beschrieben durch das MWG. – stört Gleichgewichtsage von...ausgeglichen durch.... Pufferkapazität bewirkt Konstanthaltung des pH – Wertes.	
	S.	Wir können das dazwischen setzen.	
	G.	Pufferkapazität sorgt für konstanten pH – Wert von ca 7,4..	‚Sorgt für‘ als Pfeilbeschriftung ;
	G.	Pfeilspitze in eine Richtung?	
	S.	Bei stark erhöhter... im Fall einer Säureabgabe	‚bei stark erhöhter‘ als Pfeilbeschriftung
	G.	Pufferkapazität reicht nicht mehr aus bei stark erhöhter Säureabgabe. Säureabgabe bewirkt pH – Werterniedrigung. PH - Werterniedrigung wird ausgeglichen durch Erhöhung der Atemfrequenz. Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet...	‚reicht nicht mehr aus bei stark erhöhter‘ als Pfeilbeschriftung; ‚bewirkt‘ als Pfeilbeschriftung ; ‚bedeutet‘ als Pfeilbeschriftung
	R.	Abatmen von CO <sub>2</sub> .	
	G.	Abatmen von CO <sub>2</sub> stört die Gleichgewichtslage (Doppelpunkt) :	‚stört die‘ als Pfeilbeschriftung
	S.	Gleichgewichtslage folgt dem Le Chatelier Prinzip muss dazwischen	‚folgt dem‘ als Pfeilbeschriftung
	G.	Gleichgewichtslage Doppelpunkt	
	G., S.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) nimmt ab, dadurch Abnahme von..	‚dadurch Abnahme von‘ als Pfeilbeschriftung
51:45	G.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) bewirkt Störung bei..	‚ bewirkt Störung bei‘ als Pfeilbeschriftung
	G.	$\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure, gemäß dem Gleichgewicht: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ .	‚ wird ausgeglichen durch Abnahme von‘ als Pfeilbeschriftung; ‚gemäß dem‘ als Pfeilbeschriftung;
53:59	G.	pH – werterhöhung pH - werterniedrigung	
	G.	Konzentration von Kohlensäure folgt dem Gleichgewicht: $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ .	‚folgt dem Gleichgewicht‘ als Pfeilbeschriftung;
	G.	Konzentration von Kohlensäure bewirkt Abnahme der Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und von H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> .	‚ bewirkt Abnahme von‘ als Pfeilbeschriftung;
	R.	Dadurch pH - Werterhöhung	‚dadurch‘ als Pfeilbeschriftung;
		daraus dadurch bewirkt Photo	
	G.	Wo soll man anfangen? Ich würde sagen, da!	Hinweis auf Pufferkapazität
	G.	pH – wWerterniedrigung bewirkt reflexartige Erhöhung der Atemfrequenz. Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> . Abatmen von CO <sub>2</sub> bewirkt Verringerung der Konzentration von CO <sub>2</sub> (aq).	‚ bewirkt reflexartige‘ als Pfeilbeschriftung; ‚ bedeutet vermehrtes‘ als Pfeilbeschriftung; ‚bewirkt Verringerung von‘ als Pfeilbeschriftung;

## Auswertung der Filmaufnahme des Concept Mappings kg - G., G., R., S., Frau A. -

### Zur Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung zeitgleich vorliegender Gleichgewichte

1. Nachdem die Karten aufgelegt worden sind, beginnt S.. Sie entwickelt die Dynamik des Löslichkeitsgleichgewichtes und des Kohlensäuregleichgewichtes nach Säureeintrag anhand der vorgegebenen Karte, die das Verhältnis der Konzentrationen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure zeigt.

S.: *Ich kann mich gut daran erinnern, und zwar: Im Blut hast Du eine bestimmte Anzahl an Säure und an Hydrogencarbonat. Wenn Du anfängst, Sport zu treiben, wird der Muskel mehr Säure abgeben. Dadurch ist da Gleichgewicht gestört, dann muss sich alles verändern. Dann werden die  $H_3O^+$  - Ionen reduziert, reagieren mit Hydrogencarbonat. Es entsteht  $CO_2$ .  $CO_2$  kommt über das Blut in die Lunge und wird abgeatmet. Dann fängt man an zu hyperventilieren<sup>14</sup>*

Zu diesem Zeitpunkt sieht die Gruppe die Erhöhung der Atemfrequenz nicht als Folge des erhöhten  $CO_2$  – Gehaltes im Blut, sondern macht für das verstärkte Ein- und Ausatmen eine zu geringe  $CO_2$  – Konzentration verantwortlich.

S.: *Du hast weniger  $CO_2$  im Blut. Du kriegst dann die Atemnot.*

R.: *Du hast weniger  $CO_2$  im Blut. Die Atemnot entsteht, wenn weniger  $CO_2$  vorliegt<sup>15</sup>.*

Im fertig erstellten Map ist die Ereigniskette korrekt dargestellt.

2. S. erinnert sich an das Löslichkeitsgleichgewicht von  $CO_2$ , an die Hydratation von  $CO_2$  mit Wasser, an die Protolyse von Kohlensäure und an die Protolyse von Hydrogencarbonat. Sie formuliert die Gleichungen in der Formelschreibweise korrekt<sup>16</sup>.

Im Nachdenken über die von S. genannten Gleichungen, entwickelt G. - für sich neu - die Veränderungen der Konzentrationen im Hydrations- und Protolysegleichgewicht der Kohlensäure, die mit einem verstärkten Abatmen verknüpft sind.

G.: *Wenn  $CO_2$  verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger Hydrogencarbonationen und weniger  $H_3O^+$  vor. Das stört die Gleichgewichtslage, dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert<sup>17</sup>.*

S.: *Wir atmen  $CO_2$  ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich<sup>18</sup>.*

G.: *Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten...von der Reaktionskette ist das logisch, weil weniger  $CO_2$  zu einer Aufspaltung von Kohlensäure führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt da auch weniger Hydrogencarbonat<sup>19</sup>.*

G.: *Abatmen von  $CO_2$  beeinflusst das Löslichkeitsgleichgewicht von  $CO_2$ . Da  $CO_2$  (gasförmig) verringert wird. Wird die Gleichgewichtslage gestört, deshalb wird die Konzentration von  $CO_2$  im Blut verringert. Nächstes Reaktionsschema kommt danach<sup>20</sup>.*

---

<sup>14</sup> Transkription der Filmaufnahme kg S. C40

<sup>15</sup> ebenda, S. C 40

<sup>16</sup> ebenda, S. C 42

<sup>17</sup> ebenda, S. C 42

<sup>18</sup> ebenda, S. C 42

<sup>19</sup> ebenda, S. C 42

<sup>20</sup> ebenda, S. C 46

### Zur Pufferlösung und Pufferkapazität

3. Die Unterscheidung zwischen Pufferung und Pufferkapazität gelingt in der Diskussion. Pufferkapazität wird letztlich als Eigenschaft des Systems gesehen. Die Pufferkapazität lässt sich quantitativ ausdrücken. Das Maß ist pH – wertabhängig.

- G.: Säureabgabe ins Blut erniedrigt den pH – Wert, das verringert die Pufferkapazität.  
R.: Durch Erhöhung der Atemfrequenz, dadurch entsteht die Pufferkapazität.  
G.: Pufferkapazität kann nicht entstehen, Pufferkapazität ist immer da.  
R.: Die Pufferung entsteht. Es wird gepuffert, so dass CO<sub>2</sub> abgeatmet wird.  
G.: Die Pufferkapazität ist optimal, wenn der pH – Wert ein bestimmtes Maß hat. Wenn er aber zu weit sinkt, dann ist die Pufferkapazität gestört. Stimmt das?<sup>21</sup>  
G.: Die Pufferkapazität tritt ein, kann man nicht sagen.  
R.: Das was eintritt, ist die Pufferung<sup>22</sup>.  
G.: Die Pufferkapazität sorgt für einen konstanten pH – Wert von 7,4<sup>23</sup>.  
S.: Was ist Pufferkapazität? Das haben wir noch nicht.  
G.: Gleichgewichtslage wird gestört. Dann kommt es hinter...Doch...Löslichkeit von CO<sub>2</sub>. Wird sie gestört, wird Puffersäure erniedrigt. Das erniedrigt HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dadurch auch die Konzentration der Säure<sup>24</sup>

Im Verlauf der weiteren Diskussion erinnert sich S.:

- S.: Hydrogencarbonat ist der Puffer! Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von Hydrogencarbonat.  
G.: Pufferbase und Puffersäure liegen vor: Hydrogencarbonat und Kohlensäure das sind die Pufferpartner<sup>25</sup>.

Erinnert wird nicht, dass die Größe der Pufferkapazität vom Konzentrationsverhältnis der Pufferbase zur Puffersäure abhängt: Wenn gleiche Konzentrationen von Puffersäure und Pufferbase vorliegen, ist die Pufferkapazität hoch. Je mehr sich die Konzentrationen von Säure und Base unterscheiden, desto geringer ist die Pufferkapazität.

### Zum Massenwirkungsgesetz und zum Le Chatelier Prinzip

4. Von G. wird das MWG als Gesetzmäßigkeit beschrieben, die die Gleichgewichtslage eines Systems bestimmt.

- G.: Die Löslichkeit nimmt ab, die Gleichgewichtslage verändert sich, die wird bestimmt durch das MWG,....<sup>26</sup>.

G. formuliert nach den Versuchen von S. und R. den Quotienten des MWG für die Protolyse von Kohlensäure korrekt<sup>27</sup>.

S. erinnert sich an einen Text aus dem Chemiebuch, der einmal als Hausaufgabe gelesen werden sollte, in dem das Le Chatelier Prinzip erklärt wird.

- S.: Le Chatelier hat herausgefunden, dass Edukte und Produkte sich verändern – der andere Teil sich angleichen muss. Mittelalter oder so...

G. fasst zusammen:

- G.: Die Gleichgewichtslage wird nach dem Le Chatelier Prinzip ausgeglichen Le Chatelier Prinzip gehört zum Gleichgewicht zur Gleichgewichtslage,<sup>28</sup>  
G.: Le Chatelier bleib übrig! Wohin? Hier muss (aq) und da muss ‚Gasiös‘ hin. Abatmen verringert CO<sub>2</sub> gasiös. Damit wird die Gleichgewichtslage gestört. Hier muss hin – gemäß em Le Chatelier Prinzip.. wir die Gleichgewichtslage gestört. Die Löslichkeit nimmt ab<sup>29</sup>.

<sup>21</sup>Transkription der Filmaufnahme kg, S. C 44

<sup>22</sup> ebenda, S. C 44

<sup>23</sup> ebenda, S. C 47

<sup>24</sup> ebenda, S. C 46

<sup>25</sup> ebenda, S. C 45

<sup>26</sup> ebenda, S. C 45

<sup>27</sup> ebenda, S. C 44

<sup>28</sup> ebenda, S. C 45

Im Map sind folgende Propositionen korrekt formuliert:

*Abatmen von  $\text{CO}_2$  bewirkt die Abnahme der Konzentration von  $\text{CO}_2$  (aq).*

*Die Konzentration von  $\text{CO}_2$  (aq) stört die Gleichgewichtslage*

*Gleichgewichtslage :  $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$*

*Gleichgewichtslage :  $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$  folgt dem Le Chatelier Prinzip.*

### Zur Hyperventilation

5. Die Wirkungskaskade, die im Körper einsetzt, wenn sich der pH – Wert deutlich unter den Normbereich erniedrigt, wird schlüssig entwickelt und im Map dargestellt.

G.: Was muss man machen bei der Krankheit, wo der pH –Wwert fällt, was war das mit dem Hydrogencarbonat?

S.: Ja, Hydrogencarbonat ist der Puffer im Blut.

G.: Dann weiß ich. Wenn Du Hydrogencarbonat erhöhst, warum erniedrigst Du den pH – Wert?(Korrekterweise müsst die Frage lauten; Warum erhöhst Du den pH – Wert?)

Beide: Weil die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonat reagieren.

G.: Der pH – Wert ist niedrig, wenn Du zu viele Oxoniumionen hast, wenn das zu viel ist, brauchst Du

S.: Liegen zu viel  $\text{H}_3\text{O}^+$  vor, muss ein Medikament gegeben werden<sup>30</sup>.

---

<sup>29</sup> Transkription der Filmaufnahme kg, S. C 46

<sup>30</sup> ebenda, S. C 46

**Beobachtungsbogen zum Concept Mapping kg**

**Datum: 16.03.01**

**Aktivitätsprofil im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)**

Zeit/min	00:00 - 7:55	05:00 – 8:00	10:00 – 8:05	15:00 - 8:10	20:00.- 8:20	25:00 – 8:25
G.	3	3	1	2	2	2
G.	3	6	4	4	4	4
S.	1	1	2	2	2	2
R.	4	4	3	4	4	4
Begriffe						
Sonstiges						

## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping kg

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	30:00 – 8:30	35:00 – 8:35	40:00 – 8:40	45:00 – 8:45	50:00 – 8:50	55:00 – 8:55
G.	2	2	1	2	2	2
G.	4	4	4	4	4	4
S.	2	4	4	3	3	3
R.	4	3	4	3	3	
Begriffe		Pufferkapazität entspricht Konzen- tration von Hydrogen- carbonat?				
Sonstiges						



## Tabellarische Auflistung der Aussagen im Lehrermap

Aussagen (L1 heißt beispielsweise Proposition 1 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ .	ja	ja
L2 $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...	ja	ja
L4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.	ja	ja
L5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	ja	ja
L6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	ja	ja
L7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	ja
L8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	ja	ja
L11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L12 pH – Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	ja	ja
L13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	ja	ja
L17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja

<b>Aussagen</b> (L20 beispielsweise heißt Proposition 20 im Lehrermap)	<b>in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage</b>	<b>in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage</b>
L20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L25 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L26 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L27 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja	ja
L28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja

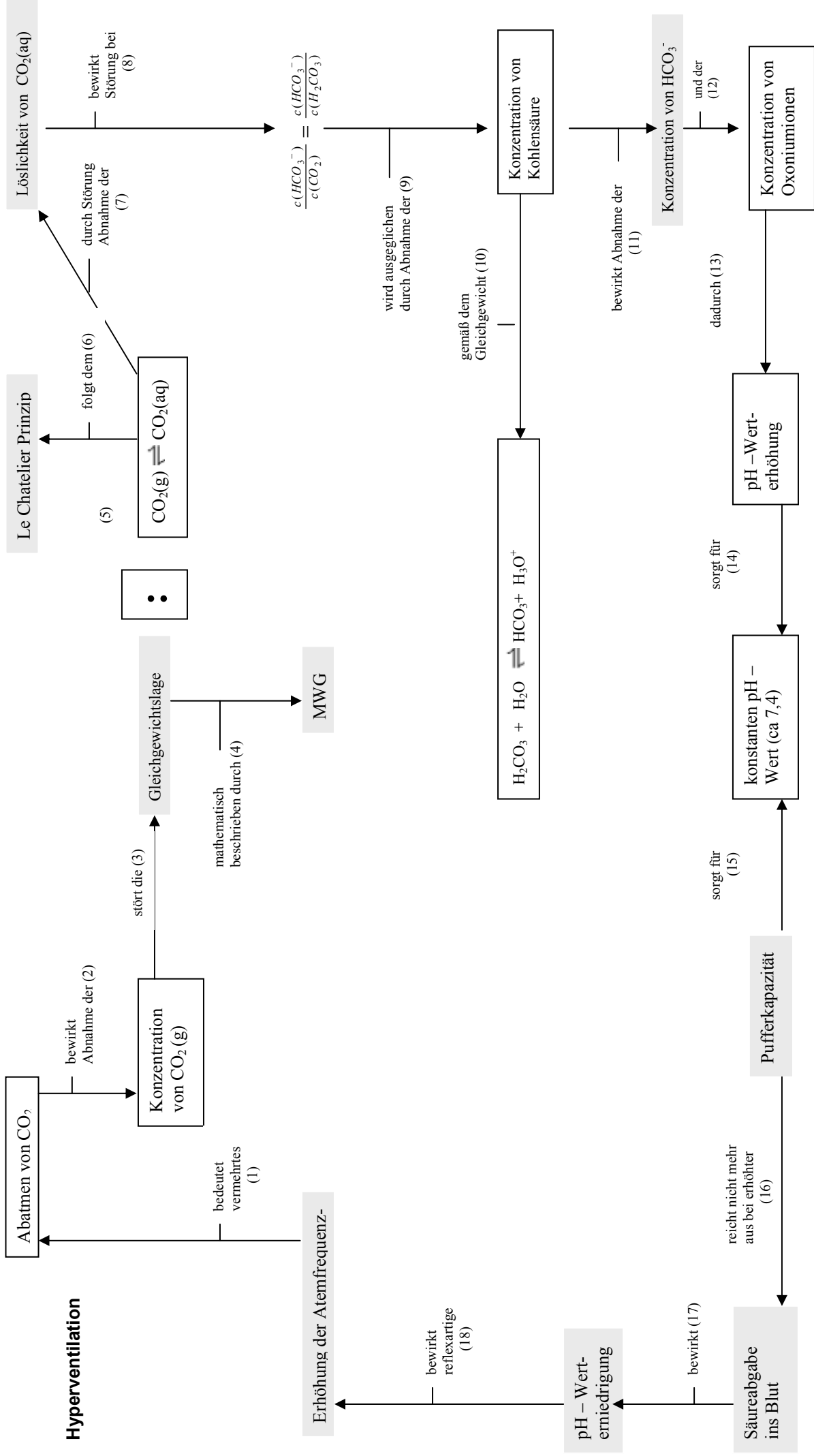
<b>Begriffe</b>	<b>einfach verknüpft</b>	<b>zweifach verknüpft</b>	<b>dreifach verknüpft</b>	<b>vierfach verknüpft</b>	<b>x-fach verknüpft</b>
1. Le Chatelier Prinzip			ja		
2. MWG			ja		
3. Säureabgabe ins Blut			ja		
4. pH -werterniedrigung					ja (5)
5. Gleichgewichtslage					ja (7)
6. Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$					ja (8)
7. Konzentration von $\text{HCO}_3^-$				ja	
8. Erhöhung der Atemfrequenz					ja (6)
9. Pufferkapazität		ja			
10. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja			
11. bewusst gesteuerte Hyperventilation			ja		
12. Rezeptoren		ja			
13. Störung im Säure-Base-Haushalt			ja		
14. Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$			ja		
15. Henderson-Hasselbalchgleichung		ja			
16. $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$					ja (5)

**in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:**

- $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$
- $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$   
oder 2. und 3. zusammengefasst:
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$



# Schülermap kg



## Datenaufbereitung 1 des Concept Maps kg: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung nach vier Kategorien

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
Die Nummerierung entspricht der Nummerierung im Concept Map kg					
S1 Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> .	ja		nein	ja	ja
S2 Abatmen von CO <sub>2</sub> bewirkt Abnahme der Konzentration von CO <sub>2</sub> .	ja		nein	ja	ja
S3 Konzentration von CO <sub>2</sub> stört die Gleichgewichtslage.	ja		nein	ja	ja
S4 Gleichgewichtslage (j) <sup>37</sup> mathematisch beschrieben durch MWG	ja Begründung: (bezogen auf das CO <sub>2</sub> - Löslichkeitsgleichgewicht gilt das Henry'sches Gesetz, eine Modalität des MWG)		nein	ja	ja
S5 Gleichgewichtslage: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$	ja		nein	ja	ja
S6 ( <b>Gleichgewichtslage</b> <sup>37</sup> ): $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ folgt dem Le Chatelier Prinzip	ja		nein	ja	ja
S7 $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ (-) durch Störung Abnahme der Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)	ja		nein	ja	ja

<sup>31</sup> zum besseren Leseverständnis eingefügt  
32., S.0.

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
<p>SS Die Numerierung entspricht der Nummerierung im Concept Map kg</p> <p>SS Löslichkeit von <math>\text{CO}_2(\text{aq})</math> bewirkt Störung bei</p> $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	<p>missverständlich: Begründung: abnehmende Löslichkeit von <math>\text{CO}_2</math> verändert den Wert des Quotienten <math>\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}</math>.</p>	<p>G. und S. beschreiben korrekt die Auswirkungen einer Partialdruckerniedrigung von <math>\text{CO}_2</math> auf die Stoffmengen der im Gleichgewicht vorliegenden Komponenten. „Wenn <math>\text{CO}_2</math> verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger <math>\text{H}_3\text{O}^+</math> vor. Das stört die Gleichgewichtslage. Dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert“ (Transkription kg, G., S. C 42) „Wir atmen <math>\text{CO}_2</math> ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich“ (Transkription kg, S., S. C 42) „Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten... von der Reaktionskette ist das logisch: weil weniger <math>\text{CO}_2</math> zu einer Aufspaltung von <math>\text{H}_2\text{CO}_3</math> führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt das auch weniger <math>\text{HCO}_3^-</math>.“ (Transkription kg, G., S. C 42).</p>	nein	ja	ja
<p>S9 <math>\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}</math> wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure<sup>(33)</sup></p>	<p>missverständlich: Begründung: Die Abnahme der Löslichkeit von <math>\text{CO}_2</math> wird ausgeglichen durch die Abnahme der Kohlensäurekonz., davon ausgehend, dass nicht zerfallende Kohlensäure, also <math>\text{H}_2\text{CO}_3</math>, vorliegt.</p>	<p>G. formuliert die Proposition im map fast wörtlich im Film. <math>\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}</math> wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure gemäß dem Gleichgewicht: <math>\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+</math> “(Transkription kg, G., S. C 47) Der Quotient als Maß für die Pufferkapazität des Systems wird nicht erkannt (S. 4). Die Auswirkungen der Stoffmengenabnahme von Kohlensäure werden an anderer Stelle (s. Proposition 8) erfasst.</p>	nein	ja	ja

<sup>33</sup> . zum besseren Leseverständnis eingefügt

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangs-sprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegan-gener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgen-der Aussage
Die Nummerierung entspricht der Nummerierung im Concept Map kg					
S10 gemäß dem Gleichgewicht ( <sup>34</sup> ) $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$	ja		nein	ja	ja
S11 Konzentration von Kohlensäure bewirkt Abnahme der Konzentration von $HCO_3^-$	ja		nein	ja	ja
S12 und der Konzentration von Oxoniumionen (.)	ja		nein	ja	ja
S13 dadurch ( <b>ergibt sich eine</b> ) <sup>35</sup> pH - Werterhöhung	ja		nein	ja	ja
S14 pH – Werterhöhung sorgt für konstanten pH – Wert ca 7,4	ja Begründung: (die Neueinstellung des Kohlensäure - Gleichgewichtes nach dem Abatmen von CO <sub>2</sub> wird als Prozess betrachtet)		nein	ja	ja
S15 Pufferkapazität sorgt für konstanten pH –Wert (ca 7,4)	ja		nein	ja	ja
S16 Pufferkapazität reicht nicht mehr aus bei erhöhter Säureabgabe ins Blut	ja		nein	ja	ja
S17 Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	ja		nein	ja	ja
S18 pH – Werterniedrigung bewirkt reflexartig Erhöhung der Atemfrequenz	ja Begründung: 'reflexartig' bezieht sich auf Wahrnehmung der Chemorezeptoren und Aktivierung des Atemzentrums	G. formuliert die Erhöhung der Atemfrequenz als Kompensationsmaßnahme des Körpers. „Wenn Du eine pH – Wertänderung hast, dann hat der Körper den Reflex zu hyperventilieren. Es ist so: das alles passiert danach.“(Transkription kg, G., S. C 44).	nein	ja	ja

<sup>34</sup> zum besseren Leseverständnis eingefügt

<sup>35</sup> S.O.

### Bewertung:

Von den 18 Propositionen sind 16 richtig und zwei (S8 und S9) missverständlich. Im Film wird eine missverständliche Aussage (S8) korrekt dargestellt. Es zählt die Filmaussage. Daher sind von 18 Propositionen 17 richtig und eine falsch. Der prozentuale Anteil der richtigen Aussagen beträgt 94%

### Verwendete Begriffe und ihre Verknüpfungsgrade

Begriffe	einfach verknüpft (2)	zweifach verknüpft (13)	dreifach verknüpft (4)	vorgegeben (10)	selbst gewählt (9)
1. Abatmen von CO <sub>2</sub>		ja			ja
2. Konzentration von CO <sub>2</sub> (g)		ja			ja
3. Gleichgewichtslage			ja	ja	
4. :		ja			ja
5. MWG		ja		ja	
6. CO <sub>2</sub> (g) ⇌ CO <sub>2</sub> (aq)			ja		ja
7. Le Chatelier Prinzip	ja			ja	
8. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)			ja	ja	
9. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja		ja	
10. Konzentration von Kohlensäure			ja		ja
11. H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	ja				ja
12. Konzentration von c(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )		ja		ja	ja
13. Konzentration von Oxoniumionen		ja			ja
14. pH -Werterhöhung		ja			ja
15. konstanten pH –Wert (ca 7.4)		ja			ja
16. Pufferkapazität		ja		ja	
17. Säureabgabe ins Blut		ja		ja	
18. pH -Werterniedrigung		ja		ja	ja
19. Erhöhung der Atemfrequenz		ja		ja	ja

<b>in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:</b>	CO <sub>2</sub> (g) ⇌ CO <sub>2</sub> (aq)
<b>zusätzliche, auf DIN A 4 Blättern aufgeschriebene mathematische Bezüge</b>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> keine



## Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Concept Map kg

Aussagen im Lehrermap - vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47	Kommentar	Bewertung
L1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ .	S1: Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> . S2: Abatmen von CO <sub>2</sub> bewirkt Abnahme der Konzentration von CO <sub>2</sub> . S8: Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) bewirkt Störung bei $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$	T1: „Wir atmen CO <sub>2</sub> ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich.“ (Transkription kg, S., S. C 42) T2: „Diese Konzentrationsgleichung hatten wir wirklich mal aufgeschrieben. Die...nee, wir hatten... das ist gar nicht die MWG – Gleichung! Das ist komisch.“ (Transkription kg, S., G., S. C 43)	Die Mapaussagen entsprechen der Referenzaussage.	richtig
L2 $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	S15: Pufferkapazität sorgt für konstanten pH – Wert (ca 7,4) S16: Pufferkapazität reicht nicht mehr aus bei erhöhter Säureabgabe ins Blut	T3: „Pufferkapazität kann nicht entstehen, Pufferkapazität ist immer da. Die Pufferung entsteht.“ (Transkription kg G., R., S. C 44) T4: „Hydrogencarbonat ist der Puffer! Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ist der Pufferwirkstoff.“ „Pufferbase und Puffersäure liegen vor. HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> das sind die Pufferpartner.“ (Transkription kg, S., G., S. C 45)	In der Diskussion gelingt es den SchülerInnen Pufferkapazität von Pufferung zu unterscheiden. Pufferkapazität wird als Systemeigenschaft erfasst. Erkennt wird auch, dass der Wert der Pufferkapazität vom pH – Wert abhängt und anhand der Konzentrationen von Puffersäure und Pufferbase bestimmt werden kann..	richtig
L3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...entspricht Störung im Säure –Base Haushalt	S1: Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> . S2: Abatmen von CO <sub>2</sub> bewirkt Abnahme der Konzentration von CO <sub>2</sub> . S3: Konzentration von CO <sub>2</sub> stört die Gleichgewichtslage S5: Gleichgewichtslage (von) : CO <sub>2</sub> (g) $\rightleftharpoons$ CO <sub>2</sub> (aq) S8: Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) bewirkt Störung bei $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$	T5: „Wenn CO <sub>2</sub> verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger Hydrogencarbonationen und weniger H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> vor. Das stört die Gleichgewichtslage. Dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert.“ (Transkription kg, G., S. C 42)	Die Schüleraussagen entsprechen der Referenzaussage.	richtig
L4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.		T6: „Wir atmen CO <sub>2</sub> ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich.“ (Transkription kg, S., S. C 42)	Die Schüleraussagen entsprechen der Referenzaussage	richtig

Aussagen im Lehrermap - vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47	Kommentar	Bewertung
L5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	S6: Gleichgewichtslage (von): $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ folgt dem Le Chatelier Prinzip	T7: „Le Chatelier hat herausgefunden, dass Edukte und Produkte sich verändern, der andere Teil sich angleichen muss. Mittelafter oder so“ (Transkription kg, S., S. C 45) Die Gleichgewichtslage wird nach dem Le Chatelier Prinzip ausgeglichen.. (Transkription kg, G., S. C 45)	Die Schüleraussagen erfassen den Inhalt der Referezaussage.	richtig
L6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip			Hier fehlt eine Aussage.	falsch
L7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.			Hier fehlen Aussagen.	falsch
L8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$			Hier fehlen Aussagen	falsch
L9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	S4: Gleichgewichtslage (wird) <sup>36</sup> mathematisch beschrieben durch MWG	T8: „MWG oben Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ und $\text{H}_3\text{O}^+$ und unten Konzentration von $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ “ (Transkription ka, G., S. C 45). „Die Konstante K, die wird bestimmt durch das MWG“. (Transkription kg, R., S. C 44)	Das MWG wird als mathematisches Erklärungsmodell für die Protolyse der Kohlensäure beschrieben.	richtig

<sup>36</sup> zum besseren Leseverständnis eingefügt

Aussagen im Lehrmap - vgl. Aussagen im Lehrmap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47	Kommentar	Bewertung
L10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut		<p><b>T9:</b> „Wenn Du eine pH – Wertänderung hast, dann hat der Körper den Reflex zu hyperventilieren. Es ist so: das alles passiert danach“ (Transkription kg, G., S. C 44).</p> <p><b>T 10:</b> „Sie will doch, dass wir das machen. PH – Werterniedrigung ist zuerst da, dann wird diese ausgeglichen durch die Erhöhung der Atemfrequenz. Die Erhöhung der Atemfrequenz ist die Folge, daher zum Schluss. Der pH – Wert ist erniedrigt. Die Säureabgabe ins Blut war davor. Du hyperventilierst, weil der pH – Wert erniedrigt ist. Der pH – Wert ist erniedrigt, weil die Säureabgabe ins Blut stattfindet.“ (Transkription kg, G., S., S. C 43)</p>	Die Erhöhung der Atemfrequenz wird als Kompensationsmaßnahme des Körpers formuliert.	richtig
L11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	<b>S17:</b> Säureabgabe ins Blut bewirkt pH – Werterniedrigung		Die Aussagen sind identisch.	richtig
L12 Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ). Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ).		<b>T11:</b> „Oxoniumionen machen den pH – Wert niedriger? Die Konzentration der Oxoniumionen machen den pH – Wert niedrig.“ (Transkription kg, S., G., S. C 43)	Der Zusammenhang zwischen Oxoniumionen und pH – Wert ist korrekt erfasst.	richtig
L13 Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) wirkt ein auf CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)	<b>S10:</b> gemäß dem Gleichgewicht (:) H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	<b>T12:</b> „Was muss man machen bei der Krankheit, wo der pH – Wert fällt, war das mit dem Hydrogencarbonat?“ „Ja, Hydrogencarbonat ist der Puffer im Blut.“ „Dann weiß ich. Wenn Du Hydrogencarbonat erhöhst, warum erniedrigst Du den pH – Wert?“ „Weil die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonat reagieren“ (Transkription kg, S., G., S. C 46)	Die Filmaussage ist umfassender als die Referenzaussage. PH – Wert und Oxoniumionenkonzentration werden verwechselt.	z. T. richtig

Aussagen im Lehrermap - vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47	Kommentar	Bewertung
L14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	<b>S8:</b> Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ bewirkt Störung bei $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ <b>S9:</b> $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure <b>S10:</b> gemäß dem Gleichgewicht (:) $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$		Die Referenzaussage ist in der Schüleraussage enthalten.	richtig
L15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.		<b>T13:</b> „Hydrogencarbonat ist der Puffer! Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ . $\text{HCO}_3^-$ ist der Pufferwirkstoff.“ „Pufferbase und Puffersäure liegen vor. $\text{HCO}_3^-$ und $\text{H}_2\text{CO}_3$ das sind die Pufferpartner.“ (Transkription kg. S., G., S. C 45) „Durch die Pufferkapazität wird der ganze Fortgang in Gang gesetzt. Das ist die Pufferung: Die Säure wird neutralisiert.“ (Transkription kg. R., S. C 44)	Die Schüleraussage schließt die Referenzaussage ein.	richtig
L16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	<b>S5:</b> Gleichgewichtslage: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ folgt dem Le Chatelier Prinzip <b>S7:</b> $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ (:): durch Störung Abnahme der Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ <b>S10:</b> gemäß dem Gleichgewicht (:) $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$		Die Schüleraussage entspricht der Referenzaussage.	richtig
L17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	<b>S1:</b> Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von $\text{CO}_2$ . <b>S2:</b> Abatmen von $\text{CO}_2$ bewirkt Abnahme der Konzentration von $\text{CO}_2$ .		Die Protolyse der Kohlensäure wird korrekt formuliert.	richtig
L18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .			Schüleraussagen und Referenzaussagen sind inhaltlich gleich.	richtig

Aussagen im Lehrmap - vgl. Aussagen im Lehrmap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47	Kommentar	Bewertung
L19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	$S9: \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure <b>S11:</b> Konzentration von Kohlensäure bewirkt Abnahme der Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ <b>S12:</b> und der Konzentration von Oxoniumionen <b>S13:</b> dadurch ( <b>ergibt sich eine</b> ) pH - Werterhöhung s.o.: S9, S11, S12, S13,	<b>T14:</b> „Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten... von der Reaktionskette ist das logisch: weil weniger $\text{CO}_2$ zu einer Aufspaltung von $\text{H}_2\text{CO}_3$ führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt das auch weniger $\text{HCO}_3^-$ “ (G., S. C 42).	Die wechselseitige Beeinflussung der Gleichgewichte wird in de Schüleraussagen umfasst die Referenzaussage.	richtig
L20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.			Die wechselseitige Beeinflussung der Gleichgewichte wird in de Schüleraussagen erfasst. Die Referenzaussage.	richtig
L21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.			Hier fehlen Aussagen	falsch
L22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	<b>S18:</b> pH – Werterniedrigung bewirkt reflexartig Erhöhung der Atemfrequenz <b>S1:</b> Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von $\text{CO}_2$ .		Dass Löslichkeit und Partialdruck von $\text{CO}_2$ erhöht wird, wenn der pH – Wert sich erniedrigt , wird nicht explizit gesagt.	z.T. richtig
L23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		<b>T15:</b> „Was muss man machen bei der Krankheit, wo der pH – Wert fällt, war das mit dem Hydrogencarbonat?“ „Ja, Hydrogencarbonat ist der Puffer im Blut“. „Dann weiß ich. Wenn Du Hydrogencarbonat erhöhst, warum erniedrigst Du den pH – Wert?“ „Weil die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonat reagieren“ (Transkription kg, S., G., S. C.46)	Die Filmaussage entspricht der Referenzaussage.	richtig
L24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		<b>T18:</b> „Der pH – Wert ist niedrig, wenn Du zu viele Oxoniumionen hast, wenn das zu viel ist, brauchst Du. Liegen zuviel $\text{H}_3\text{O}^+$ vor, muss ein Medikament gegeben werden“ . (Transkription kg, G., S., S. C.46).	Die Filmaussagen zu L23 und L24 ergänzen sich und decken die Referenzaussage L24 ab.	richtig

Aussagen im Lehrmap - vgl. Aussagen im Lehrmap, S. C 53 – C 54 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 57 - C 59 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 40 – C 47 -	Kommentar	Bewertung
L25 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Gleichgewichtslage der Protolyse.	<b>S3:</b> Konzentration von CO <sub>2</sub> stört die Gleichgewichtslage	<b>T16:</b> „Wenn CO <sub>2</sub> verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger Hydrogencarbonat und weniger H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> vor. Das stört die Gleichgewichtslage, dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert“ (Transkription kg, G. S. C 42)	Die Schüleraussagen und die Referenzaussage entsprechen sich.	richtig
L26 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	<b>S18:</b> pH –Werterniedrigung bewirkt reflexartig Erhöhung der Atemfrequenz	<b>T17:</b> „Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten... von der Reaktionskette ist das logisch: weil weniger CO <sub>2</sub> zu einer Aufspaltung von H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt das auch weniger HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .“ (G., S. C 42).	Zu erwarten ist, dass den Schülern der Zusammenhang deutlich ist zwischen pH – Werterniedrigung und erhöhter Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , die letztlich zur Steigerung der Atemfrequenz führt,.	Zum Teil richtig
L27 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) wird wahrgenommen von Rezeptoren.			Hier fehlen Aussagen	falsch
L28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.			Hier fehlen Aussagen	falsch
L29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	<b>S1:</b> Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von CO <sub>2</sub> . <b>S2:</b> Abatmen von CO <sub>2</sub> bewirkt Abnahme der Konzentration von CO <sub>2</sub>		Die Aussagen in den unterschiedlichen Concept maps entsprechen sich.	richtig
<b>nicht im Lehrmap</b>				
L30	<b>S14:</b> pH – Werterrhöhung sorgt für konstanten pH – Wert ca 7,4			richtig
L31				
L32				
L33				

## Zusammenfassung der Ergebnisse in der Datenaufbereitung 2:

	Gesamtanzahl	Anzahl falscher Aussagen	Anzahl richtiger und zum Teil richtiger Aussagen
Aussagen im Referenznetz, zu denen es Schüleraussagen gibt	23	0	23
Aussagen, die nur im Referenznetz vorliegen.	6	6 (L6, L7, L8, L21, L27, L28)	0
Summe	29	6	23
<b>Häufigkeit</b>		<b>20,7%</b>	<b>79,3%</b>
Aussagen, die nur im Schülernetz vorliegen	1	0	1

### Datenaufbereitung 3 des Concept Maps kg nach inhaltlichen Kategorien

- neu nummerierte Auflistung von 20 richtigen Schüleraussagen, davon 17 Aussagen aus dem Concept Map (vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 57 ff) und 3 Filmaussagen (vgl. Transkription. S. C 40 ff) -

Zur Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte		
1.	$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ (:):durch Störung Abnahme der Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$	S7
2.	Erhöhung der Atemfrequenz bedeutet vermehrtes Abatmen von $\text{CO}_2$ .	S1
3.	Abatmen von $\text{CO}_2$ bewirkt Abnahme der Konzentration von $\text{CO}_2$ .	S2
4.	Konzentration von $\text{CO}_2$ stört die Gleichgewichtslage.	S3
5.	Gleichgewichtslage: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$	S5
6.	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH -Werterniedrigung	S17
7.	Konzentration von Kohlensäure <b>hat</b> Abnahme der Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ <b>als Ursache</b> <sup>37</sup>	S11
8.	<b>sowie Abnahme</b> <sup>38</sup> der Konzentration von Oxoniumionen (.)	S12
9.	gemäß dem Gleichgewicht $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	S10
10.	dadurch (bei Abnahme der Oxoniumionenkonzentration <sup>39</sup> ) (ergibt sich eine) pH - Werterhöhung	S13
Zur Hyperventilation		
11.	pH –Werterniedrigung bewirkt reflexartig Erhöhung der Atemfrequenz	S18
12.	Ist der pH –Wert zu niedrig, muss ein Medikament gegeben werden <sup>40</sup> . Die verstärkte Säureabgabe ins Blut ist eine Krankheit <sup>41</sup>	T18
Zur Pufferlösung und Pufferkapazität		
13.	pH – Werterhöhung sorgt für konstanten pH –Wert ca 7,4	S14
14.	Pufferkapazität reicht nicht mehr aus bei erhöhter Säureabgabe ins Blut	S16
15.	Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ bewirkt Störung bei $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ <sup>42</sup>  Die Löslichkeit von $\text{CO}_2$ beeinflusst den Wert des Quotienten $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ <sup>43</sup> .	S8, T1, T14,T5
16.	Hydrogencarbonat ist der Puffer. Die Pufferkapazität wird bestimmt durch die Konzentration der Hydrogencarbonationen und der Kohlensäurekonzentration <sup>44</sup>	T3, T4
17.	Bei der Pufferung wird die erhöhte Säureabgabe ins Blut neutralisiert <sup>45</sup> .	T13
Zum MWG und zum Le Chatelier Prinzip		
18.	Gleichgewichtslage (wird) mathematisch beschrieben durch MWG <sup>46</sup>	S4
19.	(Gleichgewichtslage): $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ folgt dem Le Chatelier Prinzip	S6
20.	Die Konstante K wird bestimmt durch das MWG <sup>47</sup>	T8

<sup>37</sup> im Vergleich zur Originalfassung des concept maps kg ergänzt durch ‚hat‘ und ergänzt durch ‚als Ursache‘(s. T6, S. C 61, T14 und T16, S. C 65 )

<sup>38</sup> im Vergleich zur Originalfassung ergänzt ‚durch sowie Abnahme‘ (s. T5, S. C 61)

<sup>39</sup> bei Abnahme der Oxoniumionenkonzentration aus Aussage 7,8,9 oben ergänzt.

<sup>40</sup> Keine Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber eine Aussage im Film (Transkription kg, S. C 46)

<sup>41</sup> Keine Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber eine Aussage im Film: „Das ist eine Krankheit. Die Säureabgabe ins Blut erniedrigt den pH –Wert“ ( Transkription kg, G. ,S. C 44)

<sup>42</sup> Originalfassung im concept map kg

<sup>43</sup> verbesserte Fassung unter Zuhilfenahme der Transkription kg

<sup>44</sup> keine Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber eine Aussage im Film.

„Hydrogencarbonat ist der Puffer. Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von  $\text{HCO}_3^-$ .  $\text{HCO}_3^-$  ist der Pufferwirkstoff“ ( Transkription kg, S., S. C 45).

„Pufferbase und Puffersäure liegen vor:  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{H}_2\text{CO}_3$  das sind die Pufferpartner“ ( Transkription kg, G., S. C 45)

<sup>45</sup> In der Originalfassung des concept maps nicht vorhanden, aber eine Aussage im Film. „Durch die Pufferkapazität wird der ganze Fortgang in Gang gesetzt. Das ist die Pufferung: Die Säure wird neutralisiert“ ( Transkription kg, R., S. C 44)

<sup>46</sup> In der Originalfassung des concept maps kg auf das Löslichkeitsgleichgewicht von Kohlenstoffdioxid bezogen.

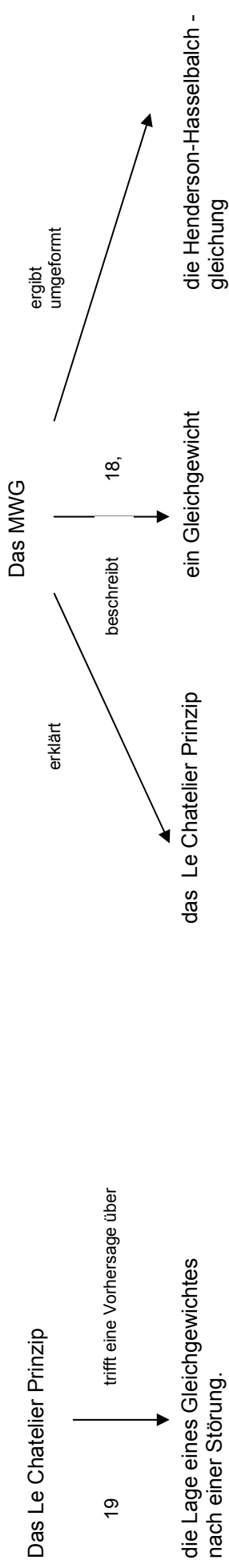
<sup>47</sup> Kein Aussage in der Originalfassung des concept maps, aber eine Aussage im Film. „Die Konstante K, die wird bestimmt durch das MWG“ ( Transkription kg, R., S. C 44)





## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schülersaussagen im Concept Mapping kg nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚MWG und Le Chatelier Prinzip‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3

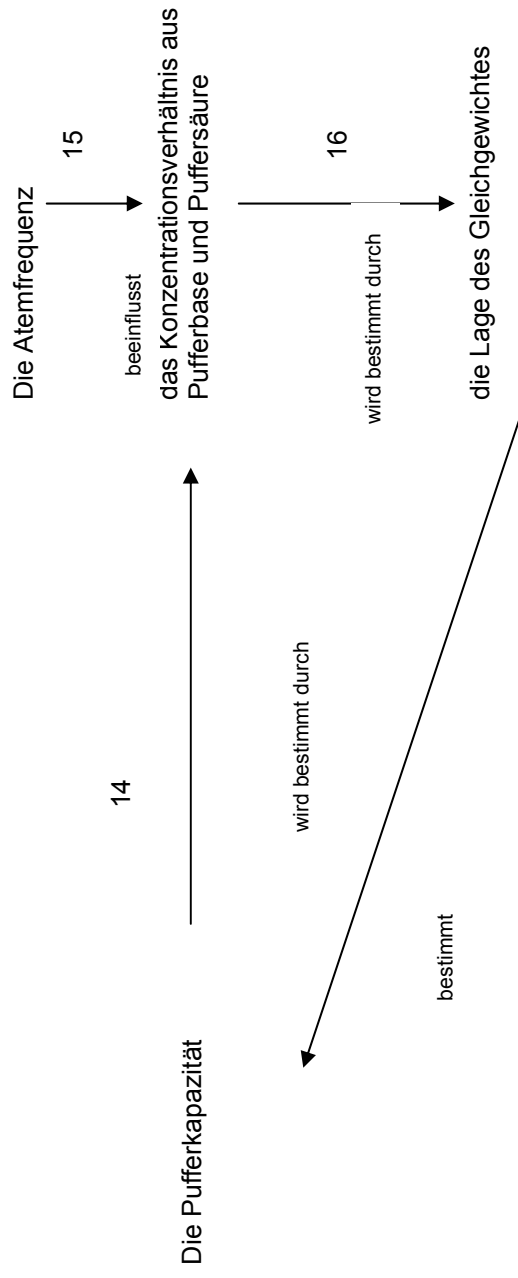


Folgende Aussage ist zusätzlich in der Datenaufbereitung 3 enthalten:

20 Die Konstante  $K$  wird bestimmt durch das MWG.

## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schüleraussagen im Concept Mapping kg nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



Folgende Aussagen sind zusätzlich in der Datenaufbereitung 3 enthalten:

13. PH –Werterhöhung sorgt für einen konstanten pH – Wert von 7,4.
14. Die Pufferkapazität reicht nicht aus bei erhöhter Säureabgabe.
17. Bei der Pufferung wird die erhöhte Säureabgabe ins Blut neutralisiert.

<b>2.3</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe bz</b>	<b>C 72</b>
•	Transkription der Filmaufnahme bz	C 73
•	Auswertung der Filmaufnahme bz	C 81
•	Beobachtungsbogen bz	C 83
•	Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C 86
•	Lehrernetz	C 88
•	Schülernetz	C 89
•	Datenaufbereitung 1: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung der Aussagen	C 90
•	Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Schülernetz	C 95
•	Datenaufbereitung 3: Sortierung der Aussagen nach inhaltlichen Katgorien	C 101
•	Datenaufbereitung 4: Flussdiagramme nach inhaltlichen Kategorien Transkription der Filmaufnahme	C 102

## Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum bz

-B., I., Lr., L., Frau A. -

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
1:38	I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Atemfrequenz</li> <li>• Pufferkapazität</li> <li>• pH –Werterniedrigung</li> <li>• MWG</li> <li>• Gleichgewichtslage</li> <li>• Säureabgabe ins Blut</li> <li>• Löslichkeit von CO<sub>2</sub></li> <li>• Gleichgewichtskram</li> <li>• Le Chatelier Prinzip</li> <li>• Konzentration von Hydrogencarbonat</li> </ul>	
2:05	Lr.	Was war das noch mal beim Untertauchen, wurde der pH – Wert höher?.	
2:23	B.	Dann ändert sich das Gleichgewicht in Richtung Carbonat, - Hydrogencarbonat.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> nimmt mit zunehmender Wassertiefe und damit mit zunehmenden Druck zu.
	Zwischenruf:	mehr Kohlensäure	
	B.	Der pH – Wert ist gefallen, weil.....	
	Lr.	pH – Werterniedrigung, weiter unten.	
2:36	L.	Aber der Instinkt sinkt doch. Dadurch wird die Säure...die Konzentration der Säureabgabe..	Instinkt: unbewusst gesteuerte Änderung der Atemfrequenz?
	Lr.	Wie rum denn?	
	Lr.	Die Konzentration von Hydrogencarbonat sinkt.	
	B.	Die Konzentration der Säure bleibt gleich.	
	Lr.	...das steigt, das....?	
3:04	B.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ist druckbedingt.	Gesetz von Henry erkannt
	Lr.	Druck gibt es hier nicht.	
	I.	Schreiben wir Druck auf.	
	L.	Le Chatelier Prinzip, war das nicht das Gleichgewicht, gleiche Dingen raus wie rein?	
	B.	Ja, genau, gehört zur Gleichgewichtslage.	
	Lr.	Pufferkapazität, Hydrogencarbonat war das nicht die Pufferkapazität?	
3:47	B.	Klar, das hat auch eine Pufferkapazität, ich weiß nicht so genau...	
	L.	Erhöhung der Atemfrequenz	
	Lr.	Was ist noch mal Le Chatelier Prinzip?	
	L. u.a.	akustisch nicht zu verstehen	
	Lr.	Also hat das mit der Gleichgewichtslage und dem MWG zu tun.	
	L.	Erhöhung der Atemfrequenz, ist doch, damit der Säuregehalt sinkt, nee steigt?	
	Zwischenruf	steigt	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
4:27	B.	Die Höhe der Atemfrequenz ist, damit er sinkt, CO <sub>2</sub> wird abgeatmet und das Gleichgewicht geht wieder in Richtung von CO <sub>2</sub> .	Wenn die Gleichgewichtslage sich zugunsten von CO <sub>2</sub> verändert, muss der pH – Wert steigen, .da Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen reagieren.
4:45	Lr., B., I.	Lasst und mal die Gleichungen aufschreiben, wie ging das noch mal? CO <sub>2</sub> und H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O - zwei oder einfach ?- wird zu H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ;	
	L.	Gleichgewicht!	Hinweis auf Gleichgewichtspfeil
	Lr.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> und H <sub>2</sub> O wird zu?	
5:26	L.	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> und HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	
	gemeinsam entwickelt	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	
	B.	Das ganz geht noch einen Schritt weiter.	
	I.	Zeig mal, da stimmt doch was nicht, doch es stimmt.	
5:53	L.	Das sinkt, das steigt, dann verschiebt sich doch das Gleichgewicht nach da. Eigentlich müsste doch die Konzentration von Hydrogencarbonat sinken, d.h.	
6:14	I.	Du hast mehr H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , der Säuregehalt steigt.	
6:21	Lr.	Der pH – Wert erniedrigt sich.	
	B.	CO <sub>2</sub> :Das ist doch das Produkt.	
6:38	Lr.	Hier haben wir es doch, ist das das MWG? auch Werte	Hinweis auf Karte mit $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
		akustisch schwer verständlich	
6:55	Lr.	Lage ,o.k., noch irgendwelche anderen Wörter?	gemeint: Gleichgewichtslage
	Lr.	Wir haben noch gar nicht Hyperventilieren .....auf meinem Zettel, vielleicht gehen wir davon aus?	
7:19	L.	Nee, das ist eine Folge.	
	Lr.	Kommt darauf an, ob man es extra macht.	
	I.	mmm, wieso? Ach so!	
7:40	I.	Man könnte es in einer Reihe machen mit einem großen Pfeil zurück.	,es' auf vom Zuschauer nicht zu identifizierende Karten bezogen
	L.	Ich würde es eher als Folge machen.	
7:56	Frau A.:	Schafft Ihr das, dass Ihr das Bild so aufbaut, dass man es von hier lesen kann?	
	alle	Wir machen es zum Schluss.	
8:11	B.	Wir können noch die Rezeptoren nehmen, die den pH –Wert im Blut wahrnehmen.	
	I.	Wir können mit dem Druck anfangen und der Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das ist im Prinzip die Ursache.	
8:36	Lr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Druck,</li> <li>• Löslichkeit von CO<sub>2</sub>,</li> <li>• Konzentration von Hydrogencarbonat ändert sich, erhöht sich,</li> <li>• Säureabgabe ins Blut,</li> <li>• Gleichgewichtslage ändert sich</li> <li>• pH –Wert erniedrigt sich, erhöht sich?</li> </ul>	Lr. legt Karten.
	L.	Die Konzentration von Hydrogencarbonat, .... der pH –Wert ist nur...	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
9:29	Lr.	Die Pufferkapazität hat etwas hiermit zu tun. Erhöhung der Atemfrequenz zum Schluss!	
	I.	eher Folge	
9:50	B.	Man könnte es so machen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Säureabgabe ins Blut,</li> <li>• Gleichgewichtslage verändert sich,</li> <li>• zu den Edukten verschoben</li> <li>• und... das da.</li> </ul>	
10:10	Lr.	Erhöhung der Atemfrequenz...	
	Lr.	.....das probiert das Gleichgewicht auszugleichen.	,das': Hydrogencarbonat
	L.	Eher so, Gleichgewichtslage getrennt...	
10:36	Lr.	O.k, lass uns noch mal ein paar andere Begriffe aufdecken.	
	Lr.	Noch irgendwelche Gesetze? Löslichkeit von CO <sub>2</sub> hat etwas mit dem Druck zu tun. - Druckgesetz	
	B.	p v, .....kann man nicht.....	gemeint: allgemeine Gasgleichung: p•v = const bzw. p•v = n•R•T
11:21	Lr.	P = p • Wasser.....	gemeint: Schweredruck des Wassers, der sich wie folgt berechnen lässt: p= h•ρ•g ρ: Dichte des Wassers: 999,1 $\frac{kg}{m^3}$ bei 15°C g: Erdbeschleunigung: 9,81 $\frac{m}{s^2}$
	B.	Du meinst, pro 10 m erhöht sich der Druck ?	
	Lr.	Ja, genau p•v, Ich weiß nicht..	
12:06	B.	Ich weiß nicht genau, die Gasgesetze, die hatten wir in diesem Zusammenhang nicht.	
12:40-15:32	gemeinsam	Gemeinsam erstelltes Photo mit Hindernissen	
	I.	CO <sub>2</sub> wird mehr.	I. meint: CO <sub>2</sub> - Abgabe ins Blut und nicht Abgabe aus der Lunge
	Lr.	Der pH – Wert wird niedriger.	
	L.	Wollen wir das nicht auch noch aufschreiben, dass sich das erhöht?	
		Steht das nicht da?	
	Lr.	Erhöht sich, meine ich.	
	L.	Die Konzentration von Hydrogencarbonat erhöht sich, das ist das wichtige, dass sich das erhöht.	
	Lr.	Mehr H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ?	
16:05	L.	Oxoniumionen	
		Das ist auch was, was mit dem MWG zu tun hat.	
	B.	MWG, wohin? Die Gleichgewichtslage wird ausgedrückt durch das MWG.	
16:30	I.	Das da, das da, das hat auch was mit dem MWG zu tun.	Das: Hinweis auf Karte mit $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$
	B.	Pufferkapazität	
17:02	L.	Pufferkapazität hängt damit zusammen, dass ein Gleichgewicht vorhanden ist.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
17:11	I. zu L.	Irgendwie muss dieses MWG – Kram nach da vorn, das hängt irgendwie mit den Konzentrationen zusammen.	Hinweis auf Karte mit $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
17:45	Lr.	Da gab es doch noch so eine Konstante K, war das nicht K mal Höhe mal Druck?	
	L.	Das weiß ich nicht mehr, hängt doch mit dem MWG zusammen.	
18:17	Zu I.	Sie meint im Prinzip die Konstante vom MWG.	
18:21	Lr.	Henry Konstante	Lr. vermischt Henrysches Gesetz, Schweredruck des Wassers und Massenwirkungsgesetz.
	L.	Ja, das ist diese Gaskonstante!	
18:47	B.	Wie wollen wir das unterbringen, die .. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyperventilation durch Erhöhung des Säuregehaltes;</li> <li>• dann haben wir noch den Taucher, der vor dem Tauchgang hyperventiliert.</li> </ul>	
		Zwei Farben, verschiedene Richtungen	Im Gespräch mit Gruppe am 6.6.01 ergänzt B.: Rot entspricht einer erhöhten Atemfrequenz mit niedrigem CO <sub>2</sub> –Partialdruck.
	I.	Mehr Mitte?	
<b>Be-ginn</b>	Lr.	Erhöhung der Atemfrequenz ändert einerseits das Gleichgewicht und das mit CO <sub>2</sub> . Tun wir das hierher.	
19:47	I.	Das eine ist eine Folge des anderen.	
20:02	I.	Was ist das mit der Formel? pH – Werterniedrigung ist die direkte Ursache der Atemfrequenz. Für die pH – Werterniedrigung brauchen wir die Säureabgabe ins Blut.	als Relation im Map nicht enthalten
20:16	B.	Konzentration von Oxoniumionen wird bedingt durch Säureabgabe. Säureabgabe wird nicht bedingt durch die Konzentration von Oxoniumionen.	
20:39	Lr.	Pufferkapazität gehört zu diesen zwei, war das nicht so?.	
	I.	Das verstehe ich nicht so.	
	Lr.	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> und HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> arbeiten zusammen.	
20:54	I.	Ja, schon! Aber da machen wir etwas über die Erhöhung, die sich noch erhöht. Da ist schon nicht mehr gepuffert, sonst würde es sich nicht erhöhen.	
21:36	Lr.	Es kann nicht hier stehen.	
	L.	Das ist was ganz Generelles, dass Säure ins Blut abgegeben wird.	L. stellt klar, dass sich ‚Säureabgabe ins Blut‘ nicht auf den Spezialfall einer Stoffwechsellanomalie allein bezieht.
	B.	Wo kommt das Le Chatelier Prinzip hin?	
	Lr.	War das nicht, hatte das nicht etwas mit dem Gleichgewicht zu tun?	
	I.	Es hat alles mit dem Gleichgewicht zu tun.	



Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	Lr.	Wo doch mehr rein geht als raus geht, also kann es doch nicht hier stehen.	
21:50	I.	Was reingeht und rausgeht ist doch das CO <sub>2</sub> .	
	Lr.	Hier wir doch gerade mehr....	
	L.	Das ist doch was ganz Generelles, dass Säure ins Blut abgegeben wird.	
	I.	Das hat doch was mit der Löslichkeit von CO <sub>2</sub> zu tun.	
22:21	B.	Le Chatelier Prinzip ist, dass gleich viel, raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> zunimmt, ist das nicht mehr der Fall, da geht mehr rein wie raus.	Le Chatelier Prinzip: Jede Störung eines Gleichgewichtes durch Änderung äußerer Bedingungen führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichtes, die die Störung entgegenwirkt. B. verwechselt das Le Chatelier Prinzip mit einem Fließgleichgewicht.
	L.	Le Chatelier Prinzip.....?	
24:10	Lr.	Vielleicht können wir nach Erhöhung schreiben, dass sich dann ein Gleichgewicht gebildet hat.	
24:16	I., L.	Der Körper reagiert auf den erniedrigten pH – Wert, damit, dass er die Atemfrequenz erhöht, um den CO <sub>2</sub> – Gehalt zu senken.	
24:25	Lr.	Die Folge ist das Gleichgewicht.	Lr. ist der dynamische Charakter eines Gleichgewichtes nicht deutlich. Veränderung der Gleichgewichtsbedingungen, und Neueinstellung des Gleichgewichtes mit veränderten Gleichgewichtskonzentrationen.
	I.	Du hast ein Gleichgewicht, nur damit, dass Du CO <sub>2</sub> entziehst, änderst Du das Gleichgewicht.	
24:34	Lr.	Wir kommen zum Schluss dahin, dass es eins gibt.	
24:46	I.	Du musst vorher ein Gleichgewicht haben, damit die Säureabgabe im Blut was ändert.	
24:58	Lr.	Zum Schluss kommt doch wieder in Gleichgewicht.	
	I.	Zum Schluss lebt der Mensch, das ist genau so eine Folgerung!	
	Lr.	Zum Schluss kommt das Gleichgewicht, zum Schluss können wir das einbringen mit dem hier..	
25:07 Ende	B.	Es ist die Frage, ob wir das Gleichgewicht als Folge oder als Veränderung der Gleichgewichtslage auffassen.	B. hat das Problem von Lr. auf den Punkt gebracht.
25:46	L.	Wir müssen mit etwas anfangen. Pfeile mit Blau oder Rot?	Aktivität im Legen der Karten und der Pfeilbeschriftungen
	Zwischenruf	Rot	
	L.	Pufferkapazität	
26:11	B.	Dazwischen: pH – Werterniedrigung kommt, wenn die Pufferkapazität zu ungünstig ist.	
	I.	Es ist schon netzartig ausformuliert.	
	L.	Das erhöht sich, das gibt ab; das ..(akustisch nicht zu verstehen). Erhöhter Druck..	
27:48	I.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> hängt mit dem Druck zusammen.	
27:58	Lr.	Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von CO <sub>2</sub> .	Gesetz von Henry

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
28:14	Frau A.	Es liegen mehrere Unterlagen zum Ausprobieren vor.	
29:20	Lr.	Erhöhter Druck ändert die Gleichgewichtslage.	Wesentliche Aussagen werden gemeinsam gefunden.
30:06		in Richtung (zugunsten) der Edukte.	
		Lass uns das davor legen, MWG darüberlegen.	
31:51		Was gibt MWG an?	
		(akustisch nicht zu verstehen)	
		Bestimmung der Gleichgewichtskonstante	▼
32:40-37:48	B., Lr.	Wohin damit? Henderson - Hasselbalch mit pH und pK; MWG beschreibt die Lage. Mit Henderson - Hasselbalch kann man den pH – Wert ausrechnen.	Zusammenfassung des Zweiergesprächs zwischen B. und Lr.. Im wesentlichen sind es Erklärungen von B.
32:40-37:48	I., L.	I. und L. formulieren das MWG des Kohlensäuregleichgewichtes in die Henderson – Hasselbalchgleichung um. Sie freuen sich über ihre gelungene Umformung. ‚Holla, wir haben’s!‘	
39:29	B.	Komisch ist, dass Edukte Säureabgabe ins Blut sind...Pfeil nach oben.	
	Lr.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt ?	
	I.	Konzentrationen der Edukte?	
40:45	B.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und erhöhte Oxoniumionenkonzentration.	
41:13	I.	Das ist die Säureabgabe ins Blut.	Oxoniumionen: das ist die Säureabgabe ins Blut.
41:52	B.	Säureabgabe bewirkt pH – Werterniedrigung.	
	Lr.	Das bedeutet, keine Pufferkapazität mehr.	
	Lr.	Säureabgabe ins Blut führt zur pH – Werterniedrigung, d.h. keine Pufferkapazität mehr.	
	I.	andersherum	
	Lr.	Säureabgabe ins Blut....	
42:32	I., L.	Pufferkapazität lässt nach, ist ausgeschöpft.	
42:50	B.	Pufferkapazität nicht bei einer Säureabgabe allgemein, sondern bei einer bestimmten Menge an Säureabgabe.	bezogen auf: Pufferkapazität lässt nach. Quantitatives Maß der Pufferkapazität erfasst.
	L.	Erhöhte Konzentration von Oxoniumionen, erhöhte Säureabgabe ins Blut, oder ?	
43:23	Lr.	Was ist Puffer?	
	I.	Das ist nicht der Puffer als solcher. Es sind die gleichen Stoffe, wie ein Puffer ist.	
43:58	Frau A.	Neue Zeitangabe: Fertigstellung in 10 Minuten	
		Suche nach Begriffen für den Zusammenhang zwischen Pufferkapazität und Säureabgabe ins Blut	Gemeinsame Suche
	Lr.	Puffer ist ausgenutzt, dann erfolgt die pH – Werterniedrigung.	
46:23	I.	puffert ab....., überlastet, 2 Pfeile in unterschiedlicher Richtung	gemeint ist: Pufferkapazität puffert Säureabgabe ins Blut ab und Säureabgabe ins Blut überlastet die Pufferkapazität.
	L.	Die Pufferkapazität sinkt nicht.	
	I.	puffert ab, schöpft aus	
	L.	Überlastet, davon abgesehen zur pH – Werterniedrigung führt zu	gemeint ist: Säureabgabe ins Blut führt zur pH -werterniedrigung
49:05	B.	Rezeptoren	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	Lr.	Was waren Rezeptoren?	
49:22	B.	Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH – Wert und für CO <sub>2</sub> .	
50:57	L.	Le Chatelier Prinzip nach oben, ganz an den Anfang	
		Grundsachen	
		Wenn erhöhter Druck, dann ändert sich das Le Chatelier Prinzip?	
51:12	I.	Das Le Chatelier Prinzip wird nicht geändert.	
		Le Chatelier Prinzip vorher..	
	I.	Es ist nicht das MWG.	gemeint ist die Karte mit $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$
52:09	I.	MWG beschreibt die Gleichgewichtslage. Aus dem MWG ergibt sich die Henderson-Hasselbalchgleichung.	Korrekt erfasst
	L., I.	MWG beschreibt die Verschiebung der Gleichgewichtslage.	
53:14		Photo	
	Lr.	MWG ergibt sich aus..	
	I.	Henderson – Hasselbalch - Gleichung ergibt...	
	I.	Le Chatelier?	
	Lr.	Ausgangslage, darüber.	
55:01	B.	Le Chatelier Prinzip wird durch den erhöhten Druck außer Kraft gesetzt.	
	I.	Erhöhter Druck setzt Le Chatelier Prinzip außer Kraft.	‚setzt außer Kraft‘ als Pfeilbeschriftung
	I.	Ein Pfeil von Le Chatelier Prinzip zur Löslichkeit von CO <sub>2</sub> .	Im map nicht vorhanden
55:41	Lr.	Haben wir noch etwas?	
55:58	B.	Erhöhte Atemfrequenz.	
56:30	I.	Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> – Gehalt im Blut, senkt Säureabgabe ins Blut.	‚senkt‘ als Pfeilbeschriftung: die Relation Erhöhung der Atemfrequenz senkt Säureabgabe ins Blut fehlt im map.
		Blaue Schrift	
57:12	B.	Rezeptoren sind nicht verantwortlich für den Atemreiz.	‚bewirken nicht‘ als Pfeilbeschriftung im map
57:32		Hinweis von Frau A.: Aus Zeitgründen keine Neuerstellung des maps zur Übersichtlichkeit	
57:59	I.	Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> .	
	58:19	Die Säureabgabe wird geringer.	Relation im map nicht vorhanden
		Die Gleichgewichtslage verschiebt sich.	Relation im map nicht vorhanden
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt die Konzentration von Hydrogencarbonat,	‚verringert‘ als Pfeilbeschriftung im map zwischen CO <sub>2</sub> – Gehalt und Konzentration von Hydrogencarbonat
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt Konzentration von Oxoniumionen,	‚senkt‘ als Pfeilbeschriftung im map zwischen CO <sub>2</sub> – gehalt und Oxoniumionen
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt Säureabgabe, senkt Atemreiz.	Relationen im map nicht vorhanden

<b>Zeit</b>	<b>Name</b>	<b>Aussagen</b>	<b>Anmerkungen</b>
1:17	I.	Denkfehler: hier steht pH –Werterniedrigung !	
2:18	L.	pH – Werterhöhung wird von den Rezeptoren wahrgenommen, sie reagieren aber nicht.	,wird wahrgenommen von' als Pfeilbeschriftung im map zwischen pH –werterhöhung und Rezeptoren; ,bewirken nicht' als Pfeilbeschriftung im map zwischen Rezeptoren und Atemreiz.

## Auswertung der Filmaufnahme von der Gruppe bz – I., B., Lr., L., Frau A. –

### Zur Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung zeitgleich vorliegende Gleichgewichte

Die Dynamik des Kohlensäuregleichgewichtes wird letztendlich durchdacht im Map formuliert. I. und B. haben den dazu nötigen Denkprozess deutlich gesteuert. B. kann schon zu Beginn folgende Zusammenhänge einbringen:

- Lr.: *Was war noch mal beim Untertauchen, wurde derp H-Wert höher?*  
B.: *Beim Untertauchen ändert sich das Kohlensäuregleichgewicht in Richtung von Hydrogencarbonat und Carbonat (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 73).*

Er erinnert sich, dass die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  mit zunehmender Wassertiefe und damit mit zunehmenden Druck zunimmt, also die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  druckabhängig ist, und formuliert den Einfluss der zunehmenden Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  auf das Kohlensäuregleichgewicht. Wenig später bestätigt er, dass damit der Säuregehalt steigt und macht sofort auf die Kompensationswirkung der Atemfrequenzerhöhung aufmerksam:

- B.: *Die Erhöhung der Atemfrequenz ist, damit der Säuregehalt sinkt,  $\text{CO}_2$  wird abgeatmet und das Gleichgewicht geht wieder in Richtung von  $\text{CO}_2$ . (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 74)*

I. und Lr. diskutieren über das dynamische Gleichgewicht. I. geht davon aus, dass das Gleichgewicht der Endzustand einer Reaktion ist. Ergänzend verdeutlicht sie, dass bei Änderung der Bedingungen, das ursprünglich vorhandene Gleichgewicht gestört wird, und sich ein neues Gleichgewicht mit veränderter Gleichgewichtslage einstellt. Lr. betont zwar mehrfach, dass sich ein Gleichgewicht einstellt, wenn beispielsweise die Atemfrequenz erhöht wird, weist aber nicht darauf hin, dass schon vor Erhöhung der Atemfrequenz ein Gleichgewicht existiert hat, allerdings ein Gleichgewicht mit anderer Gleichgewichtslage.

Dass die Veränderungen der Gleichgewichtsbedingungen zu einer Neueinstellung des Gleichgewichtes führen mit veränderten Gleichgewichtskonzentrationen, wird von Lr. trotz mehrfacher Hinweise von I. nicht angenommen. Ihr ist offensichtlich nicht klar, dass das Gleichgewicht der Endzustand einer Reaktion ist, wenn sich die Bedingungen nicht mehr ändern. B. bringt die unterschiedlichen Auffassungen auf den Punkt. Er stellt heraus, dass einerseits das Gleichgewicht als eine Folge der Parameteränderung aufgefasst werden kann, was wiederum impliziert, dass vor Änderung der Bedingungen kein Gleichgewicht vorlag. Andererseits lässt sich das Gleichgewicht deuten als Neueinstellung eines existierenden Gleichgewichtes, wobei der Anlass für die Neueinstellung die Parameteränderung ist.

- Lr.: *Vielleicht können wir nach Erhöhung schreiben, dass sich ein Gleichgewicht gebildet hat.*  
I.: *Der Körper reagiert auf den erniedrigten pH-Wert, damit, dass er die Atemfrequenz erhöht, um den  $\text{CO}_2$ -Gehalt zu senken.*  
Lr.: *Die Folge ist ein Gleichgewicht.*  
I.: *Du hast ein Gleichgewicht, nur damit, dass Du  $\text{CO}_2$  entziehst, änderst Du das Gleichgewicht.*  
Lr.: *Wir kommen zum Schluss dahin, dass es eins gibt.*  
I.: *Du musst vorher ein Gleichgewicht haben, damit die Säureabgabe im Blut was ändert.*  
Lr.: *Zum Schluss kommt doch das Gleichgewicht*  
I.: *Zum Schluss lebt der Mensch, das ist genau so eine Folgerung.*  
Lr.: *Zum Schluss kommt das Gleichgewicht, zum Schluss können wir das einbringen, mit dem hier.*  
B.: *Es ist die Frage, ob wir das Gleichgewicht als Folge oder als Veränderung der Gleichgewichtslage auffassen (Transkription der Filmaufnahme bz, S.C 77).*

### Zum Massenwirkungsgesetz und zum Le Chatelier Prinzip

Die Gruppe erinnert sich nicht nur an die Aussagen des MWG und der Henderson – Hasselbalch - Gleichung, sondern formuliert die Henderson – Hasselbalch - Gleichung als logarithmierte Form des MWG.

L. und I. formulieren das Massenwirkungsgesetz für das Kohlensäuregleichgewicht und formen den Term in die Henderson – Hasselbalch - Gleichung um. Sie benötigen dafür 5 Minuten. L. freut sich sichtbar über Ihre Leistung:

- L.: *„Holla, wir haben es geschafft“ (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 78).*

Gleichzeitig erklärt B. Lr., welche Aussage das MWG macht und welche Möglichkeiten man hat, wenn das MWG in die entsprechende Henderson – Hasselbalch - Gleichung umgeformt wird (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 78).

Der Kontext ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ ist in der Situation der map –Erstellung insbesondere bei I. und B. abrufbar.

Das Le Chatelier Prinzip wird mehrfach falsch definiert:

L.: *Le Chatelier Prinzip, was das nicht das Gleichgewicht, das gleiche Dingens raus wie rein (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 73)?*

B.: *Le Chatelier Prinzip ist, dass gleich viel raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von CO<sub>2</sub> zunimmt, ist das nicht der Fall(Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 77).*

Nur unvollständig zur Verfügung stehen als Gesetzmäßigkeiten das allgemeine Gasgesetz und die mathematische Beschreibung des Schweredruckes.

Lr.: *Noch irgendwelche Gesetze? Löslichkeit von CO<sub>2</sub> hat etwas mit dem Druck zu tun. – Druckgesetz*

B.: *p mal v.... kann man nicht..*

Lr.:  *$p = p \cdot \text{Wasser}$*

B.: *Du meinst, pro 10 m erhöht sich der Druck?*

Lr.: *Ja genau, p mal v, ich weiß nicht....*

B.: *Ich weiß nicht genau, die Gasgesetze, die hatten wir in diesem Zusammenhang nicht (Transkription bz, S. C 75).*

### Zur Pufferlösung und zur Pufferkapazität

Schwierigkeiten bereitet der Gruppe, Pufferung, Pufferkapazität, abpuffern, in einen sachlogischen Zusammenhang zu bringen. Ihnen ist nicht mehr so deutlich, dass Kennzeichen einer Pufferlösung ihre Pufferkapazität ist, wobei unter Pufferkapazität die Stoffmenge an Oxoniumionen oder Hydroxidionen gemeint ist, die eine pH – Wertänderung von 1 in einem Liter Lösung hervorruft.

Dass Hydrogencarbonationen als Pufferbase den Säureeintrag kompensieren, wird genannt. Die

Bedeutung der Quotienten auf einer der vorgegebenen Karten  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$  wird nicht erkannt,

letztlich kann die Karte nicht in einen sachlogischen Zusammenhang eingefügt werden (Transkription

bz, S. C 79). Ihre Verwendung erfolgt nach dem Prinzip Versuch und Irrtum. Erwartet war, dass die

Güte der Pufferkapazität bestimmt wird durch den Konzentrationsunterschied von Puffersäure und

Pufferbase. Ist der Konzentrationsunterschied hoch, ist die Pufferkapazität gering, ist der

Konzentrationsunterschied gering, ist die Pufferkapazität hoch. Sie ist am höchsten, wenn beide

Konzentrationen gleich sind, also wenn der pk – Wert dem pH – Wert entspricht.

L.: *Pufferkapazität hängt damit zusammen, dass ein Gleichgewicht vorhanden ist (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 75)*

I.: *Was ist das mit der Formel? PH – Werterniedrigung ist die direkte Ursache der Atemfrequenz. Für die pH – Werterniedrigung brauchen wir die Säureabgabe ins Blut.*

B.: *Konzentration von Oxoniumionen wird bedingt durch Säureabgabe. Säureabgabe wird nicht bedingt durch die Konzentration der Oxoniumionen.*

Lr.: *Pufferkapazität gehört zu diesen zwei, war das nicht so?*

I.: *Das verstehe ich nicht so.*

Lr.: *H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> und HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> arbeiten zusammen.*

I.: *Ja, schon. Aber da machen wir etwas über die Erhöhung, die sich noch erhöht. Da ist schon nicht mehr gepuffert, sonst würde es sich nicht erhöhen.(Transkription bz, S. C 76)*

B.: *Säureabgabe bewirkt pH – Werterniedrigung.*

Lr.: *Das bedeutet keine Pufferkapazität mehr.*

I.: *andersherum*

Lr.: *Säureabgabe ins Blut*

I., L.: *Pufferkapazität lässt nach, ist ausgeschöpft.*

B.: *Pufferkapazität nicht bei einer Säureabgabe allgemein, sondern bei einer bestimmten Menge an Säureabgabe(Transkription der Filmaufnahme bz, S. C 78).*

### Zu den Rezeptoren

B. steht Detailwissen über die Besonderheit der Rezeptoren zur Verfügung. Er unterscheidet

Chemorezeptoren, die den unterschiedlichen CO<sub>2</sub> – Gehalt wahr nehmen von Chemorezeptoren, die den pH – Wert messen (Transkription der Filmaufnahme bz, S. C79).

## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping kg

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	00:00 – 7:55	05:00 – 8:00	10:00 – 8:05	15:00 – 8:10	20:00 – 8:15	25:00 – 8:20
L.	2	3	2	3	2	2
B.	2	2	2	2	2	2
I.	2	2	2	2	1	1
Lf.	2	2	2	2	3	3
Begriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Chatelier Prinzip, Wasserphase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erstellung der Gleichung</li> <li>Hyperventilation</li> <li>Produkt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rezeptoren im Blut</li> <li>Edukt</li> <li>Druckgesetz (p.v)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oxoniumionen</li> <li>Blutpuffer</li> <li>K.h.p</li> <li>Henrysche Gaskonstante</li> </ul>	<p>Diskussion über die Anordnung der Karten</p>	<p>Diskussion über die Anordnung der Karten</p>
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> <li>gute Kooperation, Sprechanteile recht ausgeglichen</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>B. photo-graphiert</li> <li>L. denkt weiter:</li> <li>Noch nicht netzartig</li> </ul>		

**Beobachtungsbogen zum Concept Mapping bz**

**Datum: 16.03.01**

**Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)**

Zeit/min	30:00 – 8:25	35:00 – 8:30	40:00 – 8:35	45:00 – 8:40	50:00 – 8:45-	55:00 – 8:50-
L.	2	2	2	1-2	2	2-3
B.	2	2	2	2	2	2
I.	2	2	2	2-3	2	1-2
Lf.	2	2	2	2	3	2
Begriffe	Was gibt MWG an?	Hasselbatch/Henderson				
Sonstiges	Beginn der Ausführung: Pfeile usw	2 Zweiergruppen: • B. – Lr. • L. - I.				



## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping bz

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	60:00 – 8:55	65:00 – 9:00			
L.	2	Schluss			
B.	2				
I.	1-2				
Lf.	3				
Begriffe					
Sonstiges Die Gruppe weist darauf hin, dass sie fälschlicherweise im map Edukte geschrieben haben. Sie bitten darum dass der Begriff Edukte durch den Begriff Produkte ausgetauscht wird.					

## Tabellarische Auflistung der Aussagen im Lehrermap

Aussagen (L1 heißt beispielsweise Proposition 1 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L 1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ .	ja	ja
L 2 $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...	ja	ja
L 4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.	ja	ja
L 5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	ja	ja
L 6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	ja	ja
L 7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	ja
L 8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	ja	ja
L 11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 12 pH – Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	ja	ja
L 13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	ja	ja
L 17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L 19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja

<b>Aussagen</b> (L20 heißt beispielsweise Proposition 20 im Lehrermap)	<b>in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage</b>	<b>in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage</b>
L 20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L 23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L 24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L 25 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 26 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 27 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja	ja
L 28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja

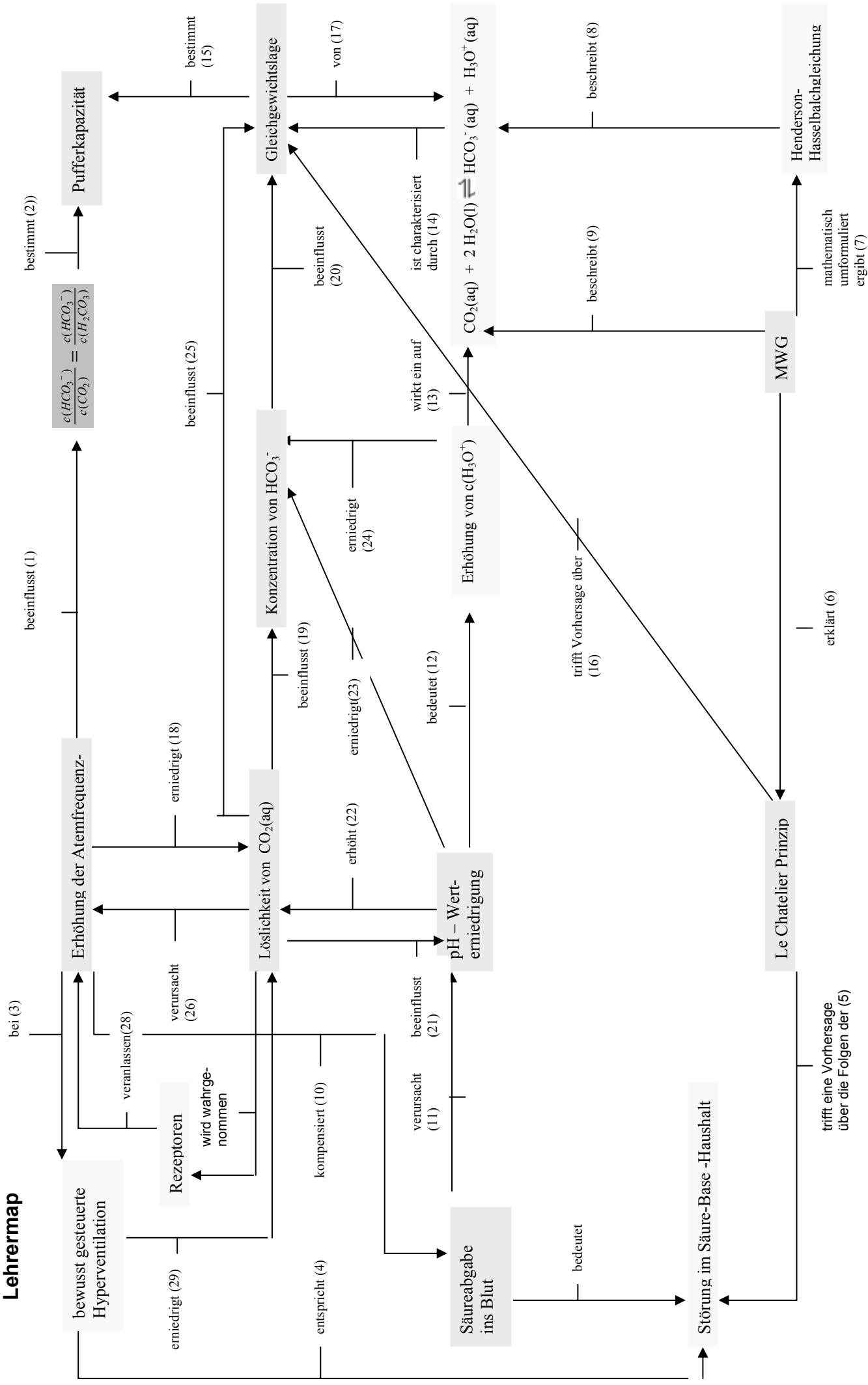
### Verwendete Begriffe und ihr Verknüpfungsgrad

<b>Begriffe</b>	<b>einfach verknüpft</b>	<b>zweifach verknüpft</b>	<b>dreifach verknüpft</b>	<b>vierfach verknüpft</b>	<b>x-fach verknüpft</b>
1. Le Chatelier Prinzip			ja		
2. MWG			ja		
3. Säureabgabe ins Blut			ja		
4. pH -werterniedrigung					ja (5)
5. Gleichgewichtslage					ja (7)
6. Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$					ja (8)
7. Konzentration von $\text{HCO}_3^-$				ja	
8. Erhöhung der Atemfrequenz					ja (6)
9. Pufferkapazität		ja			
10. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja			
11. bewusst gesteuerte Hyperventilation			ja		
12. Rezeptoren		ja			
13. Störung im Säure-Base-Haushalt			ja		
14. Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$			ja		
15. Henderson-Hasselbalchgleichung		ja			
16. $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$					ja (5)

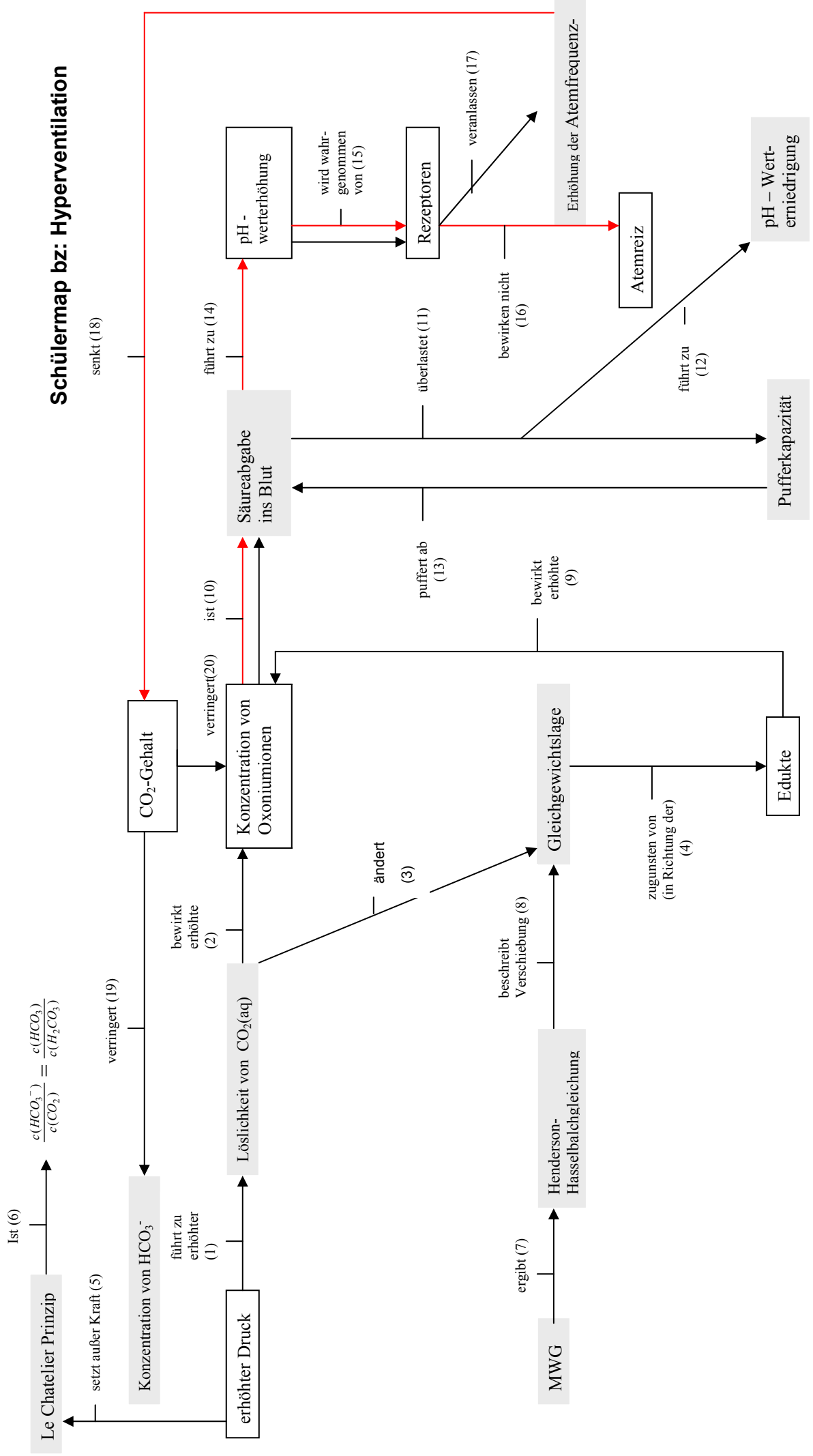
#### in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:

- $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$
- $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$   
i. oder 2. und 3. zusammengefasst:
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

# Lehrermap



# Schülermap bz: Hyperventilation



## Datenaufbereitung 1 des Concept Maps bz: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung nach vier Kategorien

Aussagen (S1 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schulissem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schulissem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
S1 Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	ja	I., Lr. und B. erinnern sich an das Gesetz von Henry. „Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> hängt mit dem Druck zusammen“ (Transkription bz. I., S. C 77) „Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von CO <sub>2</sub> “ (Transkription bz. L., S. C 77).	nein	nein Begründung: erste Aussage in der Ereigniskette	ja
S2 Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) bewirkt erhöhte Konzentration von Oxoniumionen.	ja	„Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt eine erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und eine erhöhte Oxoniumionenkonz.“ (Transkription bz. B. S. C 78)	nein	ja	ja
S3 Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (g) ändert die Gleichgewichtslage.	ja	„Erhöhter Druck ändert die Gleichgewichtslage“ (Transkription bz. L., S. C 78)	nein	ja	ja
S4 Gleichgewichtslage zugunsten der Edukte.	missverständlich Begründung: Erhöht sich die Konzentration von gelöstem CO <sub>2</sub> , verschiebt sich die Gleichgewichtslage zugunsten des gasförmigen CO <sub>2</sub> . Wird der Partialdruck erhöht, nimmt die Löslichkeit zu, und die Gleichgewichtslage ändert sich zugunsten der Produkte.	Nach der Filmaufnahme wurde von Frau A. notiert (vgl. Beobachtungsbogen bz S. C 85), dass die Gruppe am Ende nach Ablauf der Bearbeitungszeit einen Fehler in ihrem map entdeckte. Die Gruppe bittet darum, dass der Begriff ‚Edukte‘ durch den Begriff ‚Produkte‘ ausgetauscht werden soll.	nein	ja	ja

Aussagen (S5 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
S5 Erhöhter Druck setzt Le Chatelier Prinzip außer Kraft.	nein Begründung: Mit Hilfe des Le Chatelier Prinzips lassen sich Gleichgewichtskonzentrationen vorhersagen.	Das Le Chatelier Prinzip wird mehrfach falsch definiert. „Le Chatelier Prinzip, war das nicht das Gleichgewicht, das gleiche Dingers raus wie rein?“ (Transkription bz. L., S. C 73) „Le Chatelier Prinzip ist, dass gleiche viel raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> zunimmt, ist das icht der Fall“ (Transkription bz. B., S. C 77)	nein	nein Begründung: siehe fachwissenschaftliche Korrektheit für Aussage 5	nein Begründung: siehe fachwissenschaftliche Korrektheit für Aussage 6
S6 Le Chatelier Prinzip ist $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	nein Begründung: siehe fachwissenschaftliche Korrektheit von Aussage 5	Siehe oben	nein	nein Begründung: siehe fachwissenschaftliche Korrektheit für Aussage 5	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette
S7 MWG ergibt Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	Die Gruppe erinnert sich nicht nur an die Aussagen des MWG, sondern formuliert die Henderson – Hasselbalchgleichung als logarithmierte Form des MWG	nein	nein Begründung: erste Aussage in der Ereigniskette	ja
S8 Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt Verschiebung (der) Gleichgewichtslage.	ja	Siehe oben	nein	ja	nein Begründung: Die Gleichgewichtslage ist auf das Löslichkeitsgleichgewicht von CO <sub>2</sub> bezogen, was durch das Henry-Gesetz mathematisch beschrieben wird.
S9 (Die erhöhte Konzentration der Produkte) Edukte bewirkt eine erhöhte Konzentration von Oxoniumionen.	ja, wenn die Aussagen 1, 3, 4 und 9 in einer Wirkungskette gelesen werden.	Nach der Filmaufnahme wurde von Frau A. mir mitgeteilt, dass die Gruppe am Ende nach Ablauf der Bearbeitungszeit einen Fehler in ihrem map entdeckte. Die Gruppe bittet darum, dass der Begriff ‚Edukte‘ durch den Begriff ‚Produkte‘ ausgetauscht werden soll.	nein	ja	ja
S10 (Die) Konzentration von Oxoniumionen ist (eine) Säureabgabe ins Blut.	ja		nein	ja	ja

Aussagen (S5 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)	fachwissenschaftlich korrekt		Umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
S11 Säureabgabe ins Blut überlastet Pufferkapazität.	ja überlastet Puffersystem (s. Aussage 13), wenn bei einer Stoffwechsellanomalie die Säureabgabe zu hoch ist.		zum Teil	ja	nein
S12 Säureabgabe führt zur pH –Wert- erniedrigung	ja				
S13 Pufferkapazität puffert Säureabgabe ins Blut ab.	missverständlich Begründung: Pufferbasen puffern Säureabgabe ins Blut ab. Unter Pufferkapazität einer Lösung versteht man diejenige Stoffmenge an Oxoniumionen oder Hydroxidionen, die zugeführt werden muss, um den pH – Wert der Lösung um eine Einheit zu verändern.	Die Aussagen von B., L., I. und L. lassen darauf schließen, dass die Pufferkapazität als Systemeigenschaft erkannt wird, deren quantitatives Maß sich je nach Stoffmenge der ins Blut abgegebenen Säure verändert. „Pufferkapazität lässt nach, ist ausgeschöpft“ (Transkription bz. I., S. C 78) „Pufferkapazität nicht bei einer Säureabgabe allgemein, sondern bei einer bestimmten Menge an Säureabgabe“ (Transkription bz. B., S. C 78) „Der Puffer ist ausgenutzt“. (Transkription bz. L., S. C 78))	nein	im wesentlichen Begründung: Wenn die Säureabgabe ins Blut das Puffersystem überlastet, reicht die Konzentration der Pufferbase nicht aus, um die Säureabgabe ins Blut abzapuffern.	ja Begründung: Wird die Säureabgabe ins Blut abgepuffert, führt das zur pH – Werterhöhung ( siehe Aussage 14).
S14 Säureabgabe ins Blut führt zu (einer) pH – Werterhöhung.	Nein Begründung: Säureabgabe ins Blut führt zu (einer) pH – Werterniedrigung.		nein	ja wenn die korrigierte Aussage 13, Aussage 14 und Aussage 15 in einer Ereigniskette gelesen werden.	ja wenn die korrigierte Aussage 13, Aussage 14 und Aussage 15 in einer Ereigniskette gelesen werden.
S15 Säureabgabe ins Blut wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja		nein	ja	ja
S16 Rezeptoren bewirken nicht den Atemreiz.	Ja Begründung: Der Atemreiz wird vom Atemzentrum ausgelöst.		nein	ja	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette



Aussagen (S17 beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap)	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	Umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
S17 Rezeptoren veranlassen (eine ) Erhöhung der Atemfrequenz.	ja		nein	nein Begründung: Die Atemfrequenz wird dann erhöht, wenn der pH –Wert niedriger ist, als die Norm.	ja
S18 Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> – Gehalt.	ja		nein	ja	ja
S19 CO <sub>2</sub> –Gehalt verringert Konzentration von HCO <sub>3</sub>	ja		nein	ja Begründung: nur wenn der CO <sub>2</sub> – Gehalt durch verstärktes Ein –und Ausatmen gesenkt wird, verringert sich der Hydrogencarbonatgehalt. Die Hydrogencarbonationen reagieren mit den Oxoniumionen zu Wasser und Kohlensäure, die dann zerfällt.	ja
S20 CO <sub>2</sub> –Gehalt verringert Konzentration von Oxoniumionen.	ja	„Die Gleichgewichtslage verschiebt sich. Der CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt die Konzentration von Hydrogencarbonat. Der CO <sub>2</sub> – gehalt senkt die Konzentration von Oxoniumionen“ (Transkription bz. I., S. C 79)	nein	ja (siehe Begründung zu Aussage 19)	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette

### Bewertung:

Von den 20 Propositionen sind 15 richtig und fünf falsch bzw. missverständlich. In Film wird eine falsche Aussagen (S13) ergänzt. Dennoch bleibt die Aussage missverständlich. Eine zweite falsche Aussage (S4) wird von den Schülern selbst korrigiert (vgl. Kommentar zu S4 S. C 90 und Beobachtungsbogen bz S. C 85). Es zählt die im Beobachtungsbogen dokumentierte Korrektur der Schüler . Daher sind von 20 Propositionen 16 richtig und vier falsch. Der prozentuale Anteil der richtigen Aussagen beträgt 80%.

## Verwendete Begriffe und ihre Verknüpfungsgrade

Begriffe	einfach verknüpft	zweifach verknüpft (10)	dreifach verknüpft (3)	vierfach und mehr verknüpft (1)	vorgegeben (10)	selbst gewählt (9)
1. erhöhter Druck	ja					ja
2. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)			ja		ja	
3. Konzentration von Oxoniumionen			ja			ja
4. Edukte	ja					ja
5. Le Chatelier Prinzip	ja				ja	
6. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	ja				ja	
7. MWG	ja				ja	
8. Henderson-Hasselbalchgleichung	ja					ja
9. Gleichgewichtslage	ja				ja	
10. Edukte	ja					ja
11. Säureabgabe ins Blut				ja	ja	
12. pH - Werterhöhung	ja					ja
13. Rezeptoren						ja
14. Atemreiz	ja		ja			ja
15. Erhöhung der Atemfrequenz	ja				ja	
16. CO <sub>2</sub> - Gehalt	ja					ja
17. Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ja				ja	
18. Pufferkapazität	ja				ja	
19. pH -Werterniedrigung	ja				ja	

in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:	im map	im Film
	keine	nicht explizit entwickelt, CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ⇌ H <sub>2</sub> O + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
<b>zusätzliche, aufgeschriebene mathematische Bezüge</b>	keine	L. und I. formulieren das MWG für die o.g. Gleichungen und formen das MWG in die Henderson –Hasselbalch - Gleichung um (Transkription bz. S. C 78).

## Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Concept Map kg

Aussagen im Lehrernap - vgl. S. C 86 – C 87 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 90 – C93 -	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 73 – C 80 -	Kommentar	Bewertung
L 1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ .		-	Es fehlt eine Aussage.	falsch
L 2 $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	<b>S 11:</b> Säureabgabe ins Blut überlastet Pufferkapazität.		Es fehlt eine differenzierte Betrachtungsweise auf der Teilsystemebene, die die Systemeigenschaft Pufferkapazität erklärt.	zum Teil richtig
L 3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation... entspricht Störung im Säure – Base Haushalt		<b>T1:</b> „Du hast ein Gleichgewicht, nur damit, dass Du CO <sub>2</sub> entziehst, änderst Du das Gleichgewicht“ (Transkription bz. I., S. C 77)	Der Bezug zur Protolyse fehlt.	zum Teil richtig
L 4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.		<b>T1:</b> „Du hast ein Gleichgewicht, nur damit, dass Du CO <sub>2</sub> entziehst, änderst Du das Gleichgewicht“ (Transkription bz. I., S. C 77)	s.o.	zum Teil richtig
L 5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base – Haushalt.	<b>S5:</b> Erhöhter Druck setzt Le Chatelier Prinzip außer Kraft. <b>S6:</b> Le Chatelier Prinzip ist $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$	<b>T8:</b> „Le Chatelier Prinzip, war das nicht das Gleichgewicht, das gleiche Dingens raus wie rein?“ (Lena, S. C 73) „Le Chatelier Prinzip ist, dass gleiche viel raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> zunimmt, ist das nicht mehr der Fall!“ (Transkription bz. B., S. C 77)	Die Bedeutung des Le Chatelier Prinzips wird nicht erkannt.	falsch
L 6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip			Hier fehlt eine Aussage.	falsch
L 7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	<b>S7:</b> MWG ergibt Henderson-Hasselbalchgleichung	<b>T2:</b> „MWG beschreibt die Gleichgewichtslage. Aus dem MWG ergibt sich die Henderson – Hasselbalch - Gleichung“ (Transkription bz. I., S. C 79)	Die Gruppe erinnert sich nicht nur an die Aussagen des MWG, sondern formuliert die Henderson – Hasselbalchgleichung als logarithmierte Form des MWG (Transkription bz. S. C 78)	richtig
L 8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $CO_2(aq) + 2 H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$	<b>S8:</b> Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt Verschiebung (der) Gleichgewichtslage	<b>T3:</b> „Lasst uns mal die Gleichungen aufschreiben, wie ging das noch mal? CO <sub>2</sub> und H <sub>2</sub> O zwei oder einfach? Wird zu H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> und H <sub>2</sub> O wird zu HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> “ (Transkription bz. L., L., I., B., S. C 74)	L. u. I. formulieren das MWG für die Protolyse und formen das MWG in die Henderson – Hasselbalchgleichung um (Transkription bz. S. C 78)	richtig

Aussagen im Lehrmap - vgl. S. C 86 – C 87 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 90 – C93	Aussagen in der Transkription -vgl. S. C 73 – C 80 -	Kommentar	Bewertung
L 9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	<b>S7:</b> MWG ergibt Henderson-Hasselbalchgleichung <b>S8:</b> Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt Verschiebung (der) Gleichgewichtslage	<b>T4:</b> „MWG beschreibt die Verschiebung der Gleichgewichtslage“ (Transkription bz. I., S. C 79) <b>T3:</b> „Lasst uns mal die Gleichungen aufschreiben, wie ging das noch mal? $\text{CO}_2$ und $\text{H}_2\text{O}$ zwei oder einfach? Wird zu $\text{H}_2\text{CO}_3$ , $\text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{H}_2\text{O}$ wird zu $\text{HCO}_3^-$ “ (Transkription bz. L., L., I., B., S. C 74)	s.o.	richtig
L 10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut		<b>T5:</b> „Erhöhung der Atemfrequenz ist doch, damit der Säuregehalt sinkt, nee steigt“ (Transkription bz. L., S. C 73) „Die Höhe der Atemfrequenz ist, damit er sinkt, $\text{CO}_2$ wird abgeatmet und das Gleichgewicht geht wieder in Richtung von $\text{CO}_2^-$ “ (Transkription bz. B., S. C 78) „pH – Werterniedrigung ist die direkte Ursache der Atemfrequenz“ (Transkription bz. I. S. C 76) „Der Körper reagiert auf den erniedrigten pH – Wert damit, dass er die Atemfrequenz erhöht, um den $\text{CO}_2^-$ Gehalt zu senken“ (Transkription bz. I., L., S. C 77) <b>T6:</b> „Konzentration der Oxoniumionen wird bedingt durch die Säureabgabe. Säureabgabe wird nicht bedingt durch die Konzentration von Oxoniumionen“ (Transkription bz. B. S. C 76)	Wenn sich die Gleichgewichtslage zugunsten von $\text{CO}_2$ verändert, muss der pH – Wert steigen, da Oxoniumionen mit Hydrogencarbonationen reagieren. B. erkennt, dass ein verstärktes Ein – und Ausatmen die Lage des Löslichkeitsgleichgewichtes von $\text{CO}_2$ verändert, verwechset offensichtlich die Oxoniumionenkonzentration mit dem pH – Wert. Während des Concept Mappings entwickelt sich ein schlüssiger Erklärungszusammenhang, der von I. formuliert wird.	richtig
L 11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	<b>S 12:</b> Säureabgabe führt zur pH – Wert- erniedrigung		Die Schülersausage ist mit der Referenzausage identisch.	richtig
L 12 pH –Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $\alpha(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	<b>S10:</b> (Die) Konzentration von Oxoniumionen ist (eine) Säureabgabe ins Blut.	s.o.	s.o.	richtig

Aussagen im Lehrmap - vgl. S. C 86 – C 87 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 90 – C93	Aussagen in der Transkription -vgl. S. C 73 – C 80 -	Kommentar	Bewertung
L 13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$		T7: „Lasst uns mal die Gleichungen aufschreiben, wie ging das noch mal? $\text{CO}_2$ und $\text{H}_2\text{O}$ zwei oder einfach? Wird zu $\text{H}_2\text{CO}_3$ , $\text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{H}_2\text{O}$ wird zu $\text{HCO}_3^-$ “ (Transkription bz, L., L., I., B., S. C 74) „MWG beschreibt die Lage“ (Transkriptionbz, B., L., S.78)	Hier fehlt eine angemessene Aussage zur Gleichgewichtsverlagerung und zur Formulierung des Gleichgewichtes.	Zum Teil richtig
L 14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.		T7: „Lasst uns mal die Gleichungen aufschreiben, wie ging das noch mal? $\text{CO}_2$ und $\text{H}_2\text{O}$ zwei oder einfach? Wird zu $\text{H}_2\text{CO}_3$ , $\text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{H}_2\text{O}$ wird zu $\text{HCO}_3^-$ “ (Transkription bz, L., L., I., B., S. C 74) „MWG beschreibt die Lage“ (Transkriptionbz, B., L., S. C 78)	Da für das Gleichgewicht das MWG formuliert wird und das MWG nach Aussage von B. die Lage beschreibt, können Referenzaussage und Schülersaussage gleich behandelt werden.	richtig
L 15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	S 11: Säureabgabe ins Blut überlastet Pufferkapazität.		Es fehlt eine differenzierte Betrachtungsweise auf der Teilenebene, die die Systemeigenschaft Pufferkapazität erklärt.	falsch
L 16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	S5: Erhöhter Druck setzt Le Chatelier Prinzip außer Kraft. S6: Le Chatelier Prinzip ist $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$	T8: „Le Chatelier Prinzip, war das nicht das Gleichgewicht, das gleiche Dings raus wie rein?“ (Lena, S. C 73) „Le Chatelier Prinzip ist, dass gleiche viel raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von $\text{CO}_2$ zunimmt, ist das icht der Fall!“ (Transkription bz, B., S. C 77)	Das Le Chatelier Prinzip wird mehrfach falsch definiert.	falsch
L 17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$			Die Referenzaussagen L16 und L17 sind im Zusammenhang zu sehen.	falsch
L 18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	S18: Erhöhung der Atemfrequenz senkt $\text{CO}_2$ -Gehalt. S1: Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	T9: I., L. und B. erinnern sich an das Gesetz von Henry. „Die Löslichkeit von $\text{CO}_2$ hängt mit dem Druck zusammen!“ (Transkription bz, I., S. C 77) „Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von $\text{CO}_2$ “ (Transkription, L., S. C 77).	Die Aussagen entsprechen der Referenzaussage	richtig

Aussagen im Lehrermap - vgl. S. C 86 – C 87 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 90 – C93	Aussagen in der Transkription - vgl. S. C 73 – C 80 -	Kommentar	Bewertung
L 19 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	<b>S 19:</b> CO <sub>2</sub> – Gehalt verringert Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <b>S2:</b> Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) bewirkt erhöhte Konzentration von Oxoniumionen. <b>S3:</b> Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (g) ändert die Gleichgewichtslage. <b>S4:</b> Gleichgewichtslage zugunsten der Edukte ( <b>Produkte, korrigiert siehe Beobachtungsbogen</b> ) <b>S9:</b> Die erhöhte Konzentration der Produkte( <b>Edukte, korrigiert siehe Beobachtungsbogen</b> ) bewirkt eine Erhöhung von Oxoniumionen.	<b>T10:</b> „Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt eine erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und eine erhöhte Oxoniumionenkonz.“ (Transkription bz. B., S. C 78)	Die Aussagen S19 und S2 im concept map sind widersprüchlich. Die Aussage im Film bezieht sich auf eine Druckerhöhung von CO <sub>2</sub> , die auch als Bedingung genannt wird	richtig
L 20 Die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> beeinflusst die Gleichgewichtslage.			Hier fehlen Aussagen.	falsch
L 21 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die pH – Werterniedrigung.		<b>T11:</b> „Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und erhöhte Oxoniumionenkonzentration“ (Transkription bz., B., S. C 78)	Die Filmaussage umfasst die Referenzaussage.	richtig
L 22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	<b>S 17:</b> Rezeptoren veranlassen (eine ) Erhöhung der Atemfrequenz.	<b>T12:</b> „pH – Wert-Erniedrigung ist die direkte Ursache der Atemfrequenz. Für die pH – Werterniedrigung brauchen wir die Säureabgabe ins Blut“ (Transkription, I. S. C 76) <b>T13:</b> „Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH – Wert und für CO <sub>2</sub> .“ (Transkription bz., B., S. C 79)	Aus den Filmaussagen T12 und T13 sowie die Mapaussage S17 lässt sich die Referenzaussage erschließen.	richtig
L 23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .			Hier fehlen Aussagen.	falsch
L 24 Die Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	<b>S13:</b> Pufferkapazität puffert Säureabgabe ins Blut ab		Auf eine adäquate Erklärung für die Verlagerung des Protolysegleichgewichtes auf der Teilenebene wird nicht zurückgegriffen.	falsch
L 25 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Gleichgewichtslage der Protolyse.		<b>T11:</b> „Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und erhöhte Oxoniumionenkonzentration“ (Transkription bz., B., S. C 78)	Die Schüleraussage entspricht der Referenzaussage.	richtig

Aussagen im Lehrermap - vgl. S. C 86 – C 87 -	Aussagen im Concept map - vgl. Datenaufbereitung 1 S. C 90 – C93	Aussagen in der Transkription -vgl. S. C 73 – C 80 -	Kommentar	Bewertung
L 26 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.		<b>T12:</b> „pH – Werterniedrigung ist die direkte Ursache der Atemfrequenz. Für die pH – Werterniedrigung brauchen wir die Säureabgabe ins Blut“ (Transkription, I. S. C 76)	Aus den Filmaussagen lässt sich z.T. die Referenzaussage erschließen.	z. T. richtig
L 27 Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) wird wahrgenommen von Rezeptoren.		<b>T13:</b> „Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH – Wert und für CO <sub>2</sub> .“ (Transkription bz., B., S. C 79)	Die Aussage im Film entspricht der Referenzaussage.	richtig
L 28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	<b>S 17:</b> Rezeptoren veranlassen (eine ) Erhöhung der Atemfrequenz.		Die Aussage im Film entspricht der Referenzaussage.	richtig
L 29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).		<b>T14:</b> „Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> – Gehalt im Blut, senkt Säureabgabe ins Blut“ (Transkription bz., I., S. C 79)	Die Aussage im Film entspricht der Referenzaussage.	richtig
L 30 <b>nicht im Lehrermap</b>				
L 31	<b>S16:</b> Rezeptoren bewirken nicht den Atemreiz		Der Atemreiz wird vom Atemzentrum ausgelöst.	richtig
L 32	<b>S20:</b> Säureabgabe ins Blut wird wahrgenommen von Rezeptoren.		Es gibt pH –empfindliche Chemorezeptoren.	richtig
L 33	<b>S 20:</b> CO <sub>2</sub> –Gehalt verringert Konzentration von Oxoniumionen	<b>T15:</b> „Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> ...Die Gleichgewichtslage verschiebt sich. CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt die Konzentration von Hydrogencarbonat. CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt die Konzentration von Oxoniumionen...“ (Transkription bz., I. S. C 79-80)		richtig
L 34	<b>S14:</b> Säureabgabe ins Blut führt zu (einer) pH –Werterniedrigung.			falsch

### Zusammenfassung der Ergebnisse in der Datenaufbereitung 2:

	Gesamtanzahl	Anzahl falscher Aussagen	Anzahl richtiger und zum Teil richtiger Aussagen
Aussagen im Referenznetz, zu denen es Schülersaussagen gibt	24	4	20
Aussagen, die nur im Referenznetz vorliegen.	5	5	0
Summe	29	9	20
<b>Häufigkeit</b>		<b>31%</b>	<b>69%</b>
Aussagen, die nur im Schülernetz vorliegen	4	1	3



### Datenaufbereitung 3 des Concept Maps bz nach inhaltlichen Kategorien

- neu nummerierte Auflistung von 16 richtigen Schüleraussagen, davon 15 Aussagen aus dem Concept Map (vgl. Datenaufbereitung 1 S. C. 90 ff) und eine Filmaussage (vgl. Transkription. S. C 73 ff) -

<b>Zur Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte</b>		<b>Nr.</b>
1.	Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	S1
2.	<b>Vermehrte</b> <sup>48</sup> Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ bewirkt erhöhte Konzentration von Oxoniumionen	S2
3.	$\text{CO}_2$ –Gehalt verringert Konzentration von Oxoniumionen <sup>49</sup> <b>Wird der <math>\text{CO}_2</math> – Gehalt reduziert, verringert sich die Konzentration der Oxoniumionen</b> <sup>50</sup> .	S20
4.	Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{g})$ ändert die Gleichgewichtslage.	S3
5.	Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{g})$ ändert Gleichgewichtslage zugunsten der Edukte <sup>51</sup> . Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{g})$ ändert Gleichgewichtslage <b>zugunsten der Produkte</b> <sup>52</sup> .	S4
6.	Säureabgabe führt zur pH –Wert- erniedrigung	S12
7.	<b>(Die)</b> Konzentration von Oxoniumionen ist <b>(eine)</b> Säureabgabe ins Blut.	S10
8.	$\text{CO}_2$ –Gehalt verringert Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ <sup>53</sup> <b>Wird der <math>\text{CO}_2</math> – Gehalt reduziert, verringert sich die Konzentration von <math>\text{HCO}_3^-</math></b> <sup>54</sup> .	S19
<b>Zur Hyperventilation</b>		
9.	Erhöhung der Atemfrequenz senkt $\text{CO}_2$ –Gehalt.	S18
10.	Säureabgabe ins Blut wird wahrgenommen von Rezeptoren.	S15
11.	Rezeptoren bewirken nicht den Atemreiz.	S16
12.	Rezeptoren veranlassen (eine ) Erhöhung der Atemfrequenz.	S17
13.	<i>Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH –Wert und für <math>\text{CO}_2</math></i> <sup>55</sup> .	T13
<b>Zur Pufferlösung und Pufferkapazität</b>		
14.	Säureabgabe ins Blut überlastet Pufferkapazität.	S11
<b>Zum MWG und zum Le Chatelier Prinzip</b>		
15.	MWG ergibt Henderson-Hasselbalchgleichung.	S7
16.	Henderson – Hasselbalchgleichung beschreibt Verschiebung <b>(der)</b> Gleichgewichtslage.	S8

<sup>48</sup> Im Vergleich zur Originalfassung des concept maps bz durch ‚vermehrte‘ ergänzt

<sup>49</sup> Originalfassung im concept map bz

<sup>50</sup> Verbesserte Fassung unter Zuhilfenahme der Transkription der Filmaufnahme bz, „Erhöhung der Atemfrequenz senkt  $\text{CO}_2$ . Die Gleichgewichtslage verschiebt sich. Der  $\text{CO}_2$  – Gehalt senkt die Konzentration von Hydrogencarbonat. Der  $\text{CO}_2$  – gehalt senkt die Konzentration von Oxoniumionen“, (Transkription bz, I., S. C 79).

<sup>51</sup> Originalfassung im concept map bz.

<sup>52</sup> Verbesserte Fassung nach Aussage von Frau Asendorf, Beobachtungsbogen S. C 77)

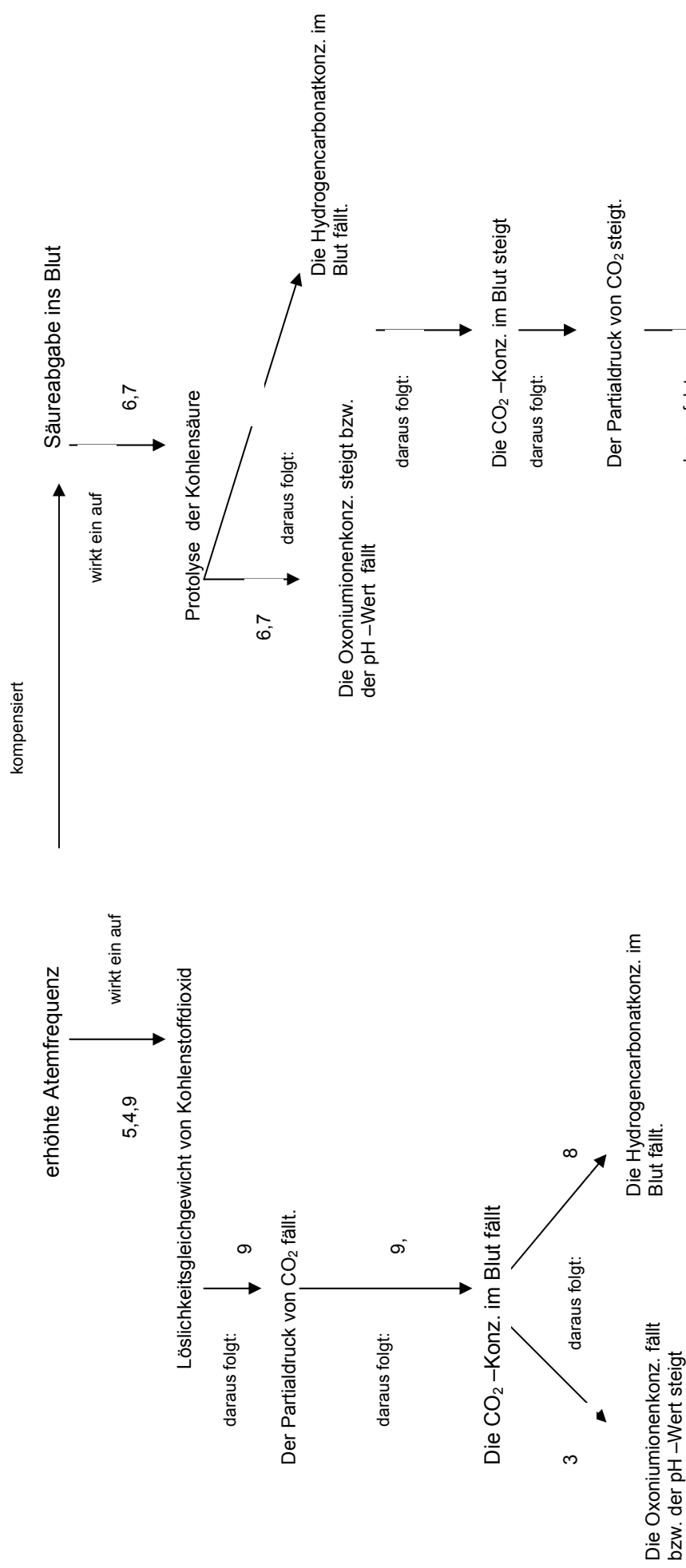
<sup>53</sup> Originalfassung im map bz

<sup>54</sup> Verbesserte Fassung unter zu Hilfenahme der Transkription bz, s.o., I. S. C79

<sup>55</sup> Die Aussage von Benjamin ist nur im Film (Transkription der Filmaufnahme bz, B., S. C 79)

## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm nach Schüleraussagen im Concept Mapping bz in der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Hyperventilation und Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3

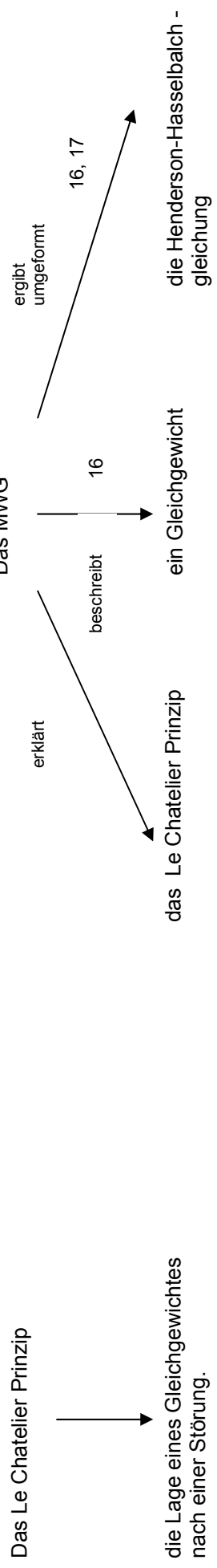


Folgende Aussage sind zusätzlich in der tabellarischen Auflistung der Aussagen enthalten:

1. Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  (aq)
2. Vermehrte Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  (aq) bewirkt eine erhöhte Konzentration von Oxoniumionen.
10. Säureabgabe ins Blut wird wahrgenommen von Rezeptoren.
11. Rezeptoren bewirken nicht den Atemreiz
13. Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH-Wert und für  $\text{CO}_2$ .

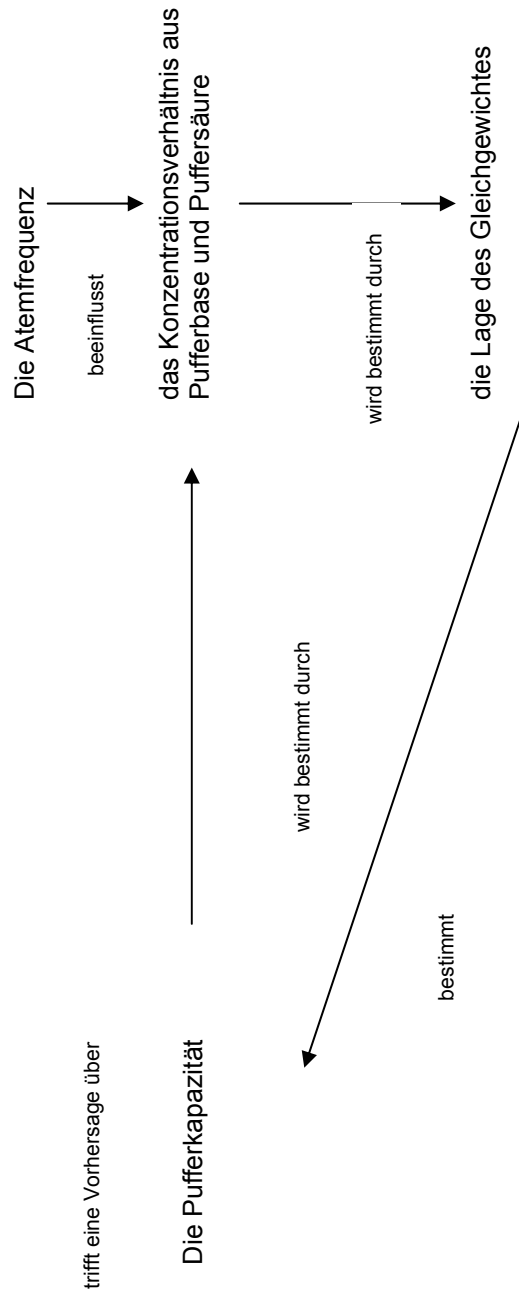
### Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schüleraussagen im Concept Mapping bz nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: , MWG und Le Chatelier Prinzip' Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schüleraussagen im Concept Mapping bznach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



Folgende Aussagen sind zusätzlich in der Datenaufbereitung 3 enthalten:

14. Säureabgabe ins Blut überlastet Pufferkapazität

<b>2.4</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe k2</b>	<b>C 105</b>
•	Transkription der Filmaufnahme k2	C 106
•	Auswertung der Filmaufnahme k2	C 121
•	Beobachtungsbogen k2	C 124
•	Auflistung der Aussagen im Lehrernetz	C 126
•	Lehrernetz	C 128
•	Schülernetz	C 129
•	Datenaufbereitung 1: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung der Aussagen	C 130
•	Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Schülernetz	C 136
•	Datenaufbereitung 3: Sortierung der Aussagen nach inhaltlichen Katgorien	C 143
•	Datenaufbereitung 4: Flussdiagramme nach inhaltlichen Kategorien	C 144

## Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum k2

- Ax., Ch., L., M., Herr HDB -

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
			SS klären Organisatorisches, lesen, verteilen Karten
3:29	M.	Moment mal, wenn man davon ausgeht, dann heißt das ja, wenn der pH – Wert erniedrigt wird, der vorher zu hoch war, dafür spricht auch die Säureabgabe ins Blut, das ist logisch.	
	Ax.	Bei der Hyperventilation, das Du wahnsinnig viel einatmest und ganz kurz wieder ausatmest und somit viel zu viel CO <sub>2</sub> im Körper drin bleibt und erniedrigt.	Widersprüchlich und falsch: Bei der Hyperventilation wird kurz ein und vermehrt ausgeatmet und das mit erhöhter Frequenz. Dabei reduziert sich der Partialdruck von CO <sub>2</sub> und der pH –Wert steigt.
	Ch.	Und mehr abatmest und mehr Sauerstoff im Blut hast.	
	Ax.	Nein, dadurch entsteht, weil der Sauerstoffmangel einsetzt, kommst Du zur Bewusstlosigkeit.	
	M.	Moment mal,	
	Ax.	Du atmest mehr ein als Du ausatmest, Du atmest mehr ein, als Du ausatmest	Siehe oben.
	M.	Und das verändert die Gleichgewichtslage.	
4:23	L.	Das ist ziemlich eindeutig.	
	Ax.	Bei der Hyperventilation geht das bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel. Es muss mehr CO <sub>2</sub> im Körper enthalten sein.	Erkannt wird, dass die Bewusstlosigkeit eine Folge des Sauerstoffmangels ist. <b>Im map</b> wird dies <b>nicht</b> dokumentiert.
	Ch.	Ja, wenn Du länger nicht eingeatmet hast. Also, wenn Du getaucht hast, und lang genug geatmet hast, dann ist durch die Hyperventilation mehr CO <sub>2</sub> im Blut. Wenn man vorher schwer geatmet hat und hat mehr O <sub>2</sub> im Blut, d.h. CO <sub>2</sub> wird abgeatmet. Du atmest CO <sub>2</sub> ab, um den Atemreiz zu unterdrücken, hast aber nicht unbedingt mehr Sauerstoff im Blut.	
5:22	M.	Ja genau. Der Atemreiz ist natürlich pH abhängig.	
	L.	Soll ich mal Atemreiz aufschreiben?	
	M.	Sollen wir es quer oder hochkant machen?	
	L.	Lass uns erst mal weitermachen.	L. schreibt.
	M.	Le Chatelier Prinzip, das war doch irgendwas mit den Partialdrucken der Gase, oder? Ich glaube so war es.	Das Gesetz von Dalton und das Le Chatelier Prinzip werden verwechselt.
	L.	Doch	
		Akustisch nicht zu verstehen.	L., Ax., Ch. im Gespräch.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
6:58	M.	Das hängt von der Konzentration von Hydrogencarbonat ab. Wenn man einen Atemreiz hat, ist es basisch, hast Du eine hohe Hydrogencarbonatkonzentration, oder nicht? Müsste der Körper, um das auszugleichen, Säure ins Blut abgeben. Das kann er nur durch das Atmen, natürlich.	Nein, immer dann, wenn das Blut alkalisch ist, wird die Atemfrequenz erniedrigt. Die Atemfrequenz erhöht sich mit zunehmendem CO <sub>2</sub> – Gehalt des Blutes. Die Hydrogencarbonatkonzentration ist kein adäquates Reizmuster für die Chemorezeptoren, die bei der Steuerung der Atemfrequenz beteiligt sind.
	Ch.	Hydrogencarbonat, die Kohlensäure gibt Hydrogencarbonat ab und Oxoniumionen und dann bleibt Hydrogencarbonat und	
	M. und Ch.	Oxoniumionen	
7:50	M.	L., sag Du was.	
		Akustisch nicht zu verstehen	
8:03	M.	Das finde ich auch. Wo ist H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ?	
	Ch.	Puffer, der CO <sub>2</sub> in Kohlensäure umwandelt im Blut. CO <sub>2</sub> wird umgewandelt.	Hydrogencarbonationen als Puffer nivellieren einen saueren Eintrag. Dabei wird CO <sub>2</sub> gebildet. Ist der Eintrag alkalisch, reagiert CO <sub>2</sub> zu Hydrogencarbonat.
	M.	Das gehört zusammen, Erhöhung der Atemfrequenz, d.h. Erniedrigung des Atemreizes.	
	Ch.	Ja.	
	M.	Das kann man dazu legen.	
8:47	L.	Du meinst, wenn Du die Atemfrequenz erhöhst, hast Du weniger Verlangen zu atmen.	
	M.	Der Atemreiz ist pH – abhängig.	
	Ch.	Du atmest CO <sub>2</sub> ab.	
	L.	Ok, dann atmet mal schnell, hallo, wenn Du schnell atmest,	
9:05	M.	dann atmest Du CO <sub>2</sub> ab	
	Ch.	Wenn Du schnell geatmet hast, Du atmest schnell und atmest CO <sub>2</sub> ab.	
	L.	Dann müssen wir das zeitlich einbringen.	
	Ch.	Erhöhung der Atemfrequenz, danach Erniedrigung des Atemreizes.	Steuerung durch negative Rückkopplung erkannt.
	M.	Sollen wir das auch so machen, pH – Werterniedrigung dahinter legen, das und dann Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ?	M. verweist auf die vorgegebenen Karten ‚pH – Werterniedrigung‘ und ‚Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ‘.
10:15	M.	Hat Löslichkeit nicht was mit dem Blutpuffer zu tun?	Puffer, Puffersystem und Pufferkapazität werden begrifflich nicht signifikant auseinandergehalten, s.S.109
	L.	Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der überall puffert.	
	M.	Das hat was mit dem Hämoglobin zu tun.	
	L.	Das ist einer.	
	Ch.	Du hast noch Hydrogencarbonatpuffer.	Es werden zwei Puffersysteme erinnert: Hydrogencarbonatpuffer und Hämoglobinpuffer. <b>Im map</b> werden die unterschiedlichen Puffersystem <b>nicht</b> dokumentiert.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	M.	Bei der Taucherkrankheit, die Beeinflussung des Gleichgewichtes und den Puffer. Da waren zweifache Puffersysteme. Darüber müssen wir das durchdenken. Das Le Chatelier Prinzip, das hängt ab von den Partialdrucken der Gase, oder nicht?	Aufzählung von Erinnerungen; Die Unterscheidung von M. ‚Beeinflussung des Gleichgewichtes‘ und ‚Puffer‘ weist darauf hin, dass M. Puffer nicht mit der Dynamik von Gleichgewichtsverlagerungen in Verbindung bringt (s. S.117).
11:17	Ch.	Bei der Taucherkrankheit, das war das unter Überdruck?	
	M.	Das hat damit nichts zu tun. Das mit der Druckkammer, das hat damit nichts zu tun. Mit der Taucherkrankheit, das war das mit dem Stickstoff, das hat damit nichts zu tun.	Hilfreiche und korrekte Klarstellung
11:42	M.	Moment mal, Ihr meint ja, wenn man hyperventiliert, dann atmet man ja das ganze CO <sub>2</sub> ab. Das ist das mit dem Gleichgewicht, wenn man CO <sub>2</sub> erniedrigt.	
11:58	Ch.	Abgabe, weniger Kohlensäure im Blut, Kohlensäure wird in CO <sub>2</sub> umgewandelt im löslichen Zustand, dadurch, dass weniger Säure im Blut ist, der pH –wert wird etwas erhöht und der Atemreiz wird unterdrückt. Also, man atmet nicht so schnell ein.	Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung der zeitgleich vorliegenden Gleichgewicht erfasst.
	M.	D.h., der Körper muss kompensieren und Säure ins Blut abgeben.	Nicht bedacht: Der Körper produziert bei der Dissimilation ständig CO <sub>2</sub>
12:22	Ch.	Warum?	
	M.	Das Blut muss einen bestimmten pH –Wert haben.	
12:35	L.	Können wir die drei Reaktionsgleichungen formulieren?	L. und Ax. versuchen in einer Zweiergruppe die Reaktionsschemata zu formulieren. M. und Ch. diskutieren weiter
	M.	Das muss einen konstanten pH –Wert haben, sonst geht es kaputt	
13:43	M.	Lass uns so eine Kette machen.	
	L.	Wir sollen eigentlich ein Netz machen. Kette ist schon ein bisschen was.	
13:49	L.	Wie gingen die drei Gleichungen?	L., Ax. und M. schreiben.
	L.	Wo ist die Mappe?	
14:29 Beginn	Ch.	„Entspricht der pH –wert des Blutes nicht mehr der Norm, da eine Stoffwechselstörung vorliegt, kann hektisches Ein – und Ausatmen die Folge sein“.	
	M.	D.h., ist eine Art Puffersystem bei der Hyperventilation, um den pH –Wert konstant zu halten.	Puffer, Puffersystem und Pufferkapazität werden begrifflich nicht signifikant auseinandergehalten s.S. 117
14:50	Ch.	Um den pH – Wert zu erhöhen. Wenn eine pH – Werterniedrigung eintritt, dann erhöht man die Atemfrequenz, um den pH –Wert zu erhöhen.	
	M.	Eigentlich wäre es logischer anders herum, weil eine Hyperventilation hat eigentlich	Konzeptionell falsch, s. S. 106
15:11	Ch.	So war das: Durch Säureabgabe ins Blut, Milchsäure, geht der pH –Wert runter, also macht man Hyperventilation, um den pH – Wert zu erhöhen. Lass uns das hinlegen.	L. und Ax. schreiben weiter. Ch. und M. bilden ebenfalls eine Zweiergruppe.



Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
15:42	Ch.	Das war das, das mit dem Sprinten, wo wir das mit der pH – Werterniedrigung hatten und Milchsäure im Blut z.B.	
16:00	M.	Dann Erhöhung der Atemfrequenz. Das hat dann die Auslösung des Atemreizes zur Folge, das hat dann durch eine geringe Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das ist dann abgeatmet.	
16:30	M.	Das müssen wir uns überlegen, wie das funktioniert, das war das mit den Partialdrücken der Gase. Wie war das noch mal? L., streng Deine Gehirnmasse an.	M. verweist auf die vorgegebene Karte ‚Le Chatelier Prinzip‘, s.S.106.
	L.	Ich kann heute nicht.	
16:49	M.	War das nicht so, dass alle bestreben gleich zu sein oder so?	L. und Ax. sind weiterhin mit den Reaktionsschemata beschäftigt.
	Ch.	Du stellst das Gleichgewicht auf? Was machst Du da eigentlich?	
	Ax.	Reaktionsgleichungen	
17:43	Ch.	CO <sub>2</sub> (gasförmig) wird zu CO <sub>2</sub> (aq) CO <sub>2</sub> (gelöst) und Wasser wird zu H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (gelöst) H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> reagiert mit Wasser zu HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> Und das reagiert noch mal HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und Wasser	Ch. formuliert spontan die Gleichgewichte. Möglicherweise kann Ch. die Auswirkungen einer Hyperventilation deshalb korrekt in einer Ereigniskette beschreiben, weil ihm die Gleichgewichte zur Verfügung stehen und er die CO <sub>2</sub> – Abgabe beim Ausatmen als Störung auffasst, die zur Gleichgewichtverlagerung der zeitgleich vorliegenden Kohlensäuregleichgewichte führt.
18:27	L.	Hey, Ch., Du bist ja gut.	
	Ch.	Zu Carbonat und H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> . Das ist das Gleichgewicht.	
	L.	Dann sind wir ja schon einen großen Schritt weiter.	
	Ch.	Ich wusste nicht, was Ihr macht.	
19:48 Ende	L.	Wir habe rumüberlegt, weil wir es nicht mehr wussten.	
18:56	Ch.	Das ist erst mal das Gleichgewicht. So, wenn wir schnell atmen, wird CO <sub>2</sub> abgeatmet. D.h., das Gleichgewicht versucht sich zum gelösten CO <sub>2</sub> , wie war das, wie sagt man, zum gelösten CO <sub>2</sub>	
	M.	Logischerweise zum gasförmigen.	
	Ch.	Wenn das gelöst wird, wird das gasförmig, tritt aus.	
	L.	Daher wird das da weniger, wenn das weniger wird, wird auch das weniger das, das weniger das, das weniger das.	L. erkennt vermutlich die Dynamik zeitgleich vorliegender Gleichgewichte. Unklar bleibt, was sie mit der Aussage ‚...weniger das, das weniger das, das weniger das‘.
	Ch.	Deshalb gehen Oxoniumionen weg, d.h., wenn wir einen niedrigen pH – Wert haben, wird schnell geatmet, damit H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> aus dem Blut herauskommt.	Siehe oben.
	M.	Das ist klar.	
	Ch.	Der pH – Wert steigt.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
19:43	M.	Deshalb hast Du zu wenig Kohlensäure im Blut.	Folgerung zeigt, dass Gleichgewichtsverlagerung erkannt wird.
	Ch.	Ja.	
	M.	Die zerfällt dann wieder in CO <sub>2</sub> , um das Gleichgewicht wieder auszugleichen.	missverständlich: Das Gleichgewicht ist einer von zwei möglichen Endzuständen. Entweder läuft eine chemische Reaktion bis zum Gleichgewicht ab oder sie ist irreversibel und verläuft vollständig. Wird CO <sub>2</sub> abgeatmet, ändern sich die Gleichgewichtskonzentrationen zeitgleich vorliegender Kohlensäuregleichgewichte. Die Konzentrationsänderungen folgen dem Le Chatelier Prinzip.
	Ch.	D.h., die Konzentration von Hydrogencarbonat, die muss wieder ausgeglichen werden. Hydrogencarbonat wird erniedrigt bei Erhöhung der Atemfrequenz.	Korrektur Einschub, s. o.
	L.	Darf ich mal, wir müssen da nun fertig stellen mit erniedrigt. Ich schreib jetzt mal erniedrigt.	L. nimmt den Stift und schreibt.
	M.	Sollen wir das so machen oder auf dem Papier?	
	L.	Eigentlich auf dem Papier. Momentan legen wir es noch hin und Du meinst so rum?	
20:21	Ch.	Nee, Löslichkeit von CO <sub>2</sub> wird erniedrigt. Durch eine hohe Atemfrequenz, dadurch wird die Konzentration von Hydrogencarbonat erniedrigt, wenn man Carbonat herauslässt.	Ch. verweist auf die Protolyse von Hydrogencarbonat, hält sie jedoch für das System Blut für irrelevant.
	M.	So hier !	Ch. steht auf.
	M.	Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das hat Auswirkungen auf den pH – Wert.	Folgerung zeigt dass die Gleichgewichtverlagerung zeitgleicher Gleichgewichte erkannt wird. Die Dokumentation <b>im Map</b> als <b>Proposition fehlt</b> .
21:02	Ch.	Was ist das hier?	Ch. verweist auf die vorgegebene Karte $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ , s. S. 114.
	M.	Moment mal, das wird weniger hier.	
	Ch.	Gelöst oder gasförmig? Wenn weniger gelöst ist,	Ch. bezieht den Aggregatzustand auf CO <sub>2</sub> .
21:35	L.	Ist weniger H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .	
	M.	Das ist logisch.	
	L.	Das haben wir genau anders herum.	L. betrachtet die Rückreaktion.
	M.	Wir können erst mal unsere drei Gleichgewichte.	
22:09	L.	Das ist doch dasselbe! HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> gleich HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . Das ist irgendwie komisch.	Erkannt wird nicht, dass der Wert des Konzentrationsverhältnisses ein Maß für die Pufferkapazität ist.
	Ch.	Wenn sich das erniedrigt, heißt es, dass das sich auch verändern muss.	
	M.	Lasst uns unsere Gleichungen als MWG schreiben, vielleicht sieht das anders aus, müsste eigentlich. Das sieht anders aus als das.	Das MWG als Beschreibung eines Gleichgewichtes ist bekannt. Eine entsprechende <b>Proposition fehlt im map</b> .
22:35	L.	Das ist mysteriös.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	M.	Ich schreibe die drei Gleichgewichte auf.	
	L.	Leg das dazu. Dies wird zu gelöstem CO <sub>2</sub> .	
23:14	Ch.	Gleichgewichtslage	
	Ax.	Le Chatelier Prinzip	
23:27	Ch.	Vielleicht fangen wir mit dem Le Chatelier Prinzip an.	
23:38	M.	Partialdrucke der Gase. Das war kein Gleichgewicht, das war nur so ein Satz. Oder war das mit der Lage des Gleichgewichtes?	Erinnerung an das Le Chatelier Prinzip
	Ch.	Warte mal, die Partialdrucke der Gase, die gelöst sind, das sich addiert zu dem Partialdruck, wenn man die Partialdrucke der gelösten Gase addiert, muss man auf den Blutdruck kommen. Die Partialdrucke der gelösten Gase, wenn man die addiert.	Ch. erinnert sich an das Gesetz von Dalton und verwechselt es mit dem Le Chatelier Prinzip
24:24	L.	Die Summe der Partialdrucke, so hieß es. Es ist egal, wie es heißt.	
	Ch.	Le Chatelier Prinzip	
	L.	Erniedrigt, sollte ich aufschreiben.	
	M.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> wird im Gleichgewicht zu HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Ch.	Diesen Schritt brauchen wir gar nicht so unbedingt.	
	L.	Du musst erst mal HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kriegen. Ach, das ist, da, Du hast es anders herum geschrieben.	
	M.	Das ist doch egal, wie rum.	
	L.	Ja, ich dachte, wo kriegst Du H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> her?	
	Ch.	Worauf es ankommt, ist die Konzentration von Hydrogencarbonat, weil die halt die Oxoniumionen aus dem Blut zieht.	
25:44	M.	Sollen wir das auch dazu schreiben, die Gefahr vom Koma, wenn man keinen Atemreiz hat, das könnten wir als Seitenzweig schreiben.	<b>Fehlt</b> als Proposition <b>im map</b> .
	L.	Das ist egal, Hauptsache wir kriegen die ganzen Pflichtbegriffe untergebracht. Dann hast Du Recht.	
26:07	Ch.	Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das insgesamt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure.	Hydrogencarbonatpuffer in seiner Wirkung erfasst.
	L.	Dann haben wir alles andere auch wieder mehr. .	
26:38	Ch.	Ja, am Ende läuft es darauf hinaus, dass man mehr CO <sub>2</sub> gasförmig abatmet.	
	Ch.	Wo kommt das Le Chatelier Prinzip hin? Pufferkapazität.	
27:01 Beginn	M.	Das ist ganz logisch. Wir haben ein Gasgemisch gelöst, die Summe der Partialdrucke muss gleich dem Gesamtdruck des gelösten Gases sein. Wenn man CO <sub>2</sub> erniedrigt, strebt das auch danach, sich auszugleichen. War das nicht so?	Nicht ganz: Jede Störung eines Gleichgewichtes durch Änderung der äußeren Bedingungen führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichtes, die der Störung entgegenwirkt. Auf S.112 wird die Verlagerung der Gleichgewichtslage korrekt erfasst.
27:25	Ch.	Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus.	Die Diffusionsrichtung korrekt erfasst. <b>Fehlt</b> als Proposition <b>im map</b> .

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	M.	Wäre eigentlich logisch.	
	L.	Du sagst im Blut ist ein hoher Partialdruck, sagst Du, hast Du jetzt gesagt, wenn im Blut ein hoher Partialdruck, unter Druck, ach nee.	
28:09	Ch.	Der Partialdruck wird deshalb erhöht, weil durch die Säurezugabe kommen Oxoniumionen hinzu, dadurch reagieren Hydrogencarbonationen schneller zurück.	Die Dynamik zeitgleich vorliegender Gleichgewichte – Protolyse der Kohlensäure und Löslichkeitsgleichgewicht von $\text{CO}_2$ – wird korrekt erfasst.
	M. und Ch.	Dadurch wird Kohlensäure zu gelöstem $\text{CO}_2$ , dadurch zu Gas, der Partialdruck wird höher, das wird abgeatmet.	
	Ax.	Das muss da oben hin.	
28:33	Ch.	Erniedrigung des pH – Wertes, Konzentration von Hydrogencarbonat wird erniedrigt. Mmm, lass uns eine Reihe machen. Ich glaube, das ist gar nicht so schlecht. Das erste wird sein, Säureabgabe ins Blut, dadurch Erniedrigung des pH – Wertes. Lass uns in Reihenfolge aufschreiben. Gleichgewichtslage kann man auf mehrere Sachen beziehen.	
			Alle reden zusammen.
29:45	M.	Le Chatelier Prinzip kann man auf die drei Gleichungen beziehen, weil die Summe der Partialdrucke muss immer gleich sein. Es ist bei der Hyperventilation so, dass sich sozusagen das nach hier verschiebt, das nach hier verschiebt und das nach hier verschiebt.	Le Chatelier Prinzip im wesentlichen erfasst. Gemeinsam versuchen sie eine Reihenfolge zu finden.
30:40	L.	pH – Werterniedrigung verschiebt die Gleichgewichtslage.	Gemeinsam versuchen sie eine Reihenfolge zu finden.
	Ch.	Das ist ziemlich kompliziert, weil das bezieht sich auf alles.	
30:54	L.	Dann schreibst Du den Zettel fünfmal.	
	Ch.	Ach, wir machen Pfeile.	
	M.	Oder sagen wir die Gleichgewichtslagen, <b>dazu</b> , von den Gleichungen	
	Ch.	Dann lass es uns so machen.	
31:13	M.	Wir müssen das Le Chatelier Prinzip hereinbringen.	
	L.	Nein, nein , ja, genau, schreib doch einfach erniedrigt.	Ch. legt. L. ebenfalls.
31:55	Ax.	Dadurch Erhöhung der Atemfrequenz.	
	M.	Dadurch Verringerung der Löslichkeit von $\text{CO}_2$ , der Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ . Wir können auch schreiben erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ und als zweiten Ast, es muss aber mehr Kohlensäure gebildet werden.	
32:51	Ax.	Ich finde, wir fangen an allgemein mit der Erhöhung der Atemfrequenz.	
	L.	Nein, das ist doch die Folge davon. Das Problem ist, Du hast einen falschen pH – Wert. Wir sind keine Mediziner, die ein Symptom sehen und gucken wollen, was es war.	L. verweist auf eine Ursache - Folge - Ereigniskette im Zeitverlauf.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	M.	Das ist ein Abwehrsystem des Körpers.	M. meint wahrscheinlich eine Kompensationsmaßnahme des Körpers. Eine entsprechende <b>Dokumentation im map fehlt.</b>
33:20	Ax.	Die Hyperventilaton, es kommt darauf an, wie Du sie auslegst. Man kann sie auch, so wie wir es beim Tauchen gemacht haben, als es hieß, wenn Du drei Minuten lang hyperventilierst.	
	L.	Dann musst Du sagen, warum Du hyperventilierst.	
	M.	Man hyperventiliert, damit man einen nicht so guten Atemreiz hat und länger tauchen kann. Dadurch ist die Gefahr der Ohnmacht, das war in dem Fall in Hauptthema.	
33:50	L.	Als erstes gucken wir, was was ganz Normales ist.	
	Ch.	Woran es liegt ist, dass man nicht mehr Sauerstoff im Blut hat, aber wir viel CO <sub>2</sub> abgeatmet haben. D.h., die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ist höher, man kann viel mehr CO <sub>2</sub> lösen, hat keinen Atemreiz, wird deswegen ohnmächtig. Das gehört hier nicht rein, weil wir von der Säureabgabe ins Blut ausgehen.	Dynamik der sich wechselseitig beeinflussenden Gleichgewichte erkannt. Das Risiko einer Ohnmacht bei einer bewusst gesteuerten Hyperventilation wird <b>im map nicht dokumentiert.</b>
	M.	ok	
34:13	Ch.	Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH – Wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab..	Ch. beschreibt die Wirkung des Hydrogencarbonatpuffers nach Säureeintrag korrekt.
	M.	Wir können schreiben große Pufferkapazität. Das ist insgesamt ein Puffersystem.	
34:40	Ch.	Es ist ein Puffersystem, Pufferkapazität passt nicht rein.	Ch. unterscheidet die Begriffe Puffersystem und Pufferkapazität voneinander.
	M.	Jetzt haben wir eine Kette, es sollte anders werden.	
	Ch.	Lass es uns so machen.	
	L.		
35:03	Ch.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , dadurch tritt das Le Chatelier Prinzip in Kraft, dass man unbedingt abatmen will.	
	M.	Dass das eine erhöht werden muss, damit die Summe wieder noch gleich ist, darüber argumentieren wir. Der Gesamtdruck muss gleich bleiben. Hier, der Gesamtdruck muss gleich bleiben.	
35:35	Ch.	Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von CO <sub>2</sub> , also mehr gelöstes CO <sub>2</sub> im Blut. HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO <sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO <sub>2</sub> wird höher und der ist höher als der Partialdruck in der Lunge.	
36:29	M.	Moment mal, ja, o.k. Oder sollen wir das noch als Mittel schreiben? Das wird zugunsten der Produkte und das zugunsten der Edukte	Im map nicht dokumentiert.
	Ch.	Das ist die Addition. Wir wollen erst mal die Begriffe unterbringen.	
	M.	Ich verstehe das nicht so.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
36:52	L.	Ich habe immer noch Probleme mit, wenn da die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ steht, dann ist das dasselbe. Wenn das durch dies hier dasselbe ist, sein soll, wie das durch dies hier, dann müsste das gleich sein.	L. versucht die vorgegebene Karte mit dem Konzentrationsverhältnis $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ zu verstehen und zieht mathematisch korrekte Schlussfolgerungen
	Ch.	Das ist abhängig voneinander, das ist ein Gleichgewicht.	
37:19	L.	Wenn hier oben dasselbe, exakt dasselbe drüber steht, dann muss auch hier unten exakt dasselbe stehen, damit das gleich ist.	
	Ch.	Es ist beides gelöst. Wir erniedrigen das hier, dann reagiert das zurück zu $\text{CO}_2$ , d.h. gleicht hier es sich aus.	
37:42	L.	Dann wäre das hier trotzdem exakt dasselbe wie $\text{H}_2\text{CO}_3$ gleich $\text{CO}_2$ . Wenn das hier wirklich das gleiche ist, ja, und nicht zu einem anderen oder sonst irgendwas, sagen wir, es entspricht eins, ja, dann ist eins durch das, wie eins durch das, damit ist das auch dasselbe wie das.	
38:11	M.	Das ist zu mathematisch.	
	L.	Es mag sein. Das ist trotzdem so, das ist doch ein bisschen komisch.	
	Ch.	Ich denke, es ist eher so gemeint, wenn Du das eine erniedrigst, erniedrigst Du auch das andere.	
38:24	M.	Wenn Du das eine erniedrigst, musst Du das andere erhöhen.	Erkannt wird nicht, dass der Wert des Konzentrationsverhältnisses ein Maß für die Pufferkapazität ist.
	Ch.	Wenn wir schreiben eins durch das.	
Beginn	M.	Zerbrecht Euch nicht den Kopf. Lasst uns zusammentragen im Gesamtzusammenhang.	
	Ch.	Wenn das erhöht wird, wird das erhöht.	
38:59	M.	Wir haben eine so schöne ‚hat zur Folge‘. Oder so was, als Seitenlage können wir das dazuschreiben. Daher Erhöhung der Atemfrequenz; damit haben wir so einen Seitenast, das ist interessanter.	Gemeint ist eine Karte, die beschrieben wurde mit ‚hat zur Folge‘.
	Ch.	Da würde ich das nicht hinlegen. Dann das, nicht	
	M.	Wieso?	
	Ch.	Das würde ich da unten hinterlegen. Ehrlich gesagt zum Le Chatelier Prinzip.	
	L.	Daher bezieht sich auf das, was wir vorher gemacht haben. Das muss vorher erst passieren.	L. zeigt, dass sie in Ereignisketten denkt.
39:44	Ch.	Erst kommt die Gleichgewichtslage, das hier vorn, und dann kommt erst die höhere Atemfrequenz, weil wir höherer Partialdruck im Blut haben durch das Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips.	Missverständlich: Das Le Chatelier Prinzip tritt nicht in Kraft. Eine Reaktion folgt dem Le Chatelier Prinzip.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
40:02	Ax.	Entschuldigung, wenn Ihr mal den Zettel lest, ‚genutzt wird dieses nicht selten von Tauchern, die vor dem Tauchgang durch verstärktes Ein – und Ausatmen gezielt ihre individuelle Tauchzeit verlängern‘.	
	M.	Genau, so war das, es geht nicht um die Milchsäure.	
	Ax.	Dadurch gehört die Erhöhung der Atemfrequenz wieder ganz nach oben, weil die Erhöhung der Atemfrequenz löst künstlich die Hyperventilation aus.	Ax. verwechselt Ursache und Folge. Hyperventilation bedeutet Erhöhung der Atemfrequenz.
40:34	L.	Es gibt aber nicht nur künstliche Hyperventilation.	
	M.	Es geht hier um künstliche Hyperventilation.	
	Ax.	Hier geht es um künstliche Hyperventilation	
	L.	Nicht unbedingt. Hyperventilation aus verschiedenen Gründen, steht hier doch.	
	Ch.	Es steht, wenn der pH – Wert nicht mehr der Norm des Stoffwechsels entspricht.	
	L.	Es gibt verschiedene Varianten.	
40:52	Ch.	D.h., wir sollen alles untereinander beziehen, das wird aber ziemlich schwierig, weil es ein Wirrwarr wird, also erst mal für das eine und danach können wir beide untereinander beziehen.	
40:06	L.	Hier haben wir geschrieben, die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> wurde verringert und jetzt können wir schreiben durch die gute Pufferkapazität im Blut, ne, ist doch so, gleichen wir letztendlich die Säurezugabe wieder aus, so dass sich am Ende die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> erhöht oder nicht?	L. wendet den Begriff Pufferkapazität korrekt an.
	Ch.	Das können wir nach oben legen. Wo wolltest Du das hinlegen?	
	L.	Unten, darunter, weiter weg.	
	Ch.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , hier höherer Atemreiz.	
41:55	Ax.	Ich finde, wir bauen um das rum die Erhöhung des Atemreizes und dann hat das die ganzen anderen Sachen zur Folge, die Säureabgabe ins Blut, pH – werteniedrigung und so weiter.	
	M.	Das ist nicht richtig. Der Atemreiz wird einmal wieder erhöht, wenn man einen unnatürlich niedrigen pH – Wert hat durch Milchsäureausschüttung und Stoffwechselstörung, das ist der eine Fall. Wir müssen als Seitenast die künstliche Hyperventilation zur Erhöhung der Tauchzeit hinzunehmen.	M. unterscheidet die bewusst ausgelöste Hyperventilation von der Hyperventilation, die unbewusst eintritt, wenn der pH –wert des Blutes über die Norm hinaus erniedrigt wird.
	Ch.	In sich hat es den gleichen Effekt, nämlich die Erhöhung des pH – Wertes im Blut.	Ch. zieht den korrekten Schluss, dass bei beiden Varianten die Hyperventilation dazu dient, den pH –Wert zu erhöhen.
42:42 Ende	Ax.	Man müsste sich für eine Sache entscheiden, um die man es irgendwie aufbaut.	
	M.	Nee.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	Ch.	Du kannst die Hyperventilation schon oben an die pH – Werterniedrigung dranlegen, da die höhere Atemfrequenz durch einen niedrigeren pH – Wert im Blut ausgelöst wird.	
43:08	L.	Dadurch erfolgt, natürlich dadurch, dann kannst Du es auch oben bei der Säureabgabe zu tun, es ist immer dadurch, es ist eine Folge.	
	Ch.	Erniedrigung des pH – Wertes. Was?	
	M.	Zur Löslichkeit, zur Herabsetzung der Löslichkeit von CO <sub>2</sub> gehört die Erhöhung der Atemfrequenz.	
	Ch.	Liegt die Erhöhung der Atemfrequenz an dem Partialdruck der Gase oder am pH – Wert? Ich meine am pH – Wert liegt das..	
	M.	Das hängt zusammen. Das liegt an beiden. Der Auslöser ist eigentlich der pH – Wert.	
	Ch.	Sicher, Du sagtest eigentlich der pH - Wert.	
	M.	Der pH – Wert hängt von dem Gleichgewicht ab, von dem Gleichgewicht ab, H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> im Gleichgewicht mit HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , das ist ja dieser natürliche Kohlensäurepuffer, d.h. im Grunde beides trägt dazu bei, hängt zusammen.	M. bestätigt, das der pH – Wert von der Gleichgewichtslage des Kohlensäuregleichgewichtes abhängt.
43:59	Ch.	Erstmal wird die erhöhte Atemfrequenz durch einen niedrigeren pH – Wert ausgelöst. Der erniedrigte pH – Wert ist oben, da können wir es erst mal dranlegen. Der erniedrigte pH – Wert ist der Auslöser für höhere Atemfrequenz.	
	M.	Das würde ich so nicht sehen, weil hier ist erst mal die ganzen Gleichgewichtsverschiebungen und hier die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> und ich würde es so sehen, dann, man es an die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> dranhängt, weil.	
44:29		Ende von Teil 1	
00:00	L.	Wenn wir uns überlegen, dass hier unten noch CO <sub>2</sub> weniger gelöst ist, dann heißt das doch, weil wir immer noch gleich viel CO <sub>2</sub> hatten, dass mehr gasförmig ist, oder? Wenn weniger gelöst ist, muss der Rest gasförmig sein.	
	Ch.	Das folgt daraus, er wird abgeatmet.	
	L.	Ja genau, der wird abgeatmet, den muss ich abatmen, dann wird die Atemfrequenz erhöht oder nicht? Dann können wir es da unten hin tun.	
	Ch.	Aber die schnelle Atmung ist eigentlich davon abhängig, dass der pH – Wert erniedrigt wurde.	
	L.	Das ist es doch auch, der pH – Wert macht das, macht das, macht das.	
	M.	Das hängt alles zusammen.	
	L.	Das hängt alles zusammen. Ich kann jetzt von jedem Teil, ich kann auch schon beider Säureabgabe des Blutes schreiben, Erhöhung der Atemfrequenz.	
	Ax.	Lass es uns drüber schreiben.	
1:06	Ch.	Wir können es auch darunter legen. Wir legen es darunter und gucken es uns an.	



Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	M.	Wir müssen auch zeigen, dass das alles untereinander zusammenhängt. Wir können nicht einfach eine Kette machen. Wir müssen auch Seitenpfeile machen.	
	Ch.	Das können wir auch machen.	L. legt.
	L.	Wenn Du die ganze Seitenpfeile machst, ist es dasselbe, als wenn Du es einfach darunter legst.	
	M.	Würde ich nicht so sehen.	
	Ch.	Pufferkapazität können wir hier einbringen.	
1:51	L.	Durch die Pufferkapazität des Blutes wird das doch wieder ausgeglichen.	L. wendet den Begriff Pufferkapazität korrekt an.
	Ch.	PH - Werterniedrigung	
	M.	Ausgeglichen wird in unserem Fall, das bezieht sich gar nicht auf den Blutpuffer sondern dadurch, dass es durch diese Atmungsgleichung ausgeglichen wird. Den Blutpuffer müssen wir herauslassen.	Missverständnis: den Säureeintrag nivellieren können nur Teilchen. Die Gleichung ist eine formalisierte Beschreibung. M. unterscheidet das, was er Atmungsgleichung nennt, vom Blutpuffer. Die begriffliche Trennung weist darauf hin, dass die Dynamik eines Puffersystems nicht erkannt ist.(s. S.108 u.S.109)..
	Ch.	Wollen wir Pufferkapazität von diesem Puffersystem direkt beziehen oder wollen wir sagen, wir haben noch Pufferkapazität im Blut und dadurch wird letztendlich.	
2:22	M.	Lass uns doch nachher schreiben, dass dieser Kohlensäurepuffer eine gut Pufferkapazität hat. Wir müssen nicht, das haben wir runter gebracht.	
	L.	Weg damit.	
2:45	M.	Wir können auch hohe Kohlensäure oder wie nennt sich das oder Kohlensäurepuffer, das vom Prinzip wissen wir, wie nennt man Kohlensäurepuffer, Kohlensäuregleichgewicht, schreiben wir Atmungsgleichgewicht.	M. versucht das Löslichkeitsgleichgewicht und die Kohlensäuregleichgewichte zu benennen.
	L.	Zwei, Nummer zwei, Schreib 2 hin, Schreib doch Nr.2	
	M.	Mach Du mal. Ich weiß nicht, was Du meinst mit Nr.2	
	L.	1, 2 und 3	L. schreibt I, II, III an die drei Gleichgewichte..
3:17	M.	Ah, I see.	
	Ch.	Wisst Ihr, was mit dem gemacht werden soll? Säure wird abgebaut, dadurch wird die Löslichkeit erhöht, wenn diese Säure abgebaut wird. Also Abbau.	
3:39	L.	Das passiert nicht durch Erhöhung der Atemfrequenz.	
	M.	Lass uns versuchen, das unterzubringen.	
	L.	Die Löslichkeit wird erst wieder, wird am Ende.	
4:03	M.	Das ist ganz einfach, die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> wird erhöht, dadurch, dass die sozusagen zusätzlich, also extern zugegebenen Oxoniumionen ausgeglichen werden.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	L.	Ok, von wem werden die zugegeben?	
	M.	Von der Milchsäure.	
	L.	Also gut.	
4:23	Ch.	Wir legen jetzt also erst mal. Die Löslichkeit. Zum Le Chatelier Prinzip.	
	Ch.	Wir können das hier zwischen legen, weil es sich darauf bezieht und das, hier die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> .	an L. gerichtet
5:14	L.	Verringert durch das.	
	M.	Ich habe ein gutes Gefühl, wenn wir alles mit allem vernetzen würden, es ist besser, wenn man das so machen würde. Es ist ganz einfach als Kette zu machen. Die hängen untereinander zusammen.	
5:31	Ch.	Das ist erst mal das Puffersystem. Die Kette ist erst mal das Puffersystem, wie die Säurezugabe im Blut gepuffert wird.	Ch. definiert die formulierte Ereigniskette als Puffersystem.
	L.	Weißt Du was, schreib doch erst mal Puffersystem, das ist doch schon mal was.	
5:52	M.	Puffersystem als Überschrift. Hydrogencarbonat-puffersystem, Puffersystem zwischen das Kohlen-säuregleichgewicht, Atmungspuffer.	
	Ch.	Nee, so meine ich nicht.	
	M.	Als Überschrift Atmungspuffer.	
	Ch.	Hydrogencarbonatpuffer in Klammern Hyperven-tilation.	
6:16		<p>Frau Hoffmann kommt. Folgende Fragen werden sinngemäß gestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sollen alle Bezüge dargestellt werden? Oder eher ein Puffersystem?</li> <li>Hyperventilieren kann man aus unterschiedlichen Gründen. Sollen beide Fälle - die bewusste Hyperventilation, um die Tauchzeit zu verlängern und die erzwungene Hyperventilation bei einer Stoffwechselanomalie - dargestellt werden?</li> <li>Was soll mit der nicht zu deutenden Karte <math>\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}</math> passieren?</li> </ul>	<p>Antworten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Möglichst viele Bezüge sollen dargestellt werden, so dass die Gedankenführung der Gruppe nachvollziehbar wird.</li> <li>Die Aufgabenstellung bezieht sich auf eine bewusst und eine unbewusst gesteuerte Hyperventilation. Möglich ist auch, sich für einen Fall zu entscheiden.</li> <li>Wenn eine vorgegebene Karte nicht gedeutet werden kann, kann sie herausgelassen werden.</li> </ul>
9:03			Ch. steht auf.
	Ch.	Der pH – Wert wird erst mal beeinflusst durch den Säuregehalt des Blutes, der pH – Wert ist niedrig und durch den niedrigen pH –Wert haben wir hier eine Aktivierung des Atemreizes. Dann müssen wir hier einen riesigen Pfeil darum machen.	
	L.	Den male ich mal hier.	
	Ch.	Oder Du legst die Karte nach oben.	
9:23	L.	Nein.	
	Ch.	Gut machen wir den riesigen Pfeil darum. Sind wir damit einverstanden, dass wir ihn so liegen lassen.	Der Pfeil ist im map eingezeichnet von der Karte Atemreiz zur Karte Erhöhung der Atemfrequenz.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
			Ch., M., L. und Ax. diskutieren erneut die Lage der Karten und beginnen, Pfeile einzuzichnen. Von Frau Hoffmann kommt die Terminvorgabe, dass spätestens um 9:00 Uhr mit dem Kleben begonnen werden soll. L. schreibt die Überschrift ‚Hydrogencarbonatpuffer (Hyperventilation)‘. Ax. beginnt zu kleben.
21:18	Ch.	Sieht ja fast schon nach was aus.	
21:50	Ch.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , vielleicht sollten wir hier noch einbauen höherer Partialdruck des gesamten CO <sub>2</sub> dadurch, Abatmen durch erhöhte Atemfrequenz.	
22:23	M.	Erhöhte Konzentration des gelösten CO <sub>2</sub> , das hat zur Folge die Abatmung bzw.	
22:40	Ch.	Erhöhtes CO <sub>2</sub> (aq), dadurch Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips, Abatmen durch erhöhte Atemfrequenz. Hier wird der Atemreiz ausgelöst.	Abatmen nach dem Le Chatelier Prinzip ist eine korrekte Formulierung.
25:02	Ch.	Wir haben ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> vorliegen, dass wir nach dem Le Chatelier Prinzip abatmen. Die ganzen Gleichungen gehen rückwärts. Wir haben ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> vorliegen. Du hast ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> , dass wir dann durch die erhöhte Atemfrequenz und dem Le Chatelier Prinzip abatmen.	Im map sind folgende Propositionen falsch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzentration von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> verringert die Löslichkeit von CO<sub>2</sub>(aq).</li> <li>• Dadurch zuviel CO<sub>2</sub>(aq).</li> </ul> Die falschen Bezüge werden an dieser Stelle im Film nicht wiederholt. Wenn wie betont die Rückreaktionen begünstigt sind, führt letztendlich eine Säurezugabe zu einem erhöhten Konzentration von gelöstem CO <sub>2</sub> , so dass sich ein Widerspruch zeigt zwischen Ch.s Äußerung und dem gelegten map.
	Ch.	Hört sich komisch an., die Reihenfolge auf erniedrigt folgt erhöht.	Ch. bemerkt selbst den Widerspruch, äußert sich dazu, zieht aber keine Konsequenzen.
26:50	M.	Le Chatelier Prinzip ist immer da, warum sollte es in Kraft treten?	
	M.	Ich finde das nicht gut. Auswirkungen des Le Chatelier Prinzips.	
30:00			Diskussionsschluss wird von Frau Hoffmann bekannt gegeben.
			Eine große Hektik beginnt.
			In der Hektik weist L. auf die Pfeildoppelspitze zwischen Erhöhung der Atemfrequenz und höherer CO <sub>2</sub> (g) – Abgabe hin und hält eine der beiden Spitzen für falsch.
33:00			Ch. ist sehr witzig. In der Hektik zeigt sich Lebensfreude.
36:51			Poster hängt.
	L.	Ch., Du warst sehr gut.	

<b>Zeit</b>	<b>Name</b>	<b>Aussagen</b>	<b>Anmerkungen</b>
			Im letzten Teil der Filmaufnahme werden die Fragebögen ausgefüllt.

## Auswertung der Filmaufnahme von der Gruppe k2 – Ax., Ch., L., M., Herr HDB -

### Zur Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung zeitgleich vorliegender Gleichgewichte

Die Dynamik der wechselseitigen Beeinflussung der zeitgleich vorliegenden Gleichgewichte - das Löslichkeitsgleichgewicht von  $\text{CO}_2$  und die Protolyse der Kohlensäure - wird zuerst von Ch. formuliert.

Ch.: *( $\text{CO}_2$ -)Abgabe, weniger Kohlensäure im Blut, Kohlensäure wird in  $\text{CO}_2$  umgewandelt im löslichen Zustand, dadurch, dass weniger Säure im Blut ist, der pH-Wert wird etwas erhöht und der Atemreiz wird unterdrückt. Also atmet man nicht so schnell aus und ein (Transkription der Filmaufnahme S. C 108).*

Dass durch eine erhöhte Säureabgabe ins Blut eine Gleichgewichtsverlagerung nebeneinander vorliegender Gleichgewichte eintritt, wird im nachhinein auch von M. und L. korrekt formuliert.

M.: *Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$ , das hat Auswirkungen auf den pH-Wert. (Transkription der Filmaufnahme S. C 110).*

L.: *Hier haben wir geschrieben, die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  wurde verringert und jetzt können wir schreiben durch die gute Pufferkapazität im Blut, ne, ist doch so, gleichen wir letztendlich die Säurezugabe wieder aus, so dass am Ende die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  wieder erhöht wird (Transkription der Filmaufnahme S. C 115).*

Als Ch. sich aufgefordert fühlt, die jeweiligen Formelgleichungen des Löslichkeitsgleichgewichtes von  $\text{CO}_2$  und der Protolyse der Kohlensäure zu formulieren, nachdem sich L. und Ax. in der Zweiergruppe vergeblich bemüht hatten, gelingt es Ch. ad hoc, die Gleichgewichte aufzustellen. Er bekommt hohe Anerkennung von L..

Ch.:  *$\text{CO}_2$ (gasförmig) wird zu  $\text{CO}_2$ (gelöst)  
 $\text{CO}_2$ (gelöst) und Wasser wird zu  $\text{H}_2\text{CO}_3$ (gelöst)  
 $\text{H}_2\text{CO}_3$  reagiert mit Wasser zu  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{H}_3\text{O}^+$  und das reagiert noch mal  
 $\text{HCO}_3^-$  und Wasser zu Carbonat und  $\text{H}_3\text{O}^+$  (Transkription der Filmaufnahme, S. C 109).*

L.: *Hey, Ch., Du bist ja gut.  
Dann sind wir ja schon einen großen Schritt weiter (Transkription der Filmaufnahme, S. C 109).*

Vermutlich kann Ch. deshalb die wechselseitige Beeinflussung der nebeneinander vorliegenden Gleichgewichte korrekt erschließen und in einer Ereigniskette darstellen, weil ihm das Gleichungssystem als strukturierendes Prinzip zur Verfügung steht, so dass es ihm leicht fällt, die Auswirkungen bei Säureeintrag anhand der formalen Beziehung zu betrachten und nachzuvollziehen.

### Zur Pufferlösung und zur Pufferkapazität

Die Bedeutung der Quotienten auf einer der vorgegebenen Karten  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$  wird nicht erfasst. Der Wert des Konzentrationsverhältnisses als Maß für die Güte der Pufferkapazität wird von der Gruppe nicht erkannt. Erwartet war, dass die Güte der Pufferkapazität bestimmt wird durch den Konzentrationsunterschied von Puffersäure und Pufferbase (Bei hohem Konzentrationsunterschied ist die Pufferkapazität gering. Sie ist am höchsten, wenn beide Konzentrationen gleich sind, also wenn der  $\text{pK} - \text{wert}$  dem  $\text{pH} - \text{wert}$  entspricht).

Die Begriffe Pufferkapazität und Puffersystem werden von der Gruppe voneinander abgegrenzt. Pufferkapazität wird als Systemeigenschaft verstanden.

L.: *Hier haben wir geschrieben, die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  wurde verringert und jetzt können wir schreiben durch die gute Pufferkapazität im Blut, ne, ist doch so, gleichen wir letztendlich die Säureabgabe wieder aus, so dass sich am Ende die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  erhöht oder nicht? (Transkription der Filmaufnahme, S.C 115).*

L. reduziert die Karte auf ihren mathematischen Inhalt und zieht korrekte Schlussfolgerungen.

L.: *Ich habe immer noch Probleme mit, wenn da die Konzentration von  $\text{HCO}_3^-$  steht, dann ist das dasselbe. Wenn das durch dies dasselbe ist, sein soll, wie das durch dies hier, dann müsste das gleich sein.*

Ch.: *Das ist abhängig voneinander, das ist ein Gleichgewicht.*

L.: *Wenn hier oben dasselbe, exakt dasselbe drüberstehet, dann muss auch hier unten exakt dasselbe stehen, damit das gleich ist.*

Ch.: *Es ist beides gelöst. Wir erniedrigen das hier, dann reagiert das zurück zu CO<sub>2</sub>, d.h. gleicht hier es sich aus.*

L.: *Dann wäre das hier trotzdem exakt dasselbe wie H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = CO<sub>2</sub>. Wenn das hier wirklich das gleiche ist, ja, und nicht zu einem anderen oder sonst irgendwas reagiert, sagen wir, es entspricht eins, ja, dann ist eins durch das, wie eins durch das, damit ist das auch dasselbe wie das (Transkription der Filmaufnahme, S. C 114).*

Ch. definiert die Ereigniskette, die sich bei pH –werterniedrigung im Blut einstellt, als Puffersystem, das eine systemspezifische Pufferkapazität besitzt

Ch.: *Es geht ert mal mehr um den Fall, der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das insG.mt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 111).*

Ch.: *Wollen wir Pufferkapazität von diesem Puffersystem direkt beziehen oder wollen wir sagen, wir haben noch Pufferkapazität im Blut und dadurch wird letztendlich(..)(Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 117).*

Ch.: *Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –Wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 113).*

M. fasst die Pufferkapazität ebenfalls als Systemeigenschaft auf.

M.: *Lass uns doch nachher schreiben, dass dieser Kohlensäurepuffer eine gute Pufferkapazität hat (...)(Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 117).*

### Zum Le Chatelier Prinzip und zum MWG

Das MWG wird im Zusammenhang von M. der vorgegebene Karte  $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$  erwähnt.

M.: *Lass uns unsere Gleichungen als MWG schreiben, vielleicht sieht das anders aus, müsste eigentlich. Das sieht anders aus als das (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 110).*

Die Gruppe verwechselt das Le Chatelier Prinzip mit dem Gesetz von Dalton.

M.: *Le Chatelier Prinzip, das war doch irgendwas mit den Partialdrucken der Gase, oder? Ich glaube, so war es (Transkription der Filmaufnahme, S.C 106).*

M.: *Partialdrucke der Gase. Das war kein Gleichgewicht, das war nur so ein Satz. Oder war das mit der Lage des Gleichgewichtes ? (Transkription der Filmaufnahme, S. C 111)*

M.: *Le Chatelier Prinzip kann man auf die drei Gleichungen beziehen, weil die Summe der Partialdrucke muss immer gleich sein. Es ist bei der Hyperventilation so, dass sich sozusagen, das nach hier verschiebt, das nach hier verschiebt, das nach hier verschiebt.( Transkription der Filmaufnahme, S. C 112)*

Ch.: *...Wir haben ganz viel gelöstes CO<sub>2</sub> vorliegen, dass wir nach dem Le Chatelier Prinzip atmen (...). (Transkription der Filmaufnahme, S. C 119).*

Aus den Äußerungen wird deutlich, dass M. und Ch. zwar das Le Chatelier Prinzip mit dem Gesetz von Dalton verwechseln, aber dennoch Gleichgewichtsverlagerungen nach einer Störung gemäß dem Le Chatelier Prinzip A.hmen.

### Hyperventilation aus verschiedenen Gründen

Die Gruppe entnimmt der Aufgabenstellung, dass es verschiedene Ursachen gibt, die eine Hyperventilation auslösen. Sie unterscheidet die Hyperventilation, die bewusst ausgelöst wird von der Hyperventilation, die unbewusst gesteuert wird, wenn eine pH –werterniedrigung des Blutes weit ab von der Norm ist.

Ch.: *So war das: Durch Säureabgabe ins Blut, Milchsäure, geht der pH –Wert runter, also macht a Hyperventilation, um den pH –Wert zu erhöhen (Transkription der Filmaufnahme, S. C 108)*

Ax.: *Entschuldigung, wenn Ihr mal den Zettel lest, ' genutzt wird dieses nicht selten von Tauchern, die vor dem Tauchen durch verstärktes Ein –und Ausatmen gezielt ihre individuelle Tauchzeit verlängern ' (Transkription der Filmaufnahme, S. C 115)*

M.: *Das ist nicht richtig. Der Atemreiz wird einmal wieder erhöht, wenn man einen unnatürlich niedrigen pH –Wert hat durch Milchsäureausschüttung und Stoffwechselstörung, das ist der eine Fall Wir müssen als Seitenast die künstliche Hyperventilation zur Erhöhung der Tauchzeit hinzunehmen (Transkription der Filmaufnahme, S. C 115)*

### **Zusätzliches im Film, was im Map nicht dokumentiert wird.**

Erkannt wird, dass die Bewusstlosigkeit, die bei einer bewusst gesteuerten Hyperventilation auftritt, eine Folge des Sauerstoffmangels ist.

- Ax.: Bei der Hyperventilation geht das bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 106)*
- M.: Sollen wir das auch dazu schreiben, die Gefahr vom Koma, wenn man keinen Atemreiz hat, das könnten wir als Seitenzweig schreiben (Transkription der Filmaufnahme k2, S.C 111)*
- M.: Man hyperventiliert, damit man einen nicht so guten Atemreiz hat und länger tauchen kann. Dadurch ist die Gefahr der Ohnmacht, das war in dem Fall das Hauptthema (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 113).*
- Ch.: Woran es liegt, dass man nicht mehr Sauerstoff im Blut hat, aber wir viel CO<sub>2</sub> abgeatmet haben. D. h., die (potenzielle)Löslichkeit von CO<sub>2</sub> ist höher, man kann viel mehr CO<sub>2</sub> lösen, hat keinen Atemreiz, wir deshalb ohnmächtig. Das gehört hier nicht rein, weil wir von der Säureabgabe ins Blut ausgehen (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 113).*

### **Erinnert werden verschiedene Puffersysteme**

- L.: Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der überall puffert.*
- M.: Das hat was mit dem Hämoglobin zu tun.*
- L.: Das ist einer.*
- Ch.: Du hast noch den Hydrogencarbonatpuffer (Transkription der Filmaufnahme k2, S.C 107).*

### **Wechselseitige Beeinflussung zeitgleiche Gleichgewichte wird erkannt.**

- M.: Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO<sub>2</sub>, das hat Auswirkungen auf den pH-Wert.*
- Ch.: Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 111).*
- Ch.: Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von CO<sub>2</sub>, also mehr gelöstes CO<sub>2</sub> im Blut. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO<sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO<sub>2</sub> wird höher und der ist höher als der Partialdruck in der Lunge.*
- M.: Moment mal. Ja, o.k. Oder sollen wir das noch als Mittel schreiben? Das wird zugunsten der Produkte und das zugunsten der Edukte (Transkription der Filmaufnahme k2, S. C 113).*

## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping k1

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	00:00	05:00	10:00	15:00	20:00	25:00
L.	3	2	3	3	3	3
M.	5	6	6	6	6	6
A.	2	2	3	3	3	2
T.	1	1	1	1	1	1
Begriffe						
Sonstiges	Sacherklärung auf Zettel	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung	Sacherklärung Beispiel AA nicht



## Beobachtungsbogen zum Concept Mapping k1

Datum: 16.03.01

Aktivitätsraster im Zeitverlauf (Skala: 1 = dominant.....6 = unauffällig)

Zeit/min	30:00	35:00	40:00	45:00	50:00	55:00
L.		4	3			
M.		6	6			
A.		2	2			
T.		1	1			
Begriffe						
Sonstiges	entwickeln c.m.	entwickeln c.m.	entwickeln c.m	entwickeln c.m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach Ausschalten der Kamera, Weiterarbeit beim Fixieren:</li> <li>• Zum Begriff Störung zwei neue Pfeile</li> </ul>	

## Tabellarische Auflistung der Aussagen im Lehrermap

Aussagen (L1 heißt beispielsweise Proposition 1 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L 1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ .	ja	ja
L 2 $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...	ja	ja
L 4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.	ja	ja
L 5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	ja	ja
L 6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	ja	ja
L 7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	ja
L 8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	ja	ja
L 11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 12 pH –Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	ja	ja
L 13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	ja	ja
L 17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L 19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja

Aussagen (L20 heißt beispielsweise Proposition 20 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L 20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L 23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L 24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	ja	ja
L 25 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 26 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 27 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja	ja
L 28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja

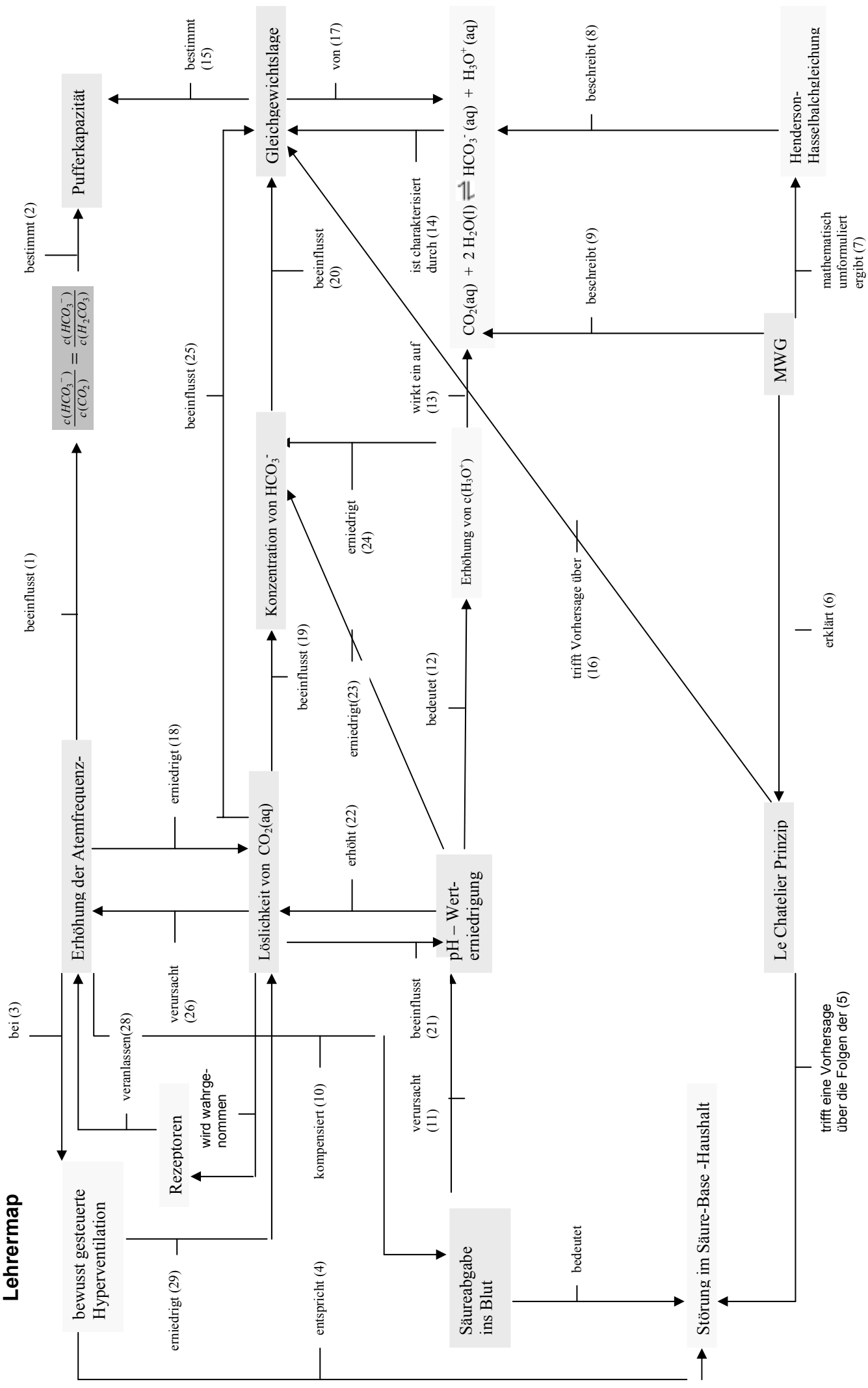
### Verwendete Begriffe und ihr Verknüpfungsgrad

Begriffe	einfach verknüpft	zweifach verknüpft	dreifach verknüpft	vierfach verknüpft	x-fach verknüpft
1. Le Chatelier Prinzip			ja		
2. MWG			ja		
3. Säureabgabe ins Blut			ja		
4. pH -werterniedrigung					ja (5)
5. Gleichgewichtslage					ja (7)
6. Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$					ja (8)
7. Konzentration von $\text{HCO}_3^-$				ja	
8. Erhöhung der Atemfrequenz					ja (6)
9. Pufferkapazität		ja			
10. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja			
11. bewusst gesteuerte Hyperventilation			ja		
12. Rezeptoren		ja			
13. Störung im Säure-Base-Haushalt			ja		
14. Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$			ja		
15. Henderson-Hasselbalchgleichung		ja			
16. $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$					ja (5)

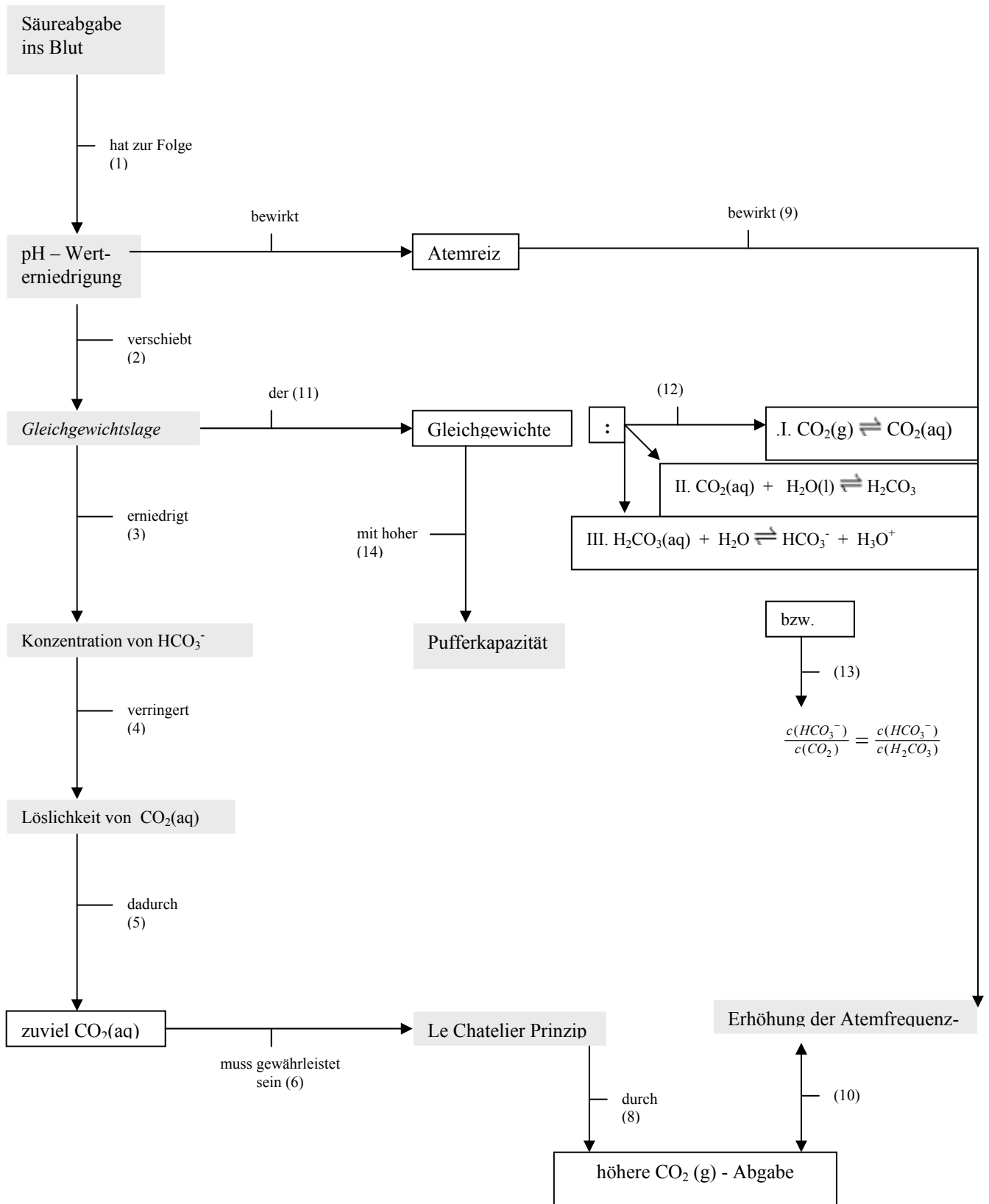
#### in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:

- $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$
- $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$   
i. oder 2. und 3. zusammengefasst:
- $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

# Lehrermap



# Schülermap k1: Hyperventilation



## Datenaufbereitung 1 des Concept Maps k2: Verbalisierung der Propositionen und Bewertung nach vier Kategorien

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangs-sprachlich formuliert	in schließigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schließigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
(S1) beispielsweise bedeutet Aussage 1 im Schülermap					
S1 (Eine) Säureabgabe ins Blut hat zur Folge ( <b>bewirkt</b> ) eine pH – Werterniedrigung.	ja		nein	nein: Begründung erste Aussage in der Ereigniskette	ja
S2 (Eine) pH – Werterniedrigung verschiebt die Gleichgewichtslage.	ja Begründung: Zugegebene Oxoniumionen verschieben die Gleichgewichtslage des Kohlensäuregleichgewichtes		nein	ja	ja
S3 (Die) Gleichgewichtslage erniedrigt (die) Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	missverständlich Begründung: Im sich neu einstellenden Gleichgewicht ist die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ erniedrigt. $\text{HCO}_3^-$ reagiert als Pufferbase mit Oxoniumionen zu Kohlensäure, die in Kohlenstoffdioxid und Wasser zerfällt	Im Film beschreibt C. die Wirkung des Hydrogencarbonatpuffers korrekt. „Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das insgesamt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure...Ja, am Ende läuft es darauf hinaus, dass man mehr $\text{CO}_2$ gasförmig abatmet“(Transkription k2, C., S. C 111). „Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab.“ (Transkription k2, C., S. C 113)	nein	ja	ja

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
<p>(S4 beispielsweise bedeutet Aussage 4 im Schülermap)</p> <p>S4 Konzentration von <math>\text{HCO}_3^-</math> verringert die Löslichkeit von <math>\text{CO}_2(\text{aq})</math>.</p>	<p>missverständlich Begründung Werden Aussagen 2, 3, 4 und 5 in einer Ereigniskette gesehen, erhöht sich der <math>\text{CO}_2</math> – Gehalt.</p>	<p>Die Auswirkungen einer Säureabgabe ins Blut und einer damit verbundenen pH – Werterniedrigung werden im Film korrekt beschrieben: Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid erhöht sich. „Woran es liegt, dass man nicht mehr Sauerstoff im Blut hat, aber viel <math>\text{CO}_2</math> abgeatmet haben? D.h. die Löslichkeit von <math>\text{CO}_2</math> ist höher, man kann viel mehr <math>\text{CO}_2</math> lösen, hat keinen Atemreiz, wird deshalb ohnmächtig (...).“ (Transkription k2, C., S. C 113). „Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus“ (Ch., S. C 113). „Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von <math>\text{CO}_2</math>, also mehr gelöstes <math>\text{CO}_2</math> im Blut. <math>\text{HCO}_3^-</math> reagiert zu Kohlensäure und zu <math>\text{CO}_2</math> gelöst. Der Partialdruck von <math>\text{CO}_2</math> ist höher und er ist höher als der Partialdruck in der Lunge.“ (Transkription k2, C., S. C 1138).</p>	<p>nein</p>	<p>ja</p>	<p>ja</p>
<p>S5 Dadurch (liegt) zuviel <math>\text{CO}_2(\text{aq})</math> (vor). S6 Zuviel <math>\text{CO}_2(\text{aq})</math> muss gewährleistet sein (nach dem) Le Chatelier Prinzip.</p>	<p>ja nein Begründung: Zuviel <math>\text{CO}_2(\text{g})</math> ergibt sich gemäß der Vorhersage nach dem Le Chatelier Prinzip</p>	<p>Siehe oben (Proposition 4). Das Le Chatelier Prinzip und das Gesetz von Dalton werden verwechselt (Transkription k2, M., S. C 106; C 108, C 111). Im Folgenden wird es mit der Verschiebung der Gleichgewichtslage in Verbindung gebracht: „Erst kommt die Gleichgewichtslage, das hier vorn, und dann kommt erst die höhere Atemfrequenz, weil wir höheren Partialdruck im Blut haben durch das Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips“ (Ch., S. C 114) Erhöhtes <math>\text{CO}_2(\text{aq})</math> dadurch Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips, Abatmen durch erhöhte Atemfrequenz. Hier wird der Atemreiz ausgelöst. Wir haben ganz viel <math>\text{CO}_2</math> vorliegen, das wir nach dem Le Chatelier Prinzip abatmen...“ (Transkription k2, C., S. C 119) „Le Chatelier Prinzip ist immer da, warum sollte es in Kraft treten?“ (Transkription k2,</p>	<p>nein nein</p>	<p>ja ja</p>	<p>ja nein Begründung: Die Relation ,durch zwischen Le Chatelier Prinzip und höherer <math>\text{CO}_2</math> – Abgabe ist fachwissenschaftlich nicht korrekt.</p>

Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangssprachlich formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
(S7 beispielsweise bedeutet Aussage 7 im Schülermap)		<i>M., S.C 119</i>			
S7 Le Chatelier Prinzip durch höhere CO <sub>2</sub> (g)- Abgabe	nein Begründung: Le Chatelier Prinzip ist ein prognostisches Maß und ist nicht die Ursache für eine höherer CO <sub>2</sub> – Abgabe.	siehe oben	nein	nein Begründung: Aussage 6 ist fachwissenschaftlich falsch.	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette
S8 pH – Werterniedrigung bewirkt (einen) Atemreiz.	ja		nein	ja: Begründung: Die Aussage steht im direkten Zusammenhang zu Aussage 1- die Bezugsaussage in der zweiten Ereigniskette	ja
S9 Atemreiz bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz.	ja		nein	ja	ja
S10 Erhöhung der Atemfrequenz (führt zur) höheren CO <sub>2</sub> (g) – Abgabe (und umgekehrt)	Ja: Begründung: Wird die Atemfrequenz bewusst erhöht, erniedrigt sich der Partialdruck von CO <sub>2</sub> in den Lungenkapillaren. Wird der pH –wert des Blutes außerhalb der Norm erniedrigt, kompensiert der Körper den Säureeintrag durch Erhöhung der Atemfrequenz. Die Hyperventilation ist in dem einen Fall Folge in dem anderen Fall Ursache. Der Doppelpfeil in der Proposition symbolisiert beide Fälle.	„Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das hat Auswirkungen auf den pH –Wert“ (Transkription k2, M., S. C 110) „Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus“ (Ch., S. C 111). „Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von CO <sub>2</sub> , also mehr gelöstes CO <sub>2</sub> im Blut. HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO <sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO <sub>2</sub> ist höher und er ist höher als der Partialdruck in der Lunge“ (Transkription k2, C., S. C 113).	nein	ja	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette
S11 Gleichgewichtslage der Gleichgewichte:	ja		nein	ja	ja
S12 Der Gleichgewichte: I. CO <sub>2</sub> (g) ⇌ CO <sub>2</sub> (aq) II. CO <sub>2</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> III. H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	ja		nein	ja	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette



Aussagen	fachwissenschaftlich korrekt	Ergänzungen aus der Transkription der Filmaufnahme	umgangsprächtig formuliert	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
(S13 beispielsweise bedeutet Aussage 13 im Schülermap)  S13    bzw. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$	missverständlich Begründung: <i>Die Relation zu den Gleichgewichten wird nicht deutlich.</i>	Die Schüler erkennen nicht, dass der Wert des Konzentrationsverhältnisses ein Maß für die Pufferkapazität des Systems ist. L. versucht die vorgegebene Karte zu verstehen und zieht mathematisch korrekte Schlussfolgerungen. <i>„Ich habe immer noch Probleme mit, wenn da die Konzentration von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> steht, dann ist das dasselbe. Wenn das durch dies hier dasselbe ist, sein soll, wie das durch dies hier, dann müsste das gleich sein.... Wenn hier oben exakt dasselbe, exakt dasselbe drüber steht, dann muss auch hier unten exakt dasselbe stehen, damit das gleich ist.... Dann wäre das hier trotzdem exakt dasselbe wie H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> gleich CO<sub>2</sub>. Wenn das hier wirklich das gleiche ist, ja, und nicht zu einem anderen oder sonst irgendwas, sagen wir es entspricht eins, ja, dann ist eins durch das, wie eins durch das, damit ist das auch dasselbe wie das.“ (Transkription k2, L., S. C. 114).</i>	nein	zum Teil Begründung <i>Die Relation zu den Gleichgewichten wird nicht deutlich.</i>	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette
S14    Gleichgewichte mit hoher Pufferkapazität	missverständlich Begründung: <i>Pufferkapazität ist eine kennzeichnende Größe einer Lösung nicht eines Gleichgewichtes</i>	Pufferkapazität als Systemeigenschaft wird mehrfach formuliert: <i>„...und jetzt können wir schreiben durch die gute Pufferkapazität im Blut, ne, ist doch so, gleichen wir letztendlich die Säurezugabe wieder aus, so dass sich am Ende die Löslichkeit von CO<sub>2</sub> erhöht oder nicht?“ (Transkription k2, L., S. C. 115)</i> <i>„Wollen wir Pufferkapazität von diesem Puffersystem direkt beziehen oder wollen wir sagen, wir haben noch Pufferkapazität im Blut und dadurch wird letztendlich...“ (Transkription k2, C., C. 117)</i> <i>„Das ist erstmal das Puffersystem. Die Kette ist erst mal das Puffersystem, wie die Säurezugabe im Blut gepuffert wird“ (Transkription k2, C., S. C. 118)</i> <i>„Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH – Wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer und Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und</i>	nein	ja	nein Begründung: letzte Aussage in der Ereigniskette



## Verwendete Begriffe und ihre Verknüpfungsgrade

Begriffe	einfach verknüpft (4)	zweifach verknüpft (7)	dreifach verknüpft (2)	mehr als dreifach verknüpft (1)	vorgegebene Begriffe (9)	selbst gewählte Begriffe (6)
1. Säureabgabe ins Blut	ja				ja	
2. pH-werterniedrigung			ja		ja	
3. Gleichgewichtslage			ja		ja	
4. Konzentration von $\text{HCO}_3^-$		ja			ja	
5. Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$		ja			ja	
6. zuviel $\text{CO}_2(\text{aq})$		ja				ja
7. Le Chatelier Prinzip		ja			ja	
8. höhere $\text{CO}_2(\text{g})$ -Abgabe		ja				ja
9. Erhöhung der Atemfrequenz		ja			ja	ja
10. Atemreiz		ja				ja
11. Gleichgewichte				ja		ja
12. Pufferkapazität	ja				ja	
13. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$	ja				ja	
14. $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	ja					ja

<b>formulierte Gleichgewichte:</b>	$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$	vollständig richtig
	$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$	richtig (aq) fehlt
	$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	richtig (l), (aq), (aq) fehlen
<b>zusätzliche, auf DIN A 4 Blättern aufgeschriebene mathematische Bezüge</b>	keine	
<b>nicht verwendete Karten</b>	Die vorgegebene Karte 'MWG' wird nicht verwendet.	

## Datenaufbereitung 2: Vergleich zwischen Lehrernetz und Concept Map k2

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L 1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ .		T1: „Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das hat Auswirkungen auf den pH –Wert“ (Transkription k2, M., S. C 110) „...Hydrogencarbonat wird erniedrigt bei Erhöhung der Atemfrequenz“ (Transkription k2, C., S. C 110) „...Durch eine hohe Atemfrequenz, dadurch wird die Konzentration von Hydrogencarbonat erniedrigt, wenn man Carbonat herauslässt“ (Transkription k2, C., S. C 110)	In der Transkription wird die Wirkungskette, die durch eine bewusst erhöhte Atemfrequenz hervorgerufen wird, korrekt beschrieben.	richtig
L 2 $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	S 14: Gleichgewichte mit hoher Pufferkapazität	T2: „...Wollen wir Pufferkapazität von diesem Puffersystem direkt beziehen oder wollen wir sagen, wir haben noch Pufferkapazität im Blut und dadurch wird letztendlich...“ (Transkription k2, C., S. C 117) „Das ist erstmal das Puffersystem. Die Kette ist erst mal das Puffersystem, wie die Säurezugabe im Blut gepuffert wird“ (Transkription k2, C S. C 118) „Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –Wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab“ (Transkription k2, C., S. C 113) „Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der überall puffert“. „Das Hat was mit dem Hämoglobin zu tun.“ „Das ist einer.“ „Du hast noch Hydrogencarbonatpuffer.“ (Transkription k2, L., M., C., S. C 107)	In der Filmaussage wird deutlich, dass die Pufferkapazität als Systemeigenschaft verstanden wird, Hydrogencarbonat als Pufferbase, die einen Säureeintrag nivelliert. Dass die Pufferkapazität vom Konzentrationsverhältnis Puffersäure zur Pufferbase abhängt, fehlt.	zum Teil richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L.3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...entspricht Störung im Säure –Base Haushalt	S10: Erhöhung der Atemfrequenz (führt zur) höheren CO <sub>2</sub> (g) – Abgabe ( <b>und umgekehrt</b> )	T3: „Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , das hat Auswirkungen auf den pH –Wert“ (Transkription k2, M., S. C 110) „Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus“ (Transkription k2, C. S. C 111). „Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von CO <sub>2</sub> , also mehr gelöstes CO <sub>2</sub> im Blut. HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO <sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO <sub>2</sub> ist höher und er ist höher als der Partialdruck in der Lunge“ (Transkription k2, C. S. C 113).	Wird die Atemfrequenz bewusst erhöht, erniedrigt sich der Partialdruck von CO <sub>2</sub> in den Lungenkapillaren. Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> erniedrigt sich. Dadurch wird die Gleichgewichtslage der Protolyse beeinflusst. Die Filmaussage entspricht der Referenzaussage.	richtig
L.4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.		S.o.	s.o.	richtig
L.5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	S6: Zuviel CO <sub>2</sub> (aq) muss gewährleistet sein ( <b>nach dem</b> ) Le Chatelier Prinzip S7: Le Chatelier Prinzip durch höhere CO <sub>2</sub> (g)- Abgabe	T4: „Le Chatelier Prinzip kann man auf drei Gleichungen beziehen, weil die Summe der Partialdrucke muss immer gleich sein. Es ist bei der Hyperventilation so, dass sich sozusagen das nach hier und das nach hier verschiebt.“ (Transkription k2, M. S.C 112) „Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , dadurch tritt das Le Chatelier Prinzip in Kraft, dass man unbedingt abatmen will“ (Transkription k2, C., S. C 113)	Die Bedeutung des Le Chatelier Prinzips als nützliches Hilfsmittel die Richtung einer Gleichgewichtsverlagerung nach einer Störung vorherzusagen wird nicht erfasst. Es scheint die Vorstellung zu bestehen, dass das Le Chatelier Prinzip einer Kraft gleich kommt, die Gleichgewichtsverlagerungen antreibt.	falsch
L.6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip			Hier fehlt eine Aussage.	falsch
L.7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.			Hier fehlt eine Aussage.	falsch
L.8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) ⇌ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)			Hier fehlt eine Aussage.	falsch

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L 9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	bzw. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$		Gleichgewichte werden im Map korrekt aufgelistet, aber mit dem Quotienten $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)}$ so verknüpft, dass der Quotient fälschlicherweise mit dem MWG gleich zu setzen ist.	falsch
L 10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut		<b>T8:</b> „Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das insgesamt ist doch der Hydrogencarbonpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure...Ja, am Ende läuft es darauf hinaus, dass man mehr CO <sub>2</sub> gasförmig abatmet“ (Transkription k2, C., S. C 111).	Die Aussage im Film und die Referenzaussage entsprechen einander.	richtig
L 11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH –Werterniedrigung.	<b>S1: (Eine)</b> Säureabgabe ins Blut hat zur Folge ( <b>bewirkt</b> ) eine pH – Werterniedrigung.		Schüleraussage und Referenzaussage sind identisch.	richtig
L 12 pH –Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $\alpha(\text{H}_3\text{O}^+)$ .		<b>T5:</b> „Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab.“ (Transkription k2, C., S. C 113)	Die Filmaussage zeigt, dass ein Säureeintrag Zunahme der Oxoniumionen bedeutet und zur pH – Werterniedrigung führt.	richtig
L 13 Erhöhung von $\alpha(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	<b>S2: (Eine)</b> pH – Werterniedrigung verschiebt die Gleichgewichtslage.	<b>T5:</b> „Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab.“ (Transkription k2, C., S. C 113)	Die Einwirkung eines Säureeintrages auf die Protolyse wird in der Transkription korrekt beschrieben	richtig

Aussagen im Lehrmap vgl. Aussagen im Lehrmap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L 14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	S2: (Eine) pH – Wertemiedrigung verschiebt die Gleichgewichtslage	s. T5	Die Mapaussage dokumentiert, dass von einem Protolysegleichgewicht ausgegangen wird, dessen Lage sich je nach Einfluss ändern kann.	richtig
L 15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.		T6: „Hier haben wir geschrieben, die Löslichkeit von $\text{CO}_2$ wurde verringert und jetzt können wir schreiben durch die gute Pufferkapazität im Blut, ne ist doch so, gleichen wir letztlich die Säurezugabe wieder aus, so dass sich am Ende die Löslichkeit wieder erhöht oder nicht“ (Transkription k2, L., S. C 115)	Eine Abhängigkeit der Pufferkapazität von der Gleichgewichtslage und damit vom Konzentrationsverhältnis der Puffersäure zur Pufferbase wird nicht diskutiert. Unterschieden wird zwischen guter und schlechter Pufferkapazität.	falsch
L 16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage		T4: „Le Chatelier Prinzip kann man auf drei Gleichungen beziehen, weil die Summe der Partialdrucke muss immer gleich sein. Es ist bei der Hyperventilation so, dass sich sozusagen das nach hier und das nach hier verschiebt“ (Transkription k2, M. S. C 112) „Löslichkeit von $\text{CO}_2$ , dadurch tritt das Le Chatelier Prinzip in Kraft, dass man unbedingt abatmen will“ (Transkription k2, C., S. C 113).	Die Bedeutung des Le Chatelier Prinzips als nützliches Hilfsmittel die Richtung einer Gleichgewichtsverlagerung nach einer Störung vorherzusagen wird nicht erfasst. Es scheint die Vorstellung zu bestehen, dass das Le Chatelier Prinzip einer Kraft gleich kommt, die Gleichgewichtsverlagerungen antreibt.	falsch
L 17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	S11: Gleichgewichtslage der Gleichgewichte: S12: Der Gleichgewichte: I. $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ II. $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ III. $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}$		Die Aussage 16 und 17 im Referenznetz gehören zusammen. L 16 bezieht sich auf L 17. Das Löslichkeitsgleichgewicht und die Protolyse werden in S12 korrekt formuliert. Die Anwendung des Le Chatelier Prinzips auf die Protolyse fehlt.	z. T. richtig
L 18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .		T7: „Ne, Löslichkeit von $\text{CO}_2$ wird erniedrigt. Durch eine hohe Atemfrequenz, dadurch wird die Konzentration von Hydrogencarbonat erniedrigt, wenn man Carbonat herauslässt“ (Transkription k2, C. S C 110)	Die Aussage im Film und die Referenzaussage sind identisch.	richtig

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L 19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		<b>T7:</b> „Nee, Löslichkeit von $\text{CO}_2$ wird erniedrigt. Durch eine hohe Atemfrequenz, dadurch wird die Konzentration von Hydrogencarbonat erniedrigt, wenn man Carbonat herauslässt“ (Transkription k2, C. S C 110)	Die Aussage im Film und die Referenzaussage sind identisch	richtig
L 20 Die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ beeinflusst die Gleichgewichtslage.	<b>S4:</b> Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ verringert die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ . <b>S5:</b> Dadurch ( <b>liegt</b> ) zuviel $\text{CO}_2(\text{aq})$ ( <b>vor</b> ).	<b>T8:</b> „Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das ins G.mt ist doch der Hydrogencarbonpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure...Ja, am Ende läuft es darauf hinaus, dass man mehr $\text{CO}_2$ gasförmig abatmet“ (Transkription k2, C., S. C 111).	In S12 sind das Löslichkeitsgleichgewicht und die Protolyse korrekt formuliert. S4 und S5 sind widersprüchlich. Die Aussage im Film über die zunehmende Löslichkeit von $\text{CO}_2$ und dem damit auch höher werdenden Partialdruck ist korrekt. Diese Aussage wird bewertet.	richtig
L 21 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die pH – Werterniedrigung.		<b>s. T8</b>	s. L24	richtig
L 22 Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .		<b>s. T8</b>	s. L24	richtig
L 23 Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .		<b>s. T8</b>	s. L24	richtig



Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L 24 Die Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ erniedrigt die Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	S3: (Die) Gleichgewichtslage erniedrigt (die) Konzentration von $\text{HCO}_3^-$ .	T9: „Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das ins G.mt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure... Ja, am Ende läuft es darauf hinaus, dass man mehr $\text{CO}_2$ gasförmig abatmet“ (Ch., S. C 111). „Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab.“ (Transkription k2, C., S. C 113)	Die Referenzaussagen L21 bis L26 beziehen sich auf die Störungen des Protonensegleichgewichtes und des zeitgleich vorliegenden Löslichkeitsgleichgewichtes, wenn die Oxoniumionenkonzentration erhöht wird. Die wechselseitige Beeinflussung der jeweiligen Gleichgewichtslagen wird in der Filmaussage korrekt dokumentiert.	richtig
L 25 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Gleichgewichtslage der Protolyse.		s. T8	s. L24	richtig
L 26 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.		s. T8	s. L24	richtig
L 27 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ wird wahrgenommen von Rezeptoren.		T10: „Woran es liegt ist, dass man nicht mehr Sauerstoff im Blut hat, aber wir viel $\text{CO}_2$ abatmet haben. D.H. die Löslichkeit von $\text{CO}_2$ ist höher, man kann viel mehr $\text{CO}_2$ lösen, hat keinen Atemreiz, wird deshalb ohnmächtig. Das geht hier nicht rein, weil wir von der Säureabgabe ins Blut ausgehen“ (Transkription k2, C. S. C 113) „Bei der Hyperventilation geht das bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund Sauerstoffmangel. Es muss mehr $\text{CO}_2$ im Körper enthalten sein“ (Transkription k2, A. S. C 106)	Das Risiko einer Ohnmacht bei einer bewusst gesteuerten Hyperventilation wird formuliert.	z. T. richtig
L 28 Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.			Hier fehlen Aussagen.	falsch

Aussagen im Lehrermap vgl. Aussagen im Lehrermap, S. C 127 – C 128 -	Aussagen im Concept Map vgl. Datenaufbereitung 1, S. C 131- C 135 -	Aussagen in der Transkription vgl. S. C 107 – C 121	Kommentar	Bewertung
L.29 Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).		T7: „Nee, Löslichkeit von CO <sub>2</sub> wird erniedrigt. Durch eine hohe Atemfrequenz, dadurch wird die Konzentration von Hydrogencarbonat erniedrigt, wenn man Carbonat herauslässt“ (Transkription k2, C. S C 110)	Die Aussage im Referenzmap entspricht der Aussage im Film	richtig
L.30 nicht im Lehrermap				
L.31	S8: pH – Werterniedrigung bewirkt (einen) Atemreiz. S9: Atemreiz bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz			richtig
L.32				richtig
L.33		T11: „Lasst uns unsere Gleichung als MWG schreiben, vielleicht sieht das anders aus, müsste eigentlich. Das sieht anders aus“. (Transkription k2, M. S. C 110)		

### Zusammenfassung der Ergebnisse in der Datenaufbereitung 2:

Gesamtanzahl	Anzahl falscher Aussagen	Anzahl richtiger und zum Teil richtiger Aussagen
25	4	21
Aussagen im Referenznetz, zu denen es Schüleraussagen gibt		
4	4	0
Aussagen, die nur im Referenznetz vorliegen.		
Summe	8	21
<b>Häufigkeit</b>	<b>27,6%</b>	<b>72,4%</b>
Aussagen, die nur im Schülernetz vorliegen	0	2

### Datenaufbereitung 3 des Concept Maps k1 nach inhaltlichen Kategorien

- neu nummerierte Auflistung von 17 richtigen Schüleraussagen, davon 9 Aussagen aus dem Concept Map (vgl. Datenaufbereitung 1 S. C. 130 ff) und 8 Filmaussagen (vgl. Transkription. S. C 106 ff) -

<b>Zur Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte</b>		Nr.
1.	<i>Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO<sub>2</sub>, das hat Auswirkungen auf den pH –Wert.<sup>56</sup></i>	S10, T3
2.	<i>Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus<sup>57</sup></i>	T3
3.	<i>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO<sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO<sub>2</sub> wird höher und der ist höher als der Partialdruck in der Lunge (Ch.)<sup>58</sup></i>	T3
4.	<i>(Eine) Säureabgabe ins Blut hat zur Folge (bewirkt) eine pH – Werterniedrigung.</i>	S1
5.	<i>(Eine) pH – Werterniedrigung verschiebt die Gleichgewichtslage.</i>	S2
6.	<i>(Die)Gleichgewichtslage erniedrigt (die) Konzentration von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><sup>59</sup> <b>Im sich neu einstellenden Gleichgewicht ist die Konzentration von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> erniedrigt<sup>60</sup></b></i>	S3, T9
7.	<i>Gleichgewichtslage der Gleichgewichte:</i>	S11
8.	<i>Gleichgewichtslage der Gleichgewichte: CO<sub>2</sub>(g) ⇌ CO<sub>2</sub>(aq) CO<sub>2</sub>(aq) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(l) H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(l) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)</i>	S12
<b>Zur Hyperventilation</b>		
1.	<i>pH – Werterniedrigung bewirkt (einen) Atemreiz.</i>	S8
2.	<i>Atemreiz bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz.</i>	S9
3.	<i>Ist die CO<sub>2</sub> – Konzentration im Blut gering, ist die potentielle Löslichkeit von CO<sub>2</sub> höher und der Atemreiz ist unterdrückt<sup>61</sup></i>	T10
4.	<i>Die Hyperventilation führt bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel<sup>62</sup></i>	T10
<b>Zur Pufferlösung und Pufferkapazität</b>		
5.	<i>Gleichgewichte mit hoher Pufferkapazität<sup>63</sup> <b>Der Hydrogencarbonpuffer besitzt eine hohe Pufferkapazität<sup>64</sup>:</b></i>	S14, T2
6.	<i>Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der in einem breiten pH –Bereich puffert<sup>65</sup>.</i>	T2
7.	<i>Der Blutpuffer enthält mehrere Puffersysteme, den Hydrogencarbonatpuffer und den Hämoglobinpuffer<sup>66</sup>..</i>	T2
8.	<i>Beim Hydrogencarbonatpuffer reagieren die Hydrogencarbonationen mit den ins Blut eingetragenen Oxoniumionen und reagieren zurück zu Kohlensäure<sup>67</sup></i>	T8
<b>Zum MWG und zum Le Chatelier Prinzip</b>		
9.	<i>Das MWG erklärt Gleichgewichte<sup>68</sup></i>	T11

<sup>56</sup> Im concept map k2 z. T. enthalten, aber eine Aussage im Film von M.: 'Erhöhte Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO<sub>2</sub>, das hat Auswirkungen auf den pH –Wert' (Transkription k2, M., S. C 110)

<sup>57</sup> Im concept map k2 nicht enthalten, aber eine Aussage im Film von C.: , Moment. Der Partialdruck im Blut wird höher als der Partialdruck in der Lunge. Das Gas tritt aus' (Transkription k2, C, S. C 111).

<sup>58</sup> Im concept map k2 nicht enthalten, aber im Film k2 (Transkription der Filmaufnahme k2, C., S. C 111)

<sup>59</sup> Originalfassung m concept map k2

<sup>60</sup> verbesserte Aussage unter Zuhilfenahme der Transkription k2, C., S. C 111.

<sup>61</sup> Im concept map k2 nicht dokumentiert, aber im Film von .C.erwähnt. „D.h. die Löslichkeit von CO<sub>2</sub> ist höher, man kann viel mehr CO<sub>2</sub> lösen, hat keinen Atemreiz, wird deshalb ohnmächtig“(Transkription k2, C., S. C 113)

<sup>62</sup> Im concept map k2 nicht dokumentiert, aber im Film von A.erwähnt.“Bei der Hyperventilation geht das bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel“(Transkription der k2, A., S. C 106)

<sup>63</sup> Originalfassung im concept map k2.

<sup>64</sup> Verbesserte Fassung unter Zuhilfenahme der Transkription k2, M. S. C 117.

<sup>65</sup> Aussage nur im Film k2 (Transkription k2, L.,M., L., C.,S. C 107)vorhanden, nicht im concept map k2. '

<sup>66</sup> Aussage nur im Film k2(s.o ,Transkription k2, S. C 107.) vorhanden, nicht im concept map k2.

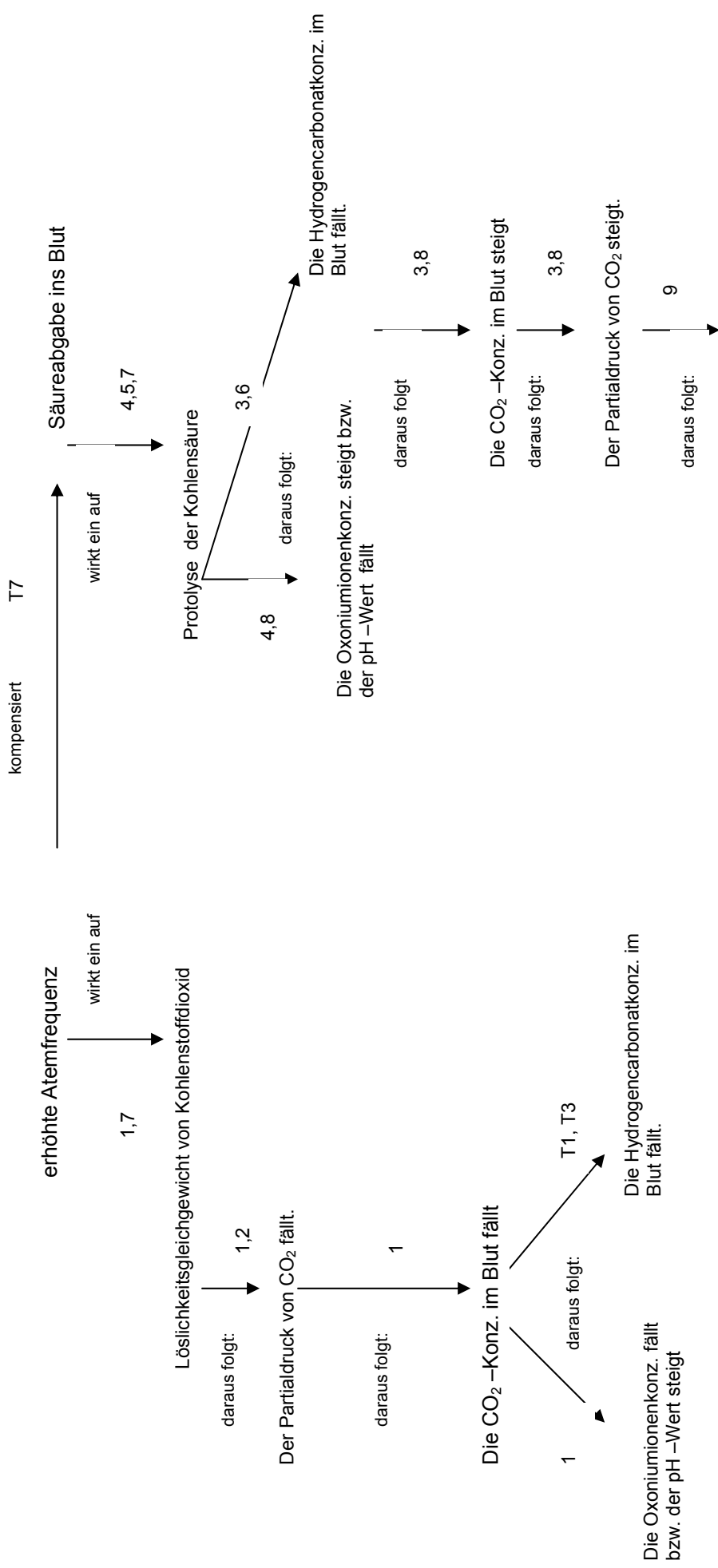
<sup>67</sup> Aussage nicht im Originalconcept map k2 enthalten, aber im Film k2. „..das insgesamt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure“(Transkription k2, C., S. C 111)

<sup>68</sup> Aussage nicht im Originalconcept map k2 enthalten, aber im Film k2.

„Lasst uns unsere Gleichungen als MWG schreiben, vielleicht sieht das anders aus, müsste eigentlich. Das sieht anders aus als das“(Transkription k2, M., S. C 110).

## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm nach Schülersaagen im Concept Mapping k2 in der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Hyperventilation und Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3

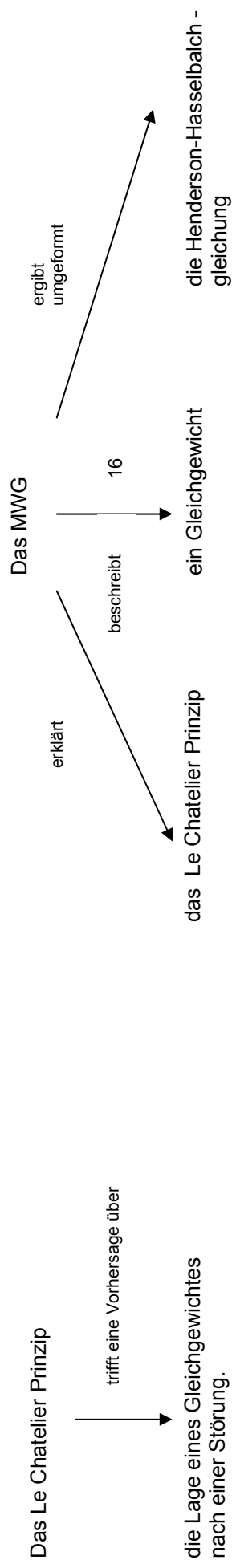


Folgende Aussage sind zusätzlich in der tabellarischen Auflistung der Aussagen enthalten:

10. Ist die  $\text{CO}_2$  - Konz im Blut gering, ist die potenzielle Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  höher und der Atemreiz wird unterdrückt
11. Die Hyperventilation führt bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel

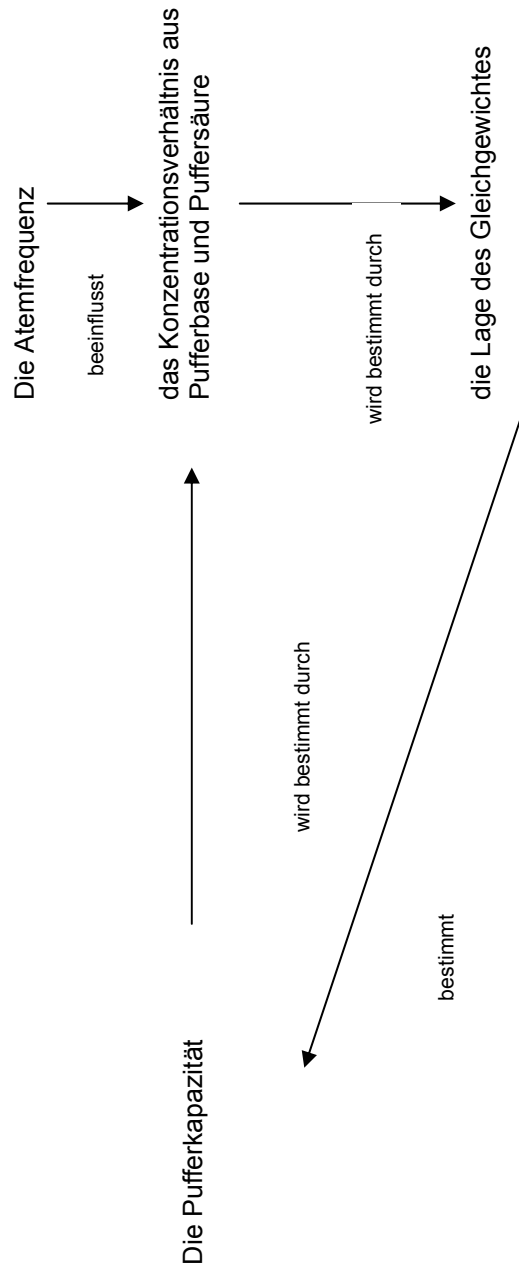
## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schülersaussagen im Concept Mapping k2 nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚MWG und Le Chatelier Prinzip‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



## Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Schüleraussagen im Concept Mapping k2 nach der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



Folgende Aussagen sind zusätzlich in der Datenaufbereitung 3 enthalten:

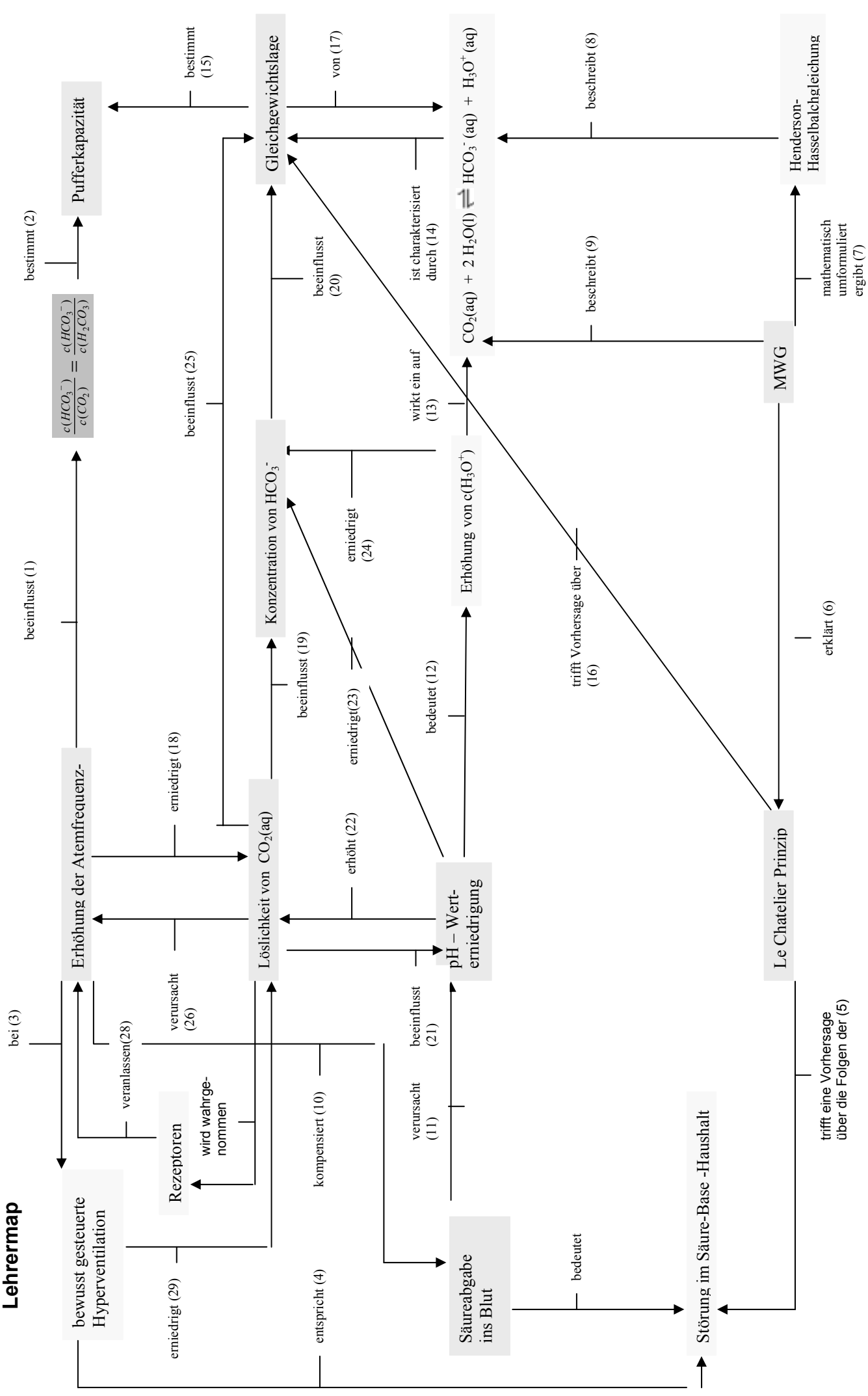
- 12 Hydrogencarbonatpuffer besitzt eine große Pufferkapazität.
- 13 Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der in einem breiten pH – Bereich puffert.
- 14 Der Blutpuffer enthält mehrere Puffersysteme, den Hydrogencarbonatpuffer und den Hämoglobinpuffer.
- 15 Beim Hydrogencarbonatpuffer reagieren die Hydrogencarbonationen mit den ins Blut eingetragenen Oxoniumionen und reagieren zurück zu Kohlensäure.

<b>2.5</b>	<b>Datenaufbereitung des Referenznetzes</b>	<b>C 147</b>
•	Lehrernetz	C 148
•	Datenaufbereitung 1: Verbalisierung der Propositionen	C 149
•	Datenaufbereitung 3: Sortierung der Aussagen nach inhaltlichen Katgorien <sup>69</sup>	C 151
•	Datenaufbereitung 4: Flussdiagramme nach inhaltlichen Kategorien	C 152
•	Flussdiagramme im Vergleich	C 155

---

<sup>69</sup> Datenaufbereitung 2 – der Vergleich zwischen Referenznetz und Probandennetz – entfällt, da es sich um das Referenznetz handelt.

# Lehrermap





## Datenaufbereitung 1 des Referenznetzes: Verbalisierung der Propositionen

Aussagen (L1 heißt beispielsweise Proposition 1 im Lehrermap)	in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage	in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage
L 1 Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ .	ja	ja
L 2 $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 3 Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation...	ja	ja
L 4 Bewusst gesteuerte Hyperventilation entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt.	ja	ja
L 5 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	ja	ja
L 6 MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	ja	ja
L 7 MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	ja	ja
L 8 Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 9 MWG beschreibt: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 10 Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	ja	ja
L 11 Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 12 pH –Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ .	ja	ja
L 13 Erhöhung von $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ wirkt ein auf $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 14 $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 15 Die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	ja	nein Begründung <i>letzte Aussage in der Ereigniskette</i>
L 16 Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage	ja	ja
L 17 Die Gleichgewichtslage von $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	ja	ja
L 18 Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ .	ja	ja
L 19 Die Löslichkeit von $\text{CO}_2(\text{aq})$ beeinflusst die Konzentration von	ja	ja

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .			
<b>Aussagen</b> (L20 heißt beispielsweise Proposition 20 im Lehrermap)		<b>in schlüssigem und direktem Zusammenhang zu vorangegangener Aussage</b>	<b>in schlüssigem Zusammenhang zu nachfolgender Aussage</b>
L 20	Die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 21	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	ja	ja
L 22	Die pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	ja	ja
L 23	Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	ja	ja
L 24	Die Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	ja	ja
L 25	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Gleichgewichtslage.	ja	ja
L 26	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 27	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) wird wahrgenommen von Rezeptoren.	ja	ja
L 28	Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	ja	ja
L 29	Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	ja	ja

### Verwendete Begriffe und ihr Verknüpfungsgrad

Begriffe	einfach verknüpft	zweifach verknüpft	dreifach verknüpft	vierfach verknüpft	x-fach verknüpft
1. Le Chatelier Prinzip			ja		
2. MWG			ja		
3. Säureabgabe ins Blut			ja		
4. pH -werterniedrigung					ja (5)
5. Gleichgewichtslage					ja (7)
6. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq)					ja (8)
7. Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				ja	
8. Erhöhung der Atemfrequenz					ja (6)
9. Pufferkapazität		ja			
10. $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$		ja			
11. bewusst gesteuerte Hyperventilation			ja		
12. Rezeptoren		ja			
13. Störung im Säure-Base-Haushalt			ja		
14. Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> )			ja		
15. Henderson-Hasselbalchgleichung		ja			
16. $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$					ja (5)

#### in Strukturformeln formulierte Gleichgewichte:

- CO<sub>2</sub> (g)  $\rightleftharpoons$  CO<sub>2</sub>(aq)
- CO<sub>2</sub>(aq) + H<sub>2</sub>O (l)  $\rightleftharpoons$  H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (aq)
- H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (aq) + H<sub>2</sub>O (l)  $\rightleftharpoons$  HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (aq)  
oder 2. und 3. zusammengefasst:
- CO<sub>2</sub>(aq) + 2 H<sub>2</sub>O(l)  $\rightleftharpoons$  HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (aq)

### Datenaufbereitung 3 des Referenznetzes nach inhaltlichen Kategorien

<b>Zur Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte</b>		
1.	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	L18
2.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die pH – Werterniedrigung.	L21
3.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) beeinflusst die Gleichgewichtslage:	L25
4.	Die Gleichgewichtslage von CO <sub>2</sub> (g) $\rightleftharpoons$ CO <sub>2</sub> (aq) und <sup>70</sup> Die Gleichgewichtslage von CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)	
5.	Säureabgabe ins Blut verursacht pH – Werterniedrigung.	L11
6.	pH – Werterniedrigung bedeutet Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ).	L12
7.	Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) wirkt ein auf das Kohlensäuregleichgewicht CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)	L13
8.	<b>Die durch Säureeintrag verursachte</b> <sup>71</sup> pH – Werterniedrigung erhöht die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	L22
9.	Die pH – Werterniedrigung erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	L23
10.	Die Erhöhung von c(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ) erniedrigt die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	L24
11.	Die <b>zunehmende</b> Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) <b>bei erhöhtem Druck</b> beeinflusst die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . <sup>72</sup>	L21
12.	Die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <b>bei Vergabe von Infusionslösungen</b> <sup>73</sup> beeinflusst die Gleichgewichtslage.	L20
<b>Zur Hyperventilation</b>		
13.	Die Erhöhung der Atemfrequenz bei bewusst gesteuerter Hyperventilation	L3
14.	entspricht einer Störung im Säure – Base Haushalt <sup>74</sup> .	L4
15.	Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert Säureabgabe ins Blut	L10
16.	Bewusst gesteuerte Hyperventilation erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq).	L29
17.	Die <b>vermehrte</b> Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) <b>bei stoffwechselbedingten Säureeintrag</b> <sup>75</sup> verursacht die Erhöhung der Atemfrequenz.	L26
18.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> (aq) wird wahrgenommen von Rezeptoren.	L27
19.	Rezeptoren veranlassen die Erhöhung der Atemfrequenz.	L28
<b>Zur Pufferlösung und Pufferkapazität</b>		
20.	Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst den Wert des Quotienten aus den Konzentrationen von Hydrogencarbonat und Kohlensäure $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ .	L1
21.	Der Wert des Quotienten $\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ bestimmt die Pufferkapazität.	L2
22.	Das Gleichgewicht CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq) ist charakterisiert durch die Gleichgewichtslage	L14
23.	und die Gleichgewichtslage bestimmt die Pufferkapazität.	L15
<b>Zum MWG und zum Le Chatelier Prinzip</b>		
24.	Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Folgen der Störung im Säure Base –Haushalt.	L5
25.	MWG erklärt Le Chatelier Prinzip	L6
26.	MWG mathematisch umformuliert ergibt die Henderson-Hasselbalchgleichung.	L7
27.	Die Henderson-Hasselbalchgleichung beschreibt: CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)	L8
28.	MWG beschreibt: CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)	L9
29.	Le Chatelier Prinzip trifft eine Vorhersage über die Gleichgewichtslage von: CO <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sub>2</sub> O(l) $\rightleftharpoons$ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq) <sup>76</sup>	L16 L17

<sup>70</sup> Ergänzung, im Lehrmap nicht explizit formuliert.

<sup>71</sup> im Vergleich zum Lehrmap in der Originalfassung ergänzt durch ‚durch Säureeintrag verursachte‘

<sup>72</sup> im Vergleich zum Lehrmap in der Originalfassung ergänzt durch ‚erhöhte‘ und ‚bei zunehmenden Druck‘

<sup>73</sup> im Vergleich zum Lehrmap in der Originalfassung ergänzt durch ‚bei Vergabe von Infusionslösungen‘

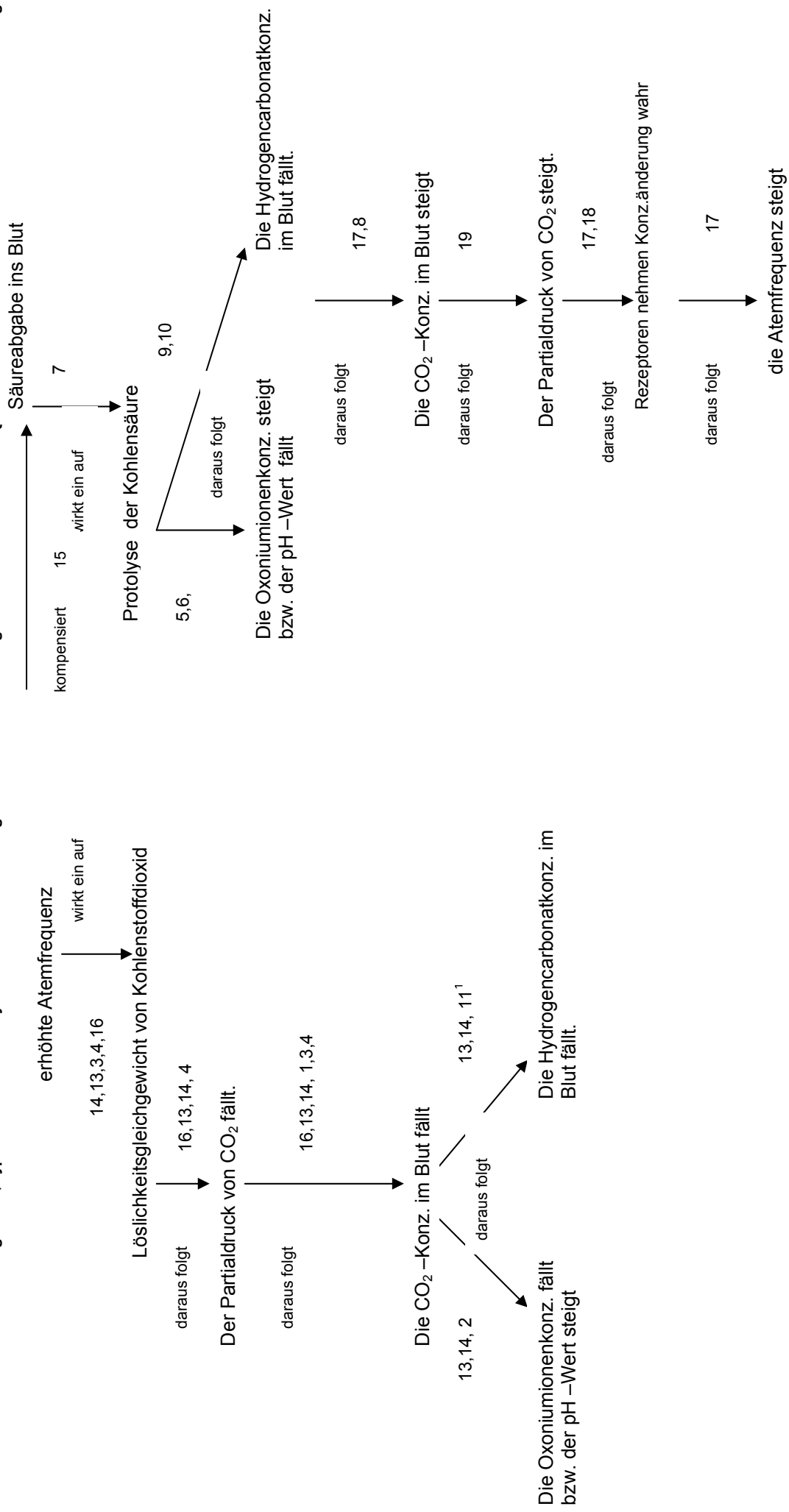
<sup>74</sup> veränderte Fassung im Vergleich zum Lehrmap in der Originalfassung: weggelassen wurde ‚im Säure – Base – Haushalt.‘

<sup>75</sup> Die Aussage im Lehrmap in der Originalfassung wurde ergänzt durch ‚vermehrte‘ und durch ‚bei stoffwechselbedingten Säureeintrag‘.

<sup>76</sup> Im Vergleich zur Originalfassung des Lehrmaps sind die Propositionen 28 und 29 zusammengefasst.

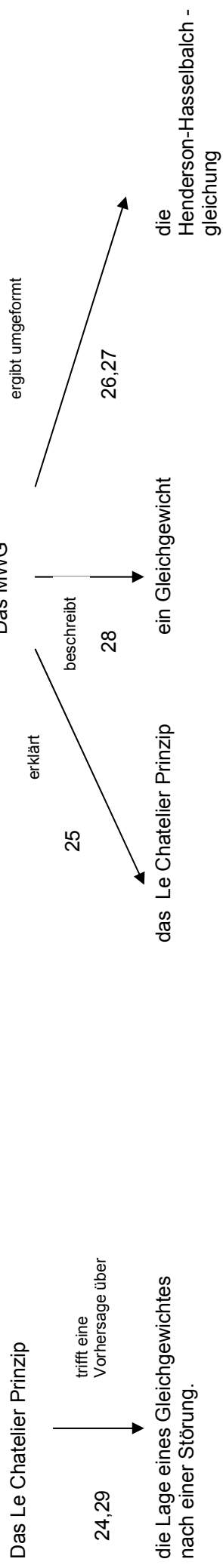
### Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm nach Aussagen im Referenznetz in der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚Hyperventilation und Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



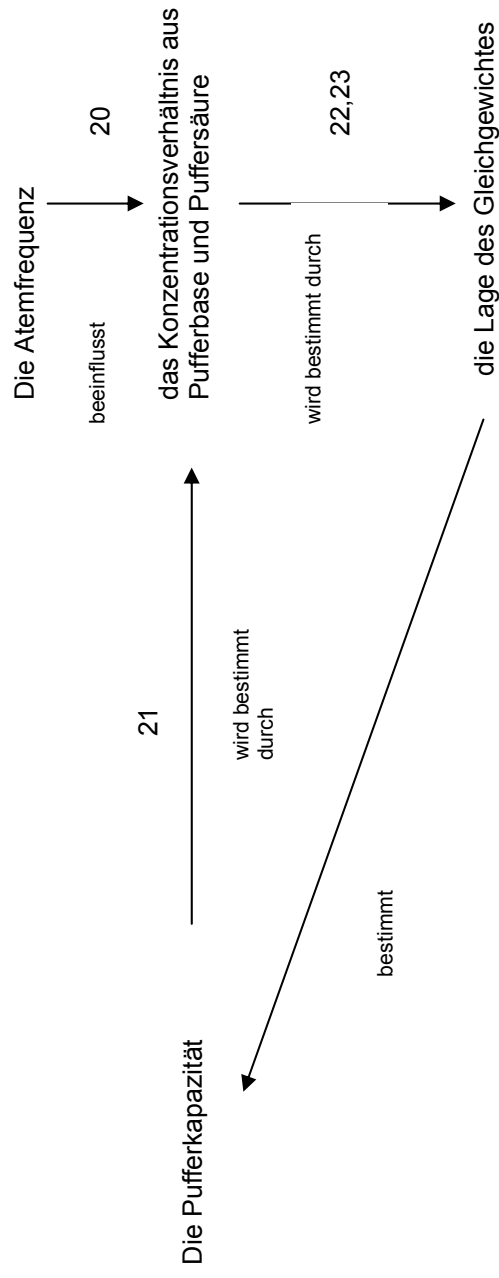
### Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Referenzaussagen in der Datenaufbereitung 3

Inhaltliche Kategorien: ‚MWG und Le Chatelier Prinzip‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



### Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Referenzaussagen in der Datenaufbereitung 3

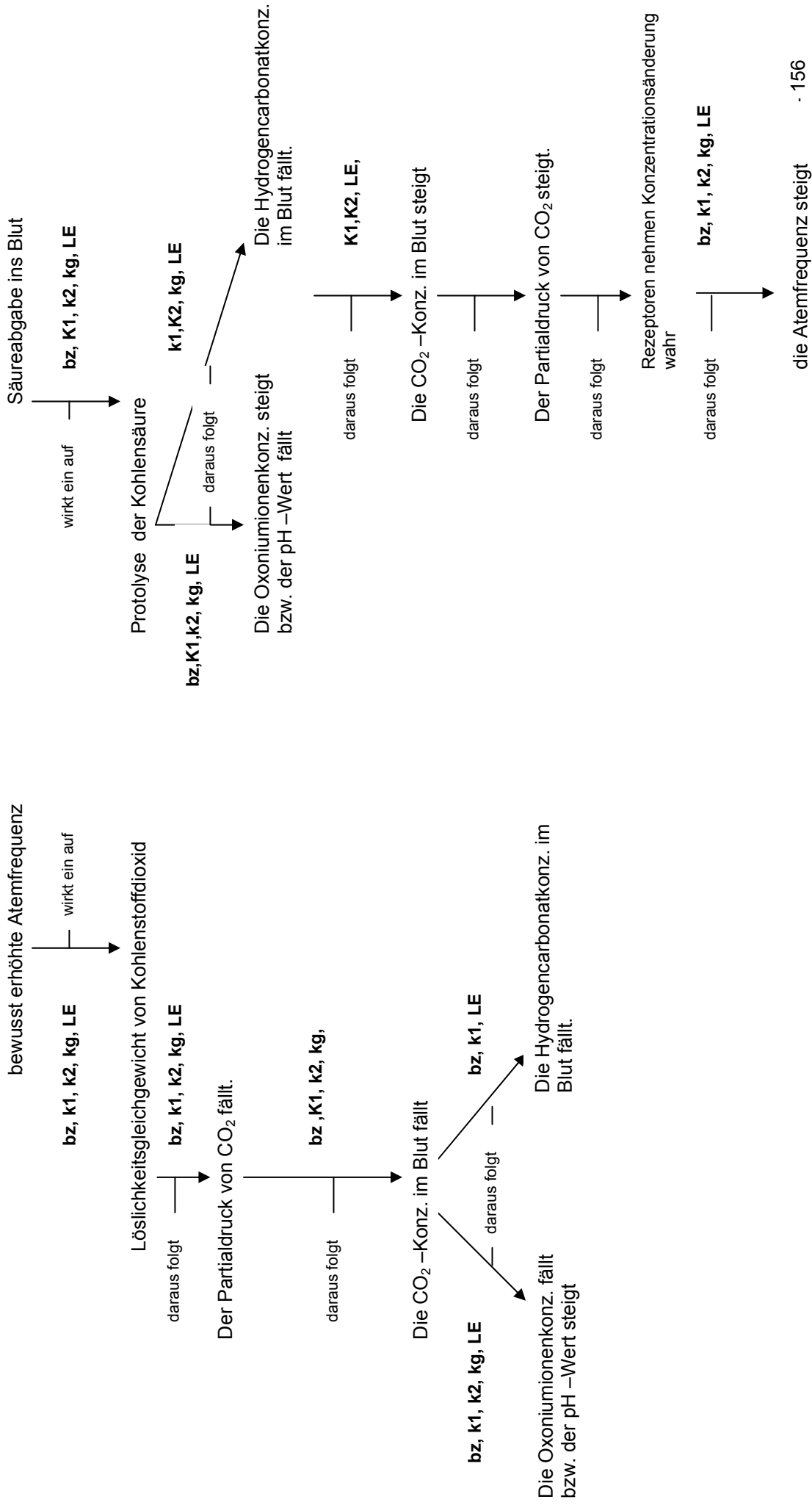
Inhaltliche Kategorien: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘. Die Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Datenaufbereitung 3



## Flussdiagramme im Vergleich

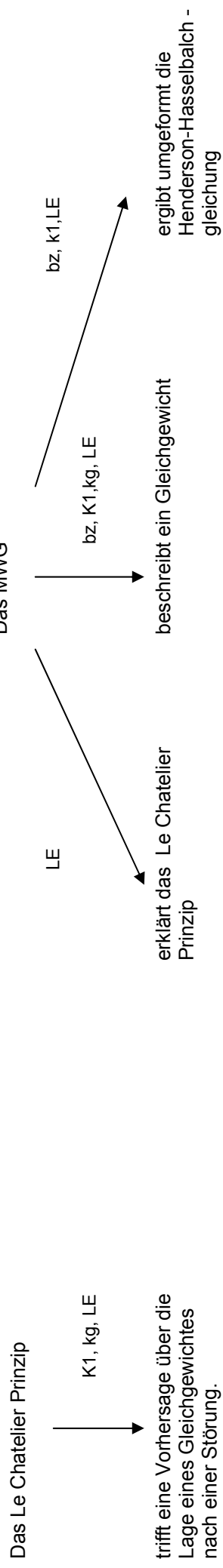
C 155

**Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Aussagen in den Netzen bz, k1, k2, kg und LE**  
 Inhaltliche Kategorie: Hyperventilation und Dynamik sich wechselseitig beeinflussender Gleichgewichte

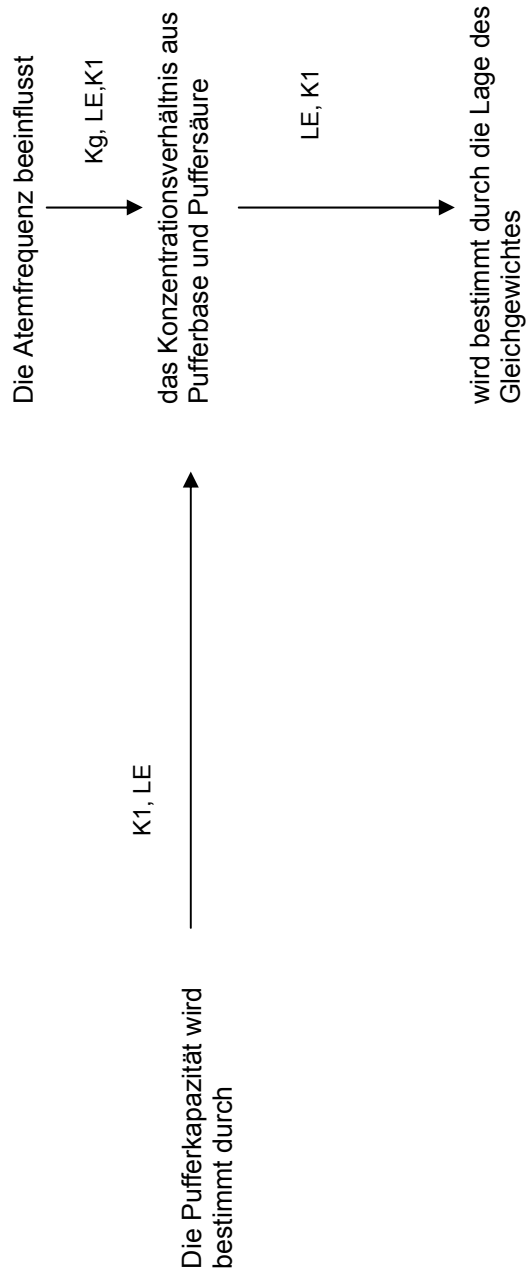




**Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Aussagen in den Netzen bz, k1, k2, kg und LE**  
**Inhaltliche Kategorie: ‚MWG und Le Chatelier Prinzip‘**



**Datenaufbereitung 4: Flussdiagramm der Aussagen in den Netzen bz, k1, k2, kg und LE**  
**Inhaltliche Kategorie: ‚Pufferlösung und Pufferkapazität‘**



**2.6 Auswertungsgespräch  
der Beobachter und Beobachterinnen**

**C 159**

## Transkription des Auswertungsgesprächs

**Teilnehmer: ASE (Concept Mapping bz), ADA (Concept Mapping kg), HDB (Concept Mapping k2), P. (Concept Mapping k1), HOF**

7:38	HDB	Ich hatte das Gefühl bei meiner Gruppe, dass ihnen die Problematik bewusst war, sie aber furchtbar gerne jemanden gefragt hätten.
	HOF	Das erstaunliche ist, Im Fragebogen haben 97% der SS angekreuzt, sie hätten sich nicht mehr Lehrerpräsenz erwünscht.
	P.	Wie war Ihr Eindruck über die zwei Stunden? Waren Sie zufrieden?
	HOF	Ich hab die maps angesehen und ich war beeindruckt. Zum Teil ist sicher einiges zu verbessern. Aber man muss sich dann immer wieder fragen, hätte ich selbst es besser machen können unter den Bedingungen, die die Schüler hatten?
	P	Ich glaube es ist günstig so vorzugehen, wenn wir nachfragen, was war in den anderen Gruppen los? .....Vielleicht fangen wir doch erst mit der Auswertung der Fragebögen an.
	HOF	Die überwiegende Anzahl der Schüler sagte, dass sie den Teilaspekt ‚Hyperventilation‘ angemessen empfanden. Es ging dabei um das Thema, ob sich das Thema für ein concept map eignet. Die Besonderheit des concept mappings liegt darin, dass manche Zusammenhänge nicht besonders gut dargestellt werden können. Ich glaube, wenn Schüler ganzheitlich lernen, ist es eine Schwierigkeit damit umzugehen. Alle meinen dennoch, das Thema ist geeignet, obwohl nicht alle mit dem concept map als Methode zufrieden sind.
	P	Wo sind sie nicht zufrieden?
	HOF	Zusammenhänge werden beim concept map nicht immer deutlich: Beziehungen wie ‚je mehr desto ... und je weniger desto‘ also halbquantitative Aussagen, oder ‚wenn dann Beziehungen‘ sind schwer darstellbar. Dennoch ist das concept map eine Repräsentation des Wissens. Zusammenhänge werden visualisiert. Und das macht gute Stimmung Dabei zeigte sich eine hohe Akzeptanz der Gruppenarbeit. Die Schüler sagten, nur in der Gruppe hätten sie diese Arbeit leisten können. Mehr Lehrerpräsenz war in der Regel nicht erwünscht. Sie waren froh, dass sie etwas selbst gemacht hatten.
	ADA	Die Gruppen haben sich selbst zusammengefunden?
	HOF	Die Gruppe im Kleingruppenraum hat sich selbst zusammengefunden, die anderen nicht. Die anderen sagten, ‚teilen Sie uns ein‘. Ich habe dann leistungsstarke Schüler in unterschiedliche Gruppen verteilt. Ich wollte einen Ausgleich schaffen und habe zurückhaltende Schüler und leistungsstarke Schüler in einer Gruppe zusammengestellt. Eine Schülerin sagte mir, sie findet es gut in unterschiedlichen Gruppen zu sein, um zu erkennen, ja mit dem kann ich zusammenarbeiten mit der anderen weniger.
16:00	ASE	Ich fand die Arbeit in meiner Gruppe sehr intensiv . Ich hatte allerdings Schwierigkeiten, die Einordnung - von dominant bis unauffällig - nach Zahlen zu treffen. Ich hätte für die Einordnung andere Begriffe gewählt.  In meiner Gruppe war es ein Miteinander. Es war so, dass sie sich einander die Bälle zugespielt haben. Irgendwann brach es ein bisschen ein. Es waren dann zwei, die miteinander arbeiteten, I. mit L. und B. mit Lr... B. war ausgleichend. Es war niemand, der sagte, wir machen das so und so. Sie haben miteinander gearbeitet. Ich hatte von meinem Platz den Eindruck, dass sie linear arbeiteten und war ganz überrascht, es später vernetzt zu sehen. Es war eine ganze Weile linear. Was war das, was war das, wir sollten doch eigentlich vernetzen. Auf jeden Fall war die Arbeit in der Gruppe für die Erstellung des map wichtig. Ich gehe davon aus, dass es in Einzelarbeit schwer machbar gewesen wäre.

		Es war immer ein hier etwas Anfragen, da etwas Nachfragen. Es war dann der Gruppenprozess, der das vorangetrieben hat und letztlich die Erstellung gebracht hat.
	ADA	Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe war gut gewählt, weil es relativ lang gedauert hat, bis die Schüller erst mal, bis es ‚Klick‘ gemacht hat. Wenn es zu einfach gewesen wäre, dann wären sie nach zehn Minuten fertig gewesen. Sie haben das so oft umstrukturiert. Ich glaube auch nicht, dass einer allein das hingekriegt hätte. Bei mir war es o, dass zunächst eine dominant war, wobei ich dachte, die macht das. Das hat sich geändert. Nach zehn Minuten kam eine andere, die das ganze in die Hand genommen hat.
	P.	Wie kam der Wendepunkt zustande?
	ADA	Die eine war sehr dominant. Sie legte gleich die Karten. Ich weiß nicht.
	P	Man kann ja im Gedankenexperiment Vermutungen anstellen. Eine Vermutung im Gedankenexperiment ist, es könnte mit den Inhalten und der Aufgabenstellung zusammenhängen. Es kann aber auch an der Methode liegen. Dass die Methode zwingt, Dominanz abzubauen.
	ADA	Weiß ich nicht. Kann ich nicht sagen.
	P.	Das blieb dann so?
	ADA	Ja es blieb dann so, dass die eine zurückhaltender wurde, die andere dominanter wurde.
	ASE	Ich glaube nicht, dass die Methode zwingt, Dominanz abzubauen. Ich kann mir vorstellen, dass jemand dominant ist, das in der Hand hält, zwar nachfragt und trotzdem die Fäden in der Hand behält.
	P	In meiner Gruppe war ein Medizinersohn, der unendliches Wissen ausbreitete, bis es zu Verknüpfungen kam. An dieser Stelle wurde der Schüler unsicher. Dann kam A.. Die übernahm dann die Zusammenhänge (Nach Aussage von A. hat es sie geärgert, dass T. so dominant war. Es hat sie gereizt, nachzuweisen, dass er Unrecht hat)
	ASE	Es muss nicht zwangsläufig sein, dass Dominanz abgebaut wird. Es könnte sein, dass das Mädchen es zuerst für sich selber klarmachen muss, bevor sie es rausgibt. Andere legen sofort los.
	P	Bildet sich vorab eine Struktur im Kopf? Aber bleiben wir bei der Gruppenarbeit.
	P	Der Junge, der so dominant war, fing an, Sachzusammenhänge zu rekonstruieren. Das war wie eine Präsentation eines Lehrwerkes. Er ordnete, schob Begriffe und die anderen spielten fast keine Rolle. Es kam häufig von ihm, ‚das ist doch logisch, nicht?‘ Das war also nicht nur ein Lehrwerkzusammenhang. Er versuchte das auch für sich in einen logischen Zusammenhang zu bringen. Da entstanden allmählich die beiden Merktzettel, auf denen er aufschrieb, wie er den Zusammenhang gerade sah. Das war sachlich unpersönlich, weit weg von Gruppenarbeit. Zumal da eine Schülerin war, M., die sprachlich große Verständnisschwierigkeiten hatte. Da musste gedolmetscht werden. Sie hatte keine Chance.
24:50		Und dann brauchten sie 30 Minuten. Dann ordnete sich das. Jetzt hatten sie die Merktzettel. Nach einer Stunde fingen sie erst an zu legen und kamen in Zeitnot oder meinten in Zeitnot zu kommen. Das hing mit der Vorordnung der Nachklärung zusammen. Damit hing das wohl zusammen.
	ASE	Es ging darum Karten anzugucken. Es musste das geklärt werden, was vorgegeben war. Das musste stehen. Dann erst konnte das map gelegt werden.

P	Nachher, als sie zusammenpackten, habe ich A. gefragt und da hat sich das bestätigt, was Sie G.gt haben. Das wichtigste war die Erfahrung des Hyperventilierens. A. sagte, ‚ich war wirklich an der Grenze‘. Es war ihr wichtiger als das concept map. Sie hat das nicht gegeneinander ausgespielt. Es war ganz hochrangig, eine existentielle Erfahrung. Das war wahrscheinlich deshalb, warum die Methode so gut gegriffen hat, weil sie unten drunter so etwas wie eine existentielle Erfahrung hatten.
HDB	Für mich gibt es mehr Gesichtspunkte, die angesprochen werden sollten. Der eine, dass die SS mit Pfeilen etwas machen sollten und sie es zunächst nicht getan haben und ich habe nachher auch begriffen warum. Sie fühlten sich herausgefordert und wollten eine gute Leistung bringen. Wenn sie sofort mit Pfeilen angefangen hätten, hätten sie eigentlich schon wissen müssen, was dann dasteht und das wussten sie nicht. Ganz langsam entstand ein Bild von der Komplexität. Dass sie nicht wussten, wo sie genau hin sollten, machte meine Gruppe daran fest, dass sie noch nicht alle Karten verwandt hatten. Also musste was falsch sein. Da stellt sich die Frage nach der Auswahl der Karten. Deshalb haben sie so viel Zeit verbraucht. Sie entdeckten sehr rasch einzelne Zusammenhänge zwischen den weißen Karten. Sie erklärten sich rasch die Zusammenhänge von einigen Karten. Teilstrukturen, die linearer Art waren, standen relativ schnell da und dann haben immer welche G.gt, das hängt damit und damit zusammen, und sie waren immer wieder gezwungen, die Teilstrukturen aufzulösen. Und da habe ich überlegt, dass es hilfreich gewesen wäre, wenn sie mit kleineren Elementen hätten operieren können, wo sie die Pfeile sicher hätten zeichnen können. Sie konnten die Pfeile nicht so schnell zeichnen, weil sie unsicher waren und das hat aufgehalten. Sie haben sich einfach nicht getraut zu zeichnen.
	Von der Gruppenarbeit war das Spektrum von 2 – 5 ausgeschöpft. Am Anfang war ein intensiver Austausch, bis das eine Mädchen sich zurücknahm oder sein Pulver verschossen hatte oder weil sie darüber nachdachte, wie sie die Komplexität herstellen könnte. Am Ende kam sie dann wieder ins Rennen. Am Anfang war eine dichte Atmosphäre. Keine Nebengespräche. Liebend gerne hätten sie zu ihren Aufzeichnungen gegriffen. L. sagte, Frau Hoffmann hat G.gt, wir dürfe das nicht.
	Beim Fragbogen stellte sich heraus, dass sie nicht wussten, was ein Flussdiagramm war.
	Faszinierend war, wie sich im Laufe der Stunde die Komplexität herausstellte und die Struktur entstand. Die wiederum entstand nur gemeinsam. Alle hatten Teilaspekte beigetragen. Aber den Zusammenhang haben sie nur zusammen hingekriegt.
P	Entstanden die Strukturen beim Legen oder waren sie vorab da?
HDB	Die entstanden beim Legen. Das hängt doch auch damit zusammen. War etwas unklar, dann rupften sie wieder alles von der Platte und fingen wieder neu an.
P	Ich habe deshalb gefragt, weil bei meinem T. sein Wissen und die Ernsthaftigkeit zwischen ihm und der Methode stand. Sein profundes Wissen hat ihn gehindert, die Stärken der Methode auszuschöpfen. Ich habe das so gesehen, dass er das, was er im Kopf hatte, das hat er visualisiert. Die Methode selber war ihm keine Hilfe.
HDB, ASE, ADA	Das habe ich anders erlebt. Da waren die Strukturen nebeneinander und nicht nacheinander.
ADA	Ich habe gerade von mehreren Gruppen gehört, dass sie liebend gerne nachgeschlagen oder nachgefragt hätten. In meiner Gruppe, da wollten sie das allein schaffen. Sie wollten gar nicht nachgucken.
ASE	Sind Sie überrascht gewesen, dass sie nicht mehr Lehrerpräsenz gewünscht haben?

	HOF	Überrascht war ich nicht.
	ASE	Ich kann mir vorstellen, dass Lehrerpräsenz hinderlich sein kann, weil man sich in der Gruppe und mit der Methode ein Stück bloß legt. Nämlich zeigt, das hae ich behalten, da bin ich mir nicht sicher, da brauche ich jemanden, der mir etwas erklärt. Und wenn ein Lehrer dabei steht, dann merkt er ja, dass ich etwas nicht weiß.
	ADA	Bei mir kam oft die Frage: Was war Le Chatelier? Sie haben laut G.gt, wo sie ihre Lücken haben.
	HDB	Die Stunde steht und fällt mit der Auswahl der Karten. Was wäre gewesen, wenn Du G.gt hättest, ‚Hyperventilation‘ stelle bitte das in einem concept map dar. Die Anzahl der Karte und ihre Inhalt waren Aufforderung und Hemmnis zugleich. Hemmnis gegen eine vollständige Lösung Aufforderung, denn es war klar, es musste alles darein.
	HOF	Die Karten sind Hilfen. Daran habe ich mich festgehalten. Ich möchte das ganz aber in einen G.mtzusammenhang einbetten. Vor den Sommerferien möchte ich nochmals eine Überprüfung des Wissens starten. Gegeben ist ein ganz neuer Kontext, in dem Gleichgewichtsbetrachtungen zur Erklärung dienen. Erarbeitet soll die Aufgabe im Rahmen einer Gruppendiskussion. Ich habe dabei an eine Stufigkeit des Lernens gedacht. Hier eine Art von Reorganisation des Wissens, denn das Phänomen der Hyperventilation ist den Schülern bekannt.
	HDB	Concept mapping kann keine Reorganisation sein.
	P	Es kommt darauf an, was man unter Transfer versteht, es ist so eine Art von vertikalem Transfer: Sie bilden eine Hierarchie von Begriffen. Wir neigen dazu unter Transfer die Übertragung von irgendwelchen Merkmalen auf ähnliche oder gleiche Gegenstände zu verstehen. Beim concept mapping bilden die SS hier doch eine Struktur, die sie bisher noch nicht gekannt haben. Das ist ein erhöhter Anspruch. Das würde ich unter Transfer verstehen. Gleichzeitig machen sie eine Stufigkeit im concept mapping. Sie geben Begriffe vor und lauern darauf, dass die SS neue Kärtchen benutzen. Das ist eine Mischform.
	ASE	Meine Gruppe hat das eher gehemmt. Sie haben vorhandene Karten versucht zu verarbeiten und haben dann formuliert, wir sollen doch noch weitere Karten benutzen. Es hätte für die Gruppe ausgereicht mit vorhandenen Karten, eigene Karten zu schreiben, war für diese Gruppe zu viel.
	ADA	Was mich gewundert hat, dass die Schüler im Fragebogen auf die Frage, ‚Eignen sich concept maps, um neues Wissen zu erwerben‘, da haben alle G.gt, nein. Sie haben es nicht gemerkt, dass es was ganz Neues ist. Aber im Prinzip haben sie etwas Neues gemacht.
	ASE	Wen man keine Karten vorgibt, wäre das nicht eine Überforderung?
	HDB	Es muss nicht sein. Es kommt auf die Bedingungen an. Es liegt daran, wie man geübt hat, wie viele concept maps sie entwickelt haben, wie viel sie von dem Sachzusammenhang wissen.
		Mit den weißen Karten steht und fällt die Komplexität dieser Stunde. Es ist schon die Frage: Wie bist Du zu diesen Karten gekommen?
	P	An welchen Stellen des Inhalts sind zusätzliche Karten entstanden?
	HDB	Die Frage ist immer, wie man auswählt. Diejenigen, die versucht haben, das in eine Art von Struktogramm darzustellen, aus dem dieses oder jenes folgt, können Probleme bekommen. Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid beispielsweise, das ist ein Vorgang, das ist etwas anderes, als wenn ‚MWG‘ auftaucht, das ja nicht dieselbe Funktionalität hat wie ‚Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid‘. Wenn man sich dies anguckt (Hinweis auf ein aufgehängtes concept map), ‚zuviel CO <sub>2</sub> – Le Chatelier Prinzip – höhere Konzentration von CO <sub>2</sub> ,‘ dann ist das eigentlich falsch. Das liegt daran, dass hier ein Oberbegriff existiert ‚Le Chatelier Prinzip‘ oder ‚MWG‘, während beispielsweise ‚Konzentration von

		Hydrogencarbonat', ‚Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ‘, das sind Fließbegriffe. Das Wort ist frei geschöpft.
		Das stellt die Frage nach dem Gruppenauftrag. Da die Gruppen das Gefühl hatten, sie müssten alle Karten verwenden, muss man doch sehen, dass ‚MWG‘ und ‚Le Chatelier Prinzip‘ Karten sind, die man eigentlich außerhalb hinstellen kann. Und je nachdem wie Schüler das auffassen stoßen sie auf größere oder kleinere Probleme. Diejenigen, die das bemerken, das es etwas ist, das sozusagen im concept map als Erklärungskarte herausragt, haben natürlich eine größere Transferleistung als die anderen. Aber zunächst ist das erstmal eine Erschwernis. Die Karten haben nicht dieselbe Qualität. Im Rahmen des concept maps sind die Beschreibungskarten, diejenigen, die das bemerken, sind besonders fit.
		Du hast für das concept mapping 45 Minuten angesetzt. Da wäre es hilfreich gewesen, man hätte G.gt, dass die Karten eine unterschiedliche Qualität haben.
	ASE	Man kann Begriffe geben, die auf unterschiedlichen Ebenen sind.
	HDB	Die Karten haben eine unterschiedliche Qualität und das hätte man sagen können.
	ADA, ASE	Dass hätte eher verwirrt. Sie hätten gefragt, was heißt denn ‚auf unterschiedlichen Ebenen‘?
	P	Leichter wäre es nicht. Es käme aber heraus aus einer Lernkontrollenfunktion. Ich habe bei Ihnen herausgehört, dass Sie es ein bisschen bedauert haben, dass das concept map funktioniert wie eine Lernkontrolle.
	HOF	Da haben Sie mich falsch verstanden. Ich finde es geradezu positiv, dass es wie eine Lernkontrolle wirkt. Zu überlegen wäre sogar, ob man nicht ein concept map so gestaltet, dass es als Klausurersatz dienen könnte.
	ASE	Ich möchte noch einmal da anknüpfen: Es müssen alle Karten benutzt werden. Was wollen Sie erreichen? Wollten Sie erreichen, dass das Thema angedacht, überdacht und entwickelt wird oder wollten Sie gucken, was bei den Schülern noch an Wissen vorhanden ist. Wenn es das Zweite ist, dann wäre es tatsächlich besser zu sagen: „Ich habe Hilfen, die könnt ihr benutzen. Nehmt die, von denen ihr sicher seid, die könnt ihr verwenden oder die sagen Euch konkret noch was.“
	HOF	Ich wollte in der Gruppenarbeit die Erklärungen für das Phänomen rekonstruieren und gleichzeitig Wissen abprüfen.
	P	Beide Vorschläge sollen drin sein., wobei man ins Grübeln kommt. Wenn die Schüler rekonstruieren, dann rekonstruieren sie anders als beim ursprünglichen Unterricht. Was ist das andere an diesen concept maps gegenüber dem, was Sie im Unterricht angestrebt haben oder zumindestens was in der Klausur herausgekommen ist, was da messbar war? Ich würde die These wagen, dass hier andere Strukturen, auch andere Inhaltsstrukturen sind. Sie ordnen anders zu als in der Klausur. Das wäre meine These.
	HDB	Mich überzeugt nach wie vor, dass die Komplexität der Aufgabe, also das was dabei herausgekommen ist, die das concept map entwickelt haben, mit einer Lernerfolgskontrolle oder Lernzielkontrolle, wie auch immer Du das nennst, wenig zu tun hat. Mit dem, was Du in der Klausur gemacht hast und dem was hier vorliegt, liegen eigentlich Welten dazwischen. Das, was Du hier überprüfen kannst, ist, ob die kausalen Bezüge korrekt sind. Aber das, was an mehr hier herausgekommen ist, ist schwer zu klassifizieren.
55:08	P	Würde man eigentlich nur über eine Analyse der Gruppenarbeit aus dem Videomaterial herausbekommen, wenn man die Begründung hat, warum hier welche Karten an welcher Stelle liegen.
	HDB	Für Schüler hat sich die Gruppenarbeit gelohnt. Jedenfalls das, was ich in meiner Gruppe gesehen habe, war sehr schön.



	P	Ich würde gerne nochmal am anderen Ende spinnen. Wie wäre es am anderen Ende? Wenn man mit einem concept map beginnt, mit wenigen Begriffen. Dass es nicht der Abschluss ist sondern der Anfang.
	ASE	Man könnte nur mit zwei Begriffen anfangen.
58:00	HDB	War es ökonomisch? Hat sich das gelohnt?
59:00	P	War die Methode effektiv? Es ist eine Verlangsamung. Gruppenunterricht ist immer eine Verlangsamung. Dies ist noch mal eine weitere Verlangsamung.
	HDB	Die Methode ist anderen Methoden sehr überlegen. Du weißt doch genau, dass nach einem Viertel Jahr das Wissen, das in der Klausur abgefragt worden ist, Schnee von vorgestern ist.
	ASE	Wir argumentieren auf zwei Schienen. Die eine Schiene ist, wie haben Sie den Unterricht gestaltet und die zweite Schiene ist, wie ist dieses concept map einzuordnen. Die beiden Schienen müssen zunächst primär nichts miteinander zu tun haben.
	HDB	Ingrid betrachtet da zunächst mal mit einer Methode, ob das Erlernete heute noch verfügbar ist. Und da ist herausgekommen, dass das Wissen verfügbar ist und zwar im komplexen Umfang.
	ASE	Wie ist das eigentlich, wenn ich das concept map am Ende eines traditionellen Unterrichts durchführen würde, um letztendlich Aussagen darüber zu haben, liegt es an diesem concept map oder liegt es an dem Unterricht vorher, weil so große Motivation mit dem Thema zusammenhängt, dass man in einfacher Weise ein concept map erstellen kann oder es gar nicht nötig ist, weil das Wissen durch die Art des Unterrichts sich verankert.
	HOF	Aus meiner Sicht lässt sich eine Vergleichsstudie kaum herstellen. Da es sich um eine Feldstudie handelt, können nie die gleichen Parameter eingehalten werden. Laborbedingungen lassen sich nicht auf eine Unterrichtsorganisation übertragen. Wenn ich meine, dass die eine Unterrichtsorganisation zum gleichen Thema besser ist als die andere, dann lässt sich aus ethischen Gründen nicht rechtfertigen, dass ich für die eine Lerngruppe die bessere, für die andere Lerngruppe die schlechtere Lösung wähle.
	P	Ich würde alle Fragen nach dem vorangegangenen Unterricht ausklammern, weil dies an dieser Stelle nicht weiterbringt.
		Ein Satz zur Effektivität. Dafür habe ich ein verankertes Wissen erzeugt. In meinen Fächern heißt das, Lernplateaus bilden. Und die bedeuten so eine Verlangsamung. Sie haben ein Plateau gebildet und auf diesem Plateau haben sie ein fest verankertes Wissen gebildet. Wie weit und wie viel, das wollen Sie jetzt überprüfen.
	P	Was hindert uns in einer derartigen Unterrichtsorganisation und mit concept maps als spezielle Methoden zu arbeiten? Wo sind die Widerstände? Ist es die Zeitinvestition?
60:06	P	Concept map hat einen Vorzug gegenüber mind maps. Mind maps sind beliebiger. Ich finde, dass dies eine bessere Struktur hat, es besser illustriert, an welchen Stellen es gehakt hat, wo man zusätzliche Karten gebraucht hätte. Bei den üblichen mind maps werden die Begriffe so genommen, wie es gerade kommt und dann werden sie verbunden.
	ASE	Warum soll die Unterrichtsorganisation zeitintensiver sein? Für mich ist das eher eine Zeitverschiebung.
	HDB	In wie weit ist das, was Du an Vorbereitung gemacht hast, gesichert? Im Prinzip könnte das von jedem Biologie- und Chemielehrer wiederholt werden?

## **2.7 Überprüfung der Filmtranskription mit den Beobachtern**

**C 166**

- Transkription bz C 167
- Transkription k2 C 168
- Transkription k1 C 170
- Transkription kg C 174

## Die Überprüfung der Transkription

Die Überprüfung der Transkription durch die Beobachter A. und HDB fand am 23.08.01 von 16:00 bis 19:00 Uhr statt. Die Untersuchende HOF stellte den Beobachtern HDB und ADA die Filmsequenzen vor, die als Ersatz für fehlende, missverständliche oder falsche Propositionenausgewählt wurden. Grau unterlegt sind die Transkriptionsabschnitte, zu denen die Filmsequenzen gezeigt wurden. Die Korrekturen von A. und HDB sind in der Aussagenspalte kursiv fettgedruckt und eingerahmt.

### 1.1 Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum bz - B., I., Lr., L., Frau A. –

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
3:06	L.	Le Chatelier Prinzip, war das nicht das Gleichgewicht, gleiche Dingen raus wie rein?	
22:21	B.	Le Chatelier Prinzip ist, dass gleich viel, raus wie rein geht. Und wenn die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> zunimmt, ist das nicht mehr der Fall, da geht mehr rein wie raus.	Le Chatelier Prinzip: Jede Störung eines Gleichgewichtes durch Änderung äußerer Bedingungen führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichtes, die die Störung entgegenwirkt. B. verwechselt das Le Chatelier Prinzip mit einem Fließgleichgewicht.
27:48	I.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> hängt mit dem Druck zusammen.	
27:58	Lr.	Erhöhter Druck führt zu erhöhter Löslichkeit von CO <sub>2</sub> .	Gesetz von Henry
28:14	Frau A.	Es liegen mehrere Unterlagen zum Ausprobieren vor.	
29:20	Lr.	Erhöhter Druck ändert die Gleichgewichtslage.	Wesentliche Aussagen werden gemeinsam gefunden.
40:45	B.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> bewirkt erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration und erhöhte Oxoniumionenkonzentration.	
	Lr.	Säureabgabe ins Blut....	
42:32	I., L.	Pufferkapazität lässt nach, ist ausgeschöpft.	▼
42:50	B.	Pufferkapazität nicht bei einer Säureabgabe allgemein, sondern bei einer bestimmten Menge an Säureabgabe.	bezogen auf: Pufferkapazität lässt nach. Quantitatives Maß der Pufferkapazität erfasst.
	Lr.	Puffer ist ausgenutzt, dann erfolgt die pH – Werterniedrigung.	
49:22	B.	Es gibt zwei Rezeptoren, für den pH – Wert und für CO <sub>2</sub> – gehalt.	
57:59	I.	Erhöhung der Atemfrequenz senkt CO <sub>2</sub> .	
	58:19	Die Säureabgabe wird geringer.	Relation im map nicht vorhanden
		Die Gleichgewichtslage verschiebt sich,	Relation im map nicht vorhanden
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt die Konzentration von Hydrogencarbonat,	‚verringert‘ als Pfeilbeschriftung im map zwischen CO <sub>2</sub> – Gehalt und Konzentration von Hydrogencarbonat
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt Konzentration von Oxoniumionen,	‚senkt‘ als Pfeilbeschriftung im map zwischen CO <sub>2</sub> – gehalt und Oxoniumionen
		CO <sub>2</sub> – Gehalt senkt Säureabgabe, senkt Atemreiz.	Relationen sind nicht im map

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
4:23	Ax.	Bei der Hyperventilation geht das bis zur Bewusstlosigkeit aufgrund von Sauerstoffmangel. Es muss mehr CO <sub>2</sub> im Körper enthalten sein.	Erkannt wird, dass die Bewusstlosigkeit eine Folge des Sauerstoffmangels ist. <b>Im map</b> wird dies <b>nicht</b> dokumentiert.
10:15	L.	Der Blutpuffer ist der einzige Puffer, der überall puffert.	
	M.	Das hat was mit dem Hämoglobin zu tun.	
	L.	Das ist einer.	
	<b>L.</b>	<b>Das ist einer von denen.</b>	<b>verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB</b>
	Ch.	Du hast noch Hydrogencarbonatpuffer.	Es werden zwei Puffersysteme erinnert: Hydrogencarbonatpuffer und Hämoglobinpuffer. <b>Im map</b> werden die unterschiedlichen Puffersystem <b>nicht</b> dokumentiert.
22:09	L.	Das ist doch dasselbe! $\text{HCO}_3^- = \text{HCO}_3^-$ . Das ist irgendwie komisch.	Erkannt wird nicht, dass der Wert des Konzentrationsverhältnisses ein Maß für die Pufferkapazität ist.
	Ch.	Wenn sich das erniedrigt, heißt es, dass das sich auch verändern muss.	
	M.	Lasst uns unsere Gleichungen als MWG schreiben, vielleicht sieht das anders aus, müsste eigentlich. Das sieht anders aus als das.	Das MWG als Beschreibung eines Gleichgewichtes ist bekannt. Eine entsprechende <b>Proposition fehlt im map.</b>
23:38	M.	Partialdrucke der Gase. Das war kein Gleichgewicht, das war nur so ein Satz. Oder war das mit der Lage des Gleichgewichtes?	Erinnerung an das Le Chatelier Prinzip
26:07	Ch.	Es geht erst mal mehr um den Fall der Säureabgabe ins Blut. Also als Puffer sozusagen, das insG.mt ist doch der Hydrogencarbonatpuffer oder, dass die Hydrogencarbonationen die Oxoniumionen aus dem Blut aufnehmen, reagieren zurück zu Kohlensäure, wir haben mehr Kohlensäure.	Hydrogencarbonatpuffer in seiner Wirkung erfasst.
33:50	L.	Als erstes gucken wir, was was ganz Normales ist.	
	Ch.	Woran es liegt ist, dass man nicht mehr Sauerstoff im Blut hat, aber wir viel CO <sub>2</sub> abgeatmet haben. D.h., die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ist höher, man kann viel mehr CO <sub>2</sub> lösen, hat deswegen keinen Atemreiz, wird deswegen ohnmächtig. Das gehört hier nicht rein, weil wir von der Säureabgabe ins Blut ausgehen.	Dynamik der sich wechselseitig beeinflussenden Gleichgewichte erkannt. Das Risiko einer Ohnmacht bei einer bewusst gesteuerten Hyperventilation wird <b>im map nicht dokumentiert.</b>
	M.	ok	
34:13	Ch.	Wir haben Milchsäure im Körper, die wirkt im Blut, der pH –wert wird erniedrigt, daher verschiebt sich das Gleichgewicht, die Hydrogencarbonationen fangen als Puffer Oxoniumionen ab, wirken als Puffer und fangen Oxoniumionen ab..	Ch. beschreibt die Wirkung des Hydrogencarbonatpuffers nach Säureeintrag korrekt.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
35:35	Ch.	Ja, wir haben einen höheren Partialdruck von CO <sub>2</sub> , also mehr gelöstes CO <sub>2</sub> im Blut. HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> reagiert zu Kohlensäure und zu CO <sub>2</sub> gelöst. Der Partialdruck von CO <sub>2</sub> wird höher und der ist höher als der Partialdruck in der Lunge.	
36:29	M.	Moment mal, ja, o.k. Oder sollen wir das noch als Mittel schreiben? Das wird zugunsten der Produkte und das zugunsten der Edukte	Im map nicht dokumentiert.
<b>36:29</b>	<b>M.</b>	<b>Moment mal, ja, o.k. Oder sollen wir das noch als Mittel schreiben? Das wird zugunsten der Produkte verschoben und das zugunsten der Edukte</b>	<b>verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB</b>
36:52	L.	Ich habe immer noch Probleme mit, wenn da die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> steht, dann ist das dasselbe. Wenn das durch dies hier dasselbe ist, sein soll, wie das durch dies hier, dann müsste das gleich sein.	L. versucht die vorgegebene Karte mit dem Konzentrationsverhältnis $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ zu verstehen und zieht mathematisch korrekte Schlussfolgerungen
	Ch.	Das ist abhängig voneinander, das ist ein Gleichgewicht.	
37:19	L.	Wenn hier oben dasselbe, exakt dasselbe drüber steht, dann muss auch hier unten exakt dasselbe stehen, damit das gleich ist.	
	Ch.	Es ist beides gelöst. Wir erniedrigen das hier, dann reagiert das zurück zu CO <sub>2</sub> , d.h. gleicht hier es sich aus.	
37:42	L.	Dann wäre das hier trotzdem exakt dasselbe wie H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> gleich CO <sub>2</sub> . Wenn das hier wirklich das gleiche ist, ja, und nicht zu einem anderen oder sonst irgendwas, sagen wir, es entspricht eins, ja, dann ist eins durch das, wie eins durch das, damit ist das auch dasselbe wie das.	
38:11	M.	Das ist zu mathematisch.	
39:44	Ch.	Erst kommt die Gleichgewichtslage, das hier vorn, und dann kommt erst die höhere Atemfrequenz, weil wir höherer Partialdruck im Blut haben durch das Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips.	Missverständlich: Das Le Chatelier Prinzip tritt nicht in Kraft. Eine Reaktion folgt dem Le Chatelier Prinzip.
22:40	Ch.	Erhöhtes CO <sub>2</sub> (aq), dadurch Inkrafttreten des Le Chatelier Prinzips, Abatmen durch erhöhte Atemfrequenz. Hier wird der Atemreiz ausgelöst..	Abatmen nach dem Le Chatelier Prinzip ist eine korrekte Formulierung.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
25:02	Ch.	Wir haben ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> vorliegen, dass wir nach dem Le Chatelier Prinzip abatmen. Die ganzen Gleichungen gehen rückwärts. Wir haben ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> vorliegen. Du hast ganz viel gelöstes CO <sub>2</sub> , dass wir dann durch die erhöhte Atemfrequenz und dem Le Chatelier Prinzip abatmen	Im map sind folgende Propositionen falsch: <ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentration von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> verringert die Löslichkeit von CO<sub>2</sub>(aq).</li> <li>Dadurch zuviel CO<sub>2</sub>(aq).</li> </ul> Die falschen Bezüge werden an dieser Stelle im Film nicht wiederholt. Wenn wie betont die Rückreaktionen begünstigt sind, führt letztendlich eine Säurezugabe zu einem erhöhten Konzentration von gelöstem CO <sub>2</sub> , so dass sich ein Widerspruch zeigt zwischen Ch.s Äußerung und dem gelegten map.
26:50	M.	Le Chatelier Prinzip ist immer da, warum sollte es in Kraft treten?	

### 1.3 Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum k1 - A., L., M., T., Herr P. –

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
5:24	T.	Mm? Nee, Du hyperventilierst, Du gibst CO <sub>2</sub> bei der Hyperventilation ab, das machst Du vorher, vor dem Tauchen. D. h., wenn das verbraucht wird, der pH –wert wird dann höher. Wenn Du dann tauchst,	
10:36	T.	Wenn Du die Atemfrequenz erhöhst - machst Du den O <sub>2</sub> –Partialdruck hoch, ist der CO <sub>2</sub> – Partialdruck niedrig – weil Du abgibst, d.h., wenn Du es abgibst dann muss das alles in die Richtung gemacht werden. Wir gehen jetzt vom Nichthyperventilieren aus. Man taucht und atmet vorher ein, dann hättest Du mehr gelöst.	
15:59	T.	Le Chatelier, Le Chetelier Prinzip ist, wenn der Störung, wenn eine Störung kommt, z.B. wenn der Druck erniedrigt wird, der Störung entgegenge wirkt wird, d.h. wenn wir den Druck von einem Bar auf einen halben Bar machen, wird im Gleichgewicht das so gemacht, dass das nahtlos geht. Der Druck wird durch Hyperventilation erniedrigt der erhöht? Durch Erhöhung der Atemfrequenz wird der Druck erhöht oder erniedrigt?.	T. hält die vorgegebene Karte ‚Le Chatelier Prinzip‘
		Übersetzung von L. für M..	
17:14	A.	Die Gleichgewichtslage ist verändert?	A. zeigt die vorgegebene Karte ‚Gleichgewichtslage‘.
	T.	Die Gleichgewichtslage ist verändert, wenn die Bedingung sich ändert. Die Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst im Prinzip die Hydrogencarbonatkonzentration, weil die Gleichgewichtslage verschoben wird.	T. legt die Karte zur Karte ‚Erhöhung der Atemfrequenz‘ und erläutert.

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
		Das bedeutet für das MWG, jetzt kommt diese Karte ins Spiel. Das kann nicht sein!	T. nimmt die Karte ‚MWG‘ und danach die Karte $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$ Er überprüft die Karte anhand der Protolysegleichung.
17:55	A.	Ich finde das komisch, dass das zweimal auftritt. ( <i>akustisch nicht zu verstehen</i> ). A. und T. diskutieren kurz über Gleichgewichtsverschiebungen.	A. meint die Hydrogencarbonatkonzentration Beide erkennen nicht, dass der Wert des Quotienten eine Aussage über die Pufferkapazität macht.
18:40 Beginn	T.	Ich finde Erniedrigung nicht logisch. Wenn Du viel hiervon hast, wenn das hierhin verlagert wird, hast Du viel hiervon. Da gibt es noch eine andere Gleichung. Man nimmt den pH –Wert. Der pH –Wert wird berechnet aus dem pK (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) plus Logarithmus aus Base zur Säure. Dann siehst Du, ich schreibe auf.	T. formuliert folgende Gleichung $\text{pH} = \text{pK}(\text{H}_2\text{CO}_3) + \lg \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c\text{H}_3\text{O}^+}$ Die Henderson – Hasselbalchgleichung ist falsch formuliert: Im Nenner muss die Konzentration von Kohlensäure bzw. von CO <sub>2</sub> stehen.
19:51		Das hängt von dem Verhältnis ab. wenn Du das erhöhst, wenn der Bruch groß ist, dann würde der Logarithmus von einem hohen Wert ein hoher Wert.	
22:29	T.	Wenn beide gleich groß sind, ist pH = pK. Wenn das größer wird, wird der pH –Wert kleiner. D. h., bei der Hyperventilation, wenn der pH –Wert sinkt, was ich nicht verstehe, würdet Ihr sagen, wird das groß, klein, wird größer, ganz klein und der pH –Wert klein. Das heißt, dass das ganz groß ist und das ganz klein. Also H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ganz groß.	T. verweist darauf, dass die Konzentration im Nenner des Bruches ganz groß sein muss und die Konzentration im Zähler ganz klein, damit der pH – Wert klein wird. Er bestätigt damit die Theorie von A., dass bei Hyperventilation der pH – Wert sinkt, da der Zähler klein und der Nenner groß ist. Dennoch ist T. nicht überzeugt.
24:04	T.	Das ist aber eine Reaktion des Körpers gegen die Ursache. Du hyperventilierst, wenn er zu niedrig wird. Deshalb gibt der Arzt auch dann Hydrogencarbonat, da der Patient das nicht mehr von selbst ausgleichen kann, damit der pH –wert höher wird, sich einpendelt..	
24:26	A.	Es tut mir leid, ich glaube, da war ein Zettel, dann stand da drin der Zettel war eine Aufgabenstellung, ‚Stellen Sie sich vor, Sie kommen zur Unfallstelle, Sie sind Arzt, der Patient hyperventiliert. Sie können davon ausgehen, dass der pH –Wert weiter sinkt‘. D.h., der Patient, der hyperventiliert, hyperventiliert immer mehr, es wird immer schlimmer, d.h. er kann sich selbst nicht mehr helfen.	A. steht auf.
25:10	T.	Gegen was kann er sich nicht mehr helfen, gegen eine Erniedrigung? D.h. die Hyperventilation ist nur das Mittel. Der Körper macht nichts, was den Zustand verschlimmert.	
	A.	Du verstehst mich nicht.	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	T.	Doch ich weiß, was Du meinst. Weil in der Aufgabenstellung steht, gehe Sie davon aus, dass er sinkt, dass der pH –Wert weiter sinkt. Normalerweise ist es, dass die Hyperventilation wieder ausgleicht, wenn er gesunken ist, dass er dann wieder steigt. Aber in dem Fall, dass er weiter sinkt, dann nützt ihm die Hyperventilation nichts mehr. Du musst ihm was geben. Das wird bestätigt. Die Hyperventilation steigert eindeutig den pH –Wert..	
26:49	T.	Wenn Du eine Hyperventilation hast, bekommst Du eine Tüte über den Kopf oder vor den Mund. Dadurch wird der CO <sub>2</sub> – Partialdruck erhöht in der Tüte, dann erhöhst Du den CO <sub>2</sub> , dann erhöhst Du, das ist es, wenn Du hyperventilierst, dann würdest Du eigentlich das Gleichgewicht in die Richtung verschieben, wenn jemand hyperventiliert. Wenn Du hyperventilierst, dann kriegst Du eine Tüte vor den Mund. Dadurch, dass er CO <sub>2</sub> einatmet, erhöht er den CO <sub>2</sub> –Gehalt, um dem entgegenzuwirken. Das bestätigt das, dass bei der Hyperventilation an der Luft, das so rum abläuft. D.h., das wird verbraucht, damit erhöht sich der pH –Wert. Wenn die Tüte kommt, läuft es wieder so rum und der pH –Wert erniedrigt sich.	T. verweist auf die gleichzeitig vorliegenden Gleichgewichte. Spricht er von Hyperventilation, dann zeigt er in den Gleichgewichten von rechts nach links. Also: Verlagerung zugunsten der Edukte. Meint er das Atmen mit Tüte, zeigt er in den Gleichgewichten von links nach rechts. Also: Verlagerung zugunsten der Produkte.
	T.	Die Säureabgabe ins Blut hat nichts mit der Hyperventilation zu tun, sondern sie entsteht bei der Bewegung.	
	L.	Aber er hat doch keinen pH –Wert von 7,6 sondern einen pH –Wert von 7,1, das war doch mal in einer Arbeit.	
	A.	Ich bin mir ganz sicher, der pH Wert erniedrigt sich.	A. ist kaum zu verstehen. T. schreibt.
	T.	Du kannst das auch L. sagen.	an M. gerichtet.
	A.	Diese Konzentration muss höher werden, deswegen muss dieses höher werden, dadurch. Es ist nicht so nach dem Massenwirkungsgesetz, wenn weniger Kohlensäure ist, ja	
	T.	Es kann auch sein, was Du sagst.	
	M.	<i>(akustisch nicht zu verstehen)</i>	
	A.	Ich glaube dass, das wird weniger wird, dies wird im Verhältnis dazu mehr.	



Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
29:00	T.	Der Druck würde sich so verschieben, das wird kleiner und dann sagt man bei der Hyperventilation wird das auf jeden Fall weniger, weil das im Verhältnis zu dem mehr, das wird weniger, d.h. der Druck wird klein, kleiner pH.	T. versucht anhand der formulierten Gleichungen nachzuvollziehen, dass der pH – Wert sich bei einer Hyperventilation erniedrigt. Er schließt sich dabei der Argumentation von A. an. Beide beachten zu diesem Zeitpunkt nicht die zur Zeit übliche Modellvorstellung auf der Teilchenebene. Wird durch Hyperventilation der Partialdruck von CO <sub>2</sub> verringert, reduziert sich die Stoffmenge von Hydrogencarbonat. Da sich im Rahmen des Gleichgewichtskonzeptes die Stoffmenge von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> nur dann verringert, wenn gleichzeitig H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> Ionen verbraucht werden, so dass CO <sub>2</sub> nachgeliefert wird, verändern sich die Stoffmengen der sich im Gleichgewicht befindlichen Teilchen nicht unabhängig voneinander. Das Gleichgewichtskonzept beruht auf der Kollisionstheorie, die davon ausgeht, dass die Teilchen miteinander erfolgreich kollidieren, so dass bei Veränderung der Konzentration eines Reaktionspartners, die Teilreaktion bevorzugt abläuft, die der Störung entgegenwirkt. In der Zeitfolge verändert sich dann die Bevorzugung einer Teilreaktion. Im Vergleich zu den Stoffmengen im Gleichgewicht vor der Störung, hat sich das Verhältnis der Stoffmengen im sich neu eingestellten Gleichgewicht verändert, wobei die Größe der Änderung von dem Stoffmengenverhältnis abhängig ist, was vor der Störung vorlag.
32:42	T.	Atemfrequenz bedeutet nach dem Le Chatelier Prinzip, CO <sub>2</sub> wird stärker abgeatmet. Dadurch wird HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> verbraucht, der pH – Wert fällt, Hydrogencarbonat ist nicht nachlieferbar, d.h. es puffert so lange, wenn es verbraucht wird, fällt er rapide.	
	T.	Dies Verhältnis würde bedeuten, das zu dem hier, das zu dem hier, wenn das weniger wird, muss das beides mehr werden, das ist doch logisch, wenn das weniger wird, wird das mehr.	
	A.	Ich finde die Gleichung komisch. Theoretisch könntest Du das da oben weg kürzen, dann hast Du nur noch, das ist beides das gleiche, dann nimmst Du den Kehrwert, dann hast Du nur noch C(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) = c(CO <sub>2</sub> ). Mehr steht da nicht.	A. bezieht sich auf die Karte $\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{CO}_2)} = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{H}_2\text{CO}_3)}$
	T.	Wir können das MWG ergänzen. MWG bedeutet	T. formuliert das MWG.
37:10	A.	Ich guck gleich in meine Mappe	

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
	T.	Ich habe meine gar nicht mit.	
	A.	D. h. ,dass das MWG verschoben wird, der Wert bleibt gleich, das Verhältnis wird verändert, der Bruch bleibt an sich gleich.	
40:44	T.	Du hast weniger CO <sub>2</sub> gelöst. Das bedeutet, Du hast weniger. Wenn Du hyperventilierst, hast Du weniger CO <sub>2</sub> im Blut, daher hast Du weniger Ac, der pH –Wert wird erhöht.	T. meint weniger Hydrogencarbonat. Nachdem T. das MWG nochmals formuliert hat, diesmal nicht in seiner logarithmierten Form, bestätigt sich die Aussage, der pH –Wert wird beim Hyperventilieren erhöht.
44:40	T.	Das Verhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bestimmt die Pufferkapazität. Wenn Du ein bestimmtes Verhältnis hast, das ist Pufferkapazität, bestimmt durch das Konzentrationsverhältnis.	T. schreibt eine neue Karte mit dem Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat zur Kohlensäure.

#### 1.4 Transkription der Filmaufnahme am 16.03.01 im Raum kg - G., G., S., R., Frau A. –

Zeit min	Name	Aussagen	Anmerkungen
9:44	G.	Le Chatelier Prinzip - Dass Gase immer den gleichen Raum ausfüllen ist das von Dalton. Dass das Gleichgewicht sich verschiebt, ist von Dalton. Le Chatelier Prinzip ist die Grundlage, Dalton der Unterbau.	falsch: Satz von Avogadro: Das Volumen einer gegebenen Gasmenge ist bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Druck proportional der Zahl der darin eingeschlossenen Gas-moleküle. Nach dem Satz von Avogadro nehmen ein Mol eines Gases x das gleiche Volumen ein, wie ein Mol eines Gases Y.
10:10	S. Beginn	Wir hatten drei Gleichungen: Wollen wir die nicht aufstellen? Vielleicht, dann erklären sie.. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ und $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$	
	R.	MWG?	
	S.	Wollen wir die drei Gleichungen nicht mal formulieren?	
10:32	G.	Das wissen wir jetzt. Lasst und darüber nachdenken	
		Wenn die CO <sub>2</sub> – Konzentration verringert wird, liegen weniger Kohlensäure, weniger Hydrogencarbonationen und weniger H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> vor. Das stört die Gleichgewichtslage, dann am Ende wird die Konzentration von Hydrogencarbonat verringert.	
11:05	S.	Ja, genau, wenn davon weniger ist, ist das Gleichgewicht gestört. Wenn davon weniger ist, müssen sie sich ausgleichen. Die Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ist daran gebunden ?	
11:32	R.	Was steht darauf?	
		Wenn die Konzentration von CO <sub>2</sub> geringer wird, ist der Verbrauch von Hydrogencarbonat höher. Nee...	richtig

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
11:50	G.	Ich verstehe die Gleichung nicht so ganz. Wir haben G.gt, wenig CO <sub>2</sub> bedeutet wenig Hydrogencarbonat auf der rechten Seite, und es könnte sich mehr Kohlensäure aufspalten, die in Wasser und CO <sub>2</sub> zerfällt.	
12:19	S.	Wir atmen CO <sub>2</sub> ab, daher haben wir von Hydrogencarbonat weniger und die Kohlensäure spaltet sich.	
	G.	Hydrogencarbonat muss weniger werden, weil wir nach unseren Schritten...von der Reaktionskette ist das logisch: weil weniger CO <sub>2</sub> zu einer Aufspaltung von H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> führt. Wenn weniger Kohlensäure vorhanden ist, heißt das auch, weniger HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	
20:35	G.	Das ist die Krankheit Die Säureabgabe ins Blut erniedrigt den pH –Wert. Wir können die Karte auch hier ans Ende legen.	
21:00	R.	Durch die Pufferkapazität wird der ganze Fortgang in Gang gesetzt. Das ist Pufferung: Die Säure wird neutralisiert	
	S.	Das muss am Ende sein.....Das ist die Folge.	
	R.	Du musst hyperventilieren, dann passiert das.	
21:20	G.	Wenn Du eine pH - wertänderung hast, dann hat der Körper den Reflex zu hyperventilieren. Es ist so: das alles passiert danach.	
25:18	G.	MWG?	
	R.	Die Konstante K , die wird bestimmt durch das MWG.	
	S.	Wenn das MWG sich ändert, dann folgt das daraus.	missverständlich: Die Gleichgewichtskonzentrationen ändern sich.
	<b>S.</b>	<b>Wenn das MWG sich ändert, dann folgt das daraus</b>	<b>verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB</b>
	<b>R.</b>	<b>Ne, das ist die Gleichgewichtskonstante davon.</b>	
25:34	G.	Die Löslichkeit nimmt ab, die Gleichgewichtslage verändert sich, die wird bestimmt durch das MWG, das ist die Folge. Das würde ich darunter legen.	
29:26	S.	Hydrogencarbonat ist der Puffer! Die Pufferkapazität wird bestimmt anhand der Konzentration von HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . Ist der Pufferwirkstoff.	
	G.	Pufferbase?	
30:02	G.	Wenn HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> abnimmt, nehmen auch die Oxoniumionen ab, das bewirkt Erhöhung des pH – Wertes.	
	R.	MWG: Was steht oben, was steht unten?	
30:44	S.	Wir haben G.gt, dass Blut zuviel HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> besitzt und deshalb HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> als Puffer wirkt.	
	<b>S.</b>	<b>Wir haben gesagt, dass Blut so viel HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> besitzt und deshalb HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> als Puffer wirkt.</b>	<b>verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB</b>
30:52	G.	Pufferbase und Puffersäure liegen vor: HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> das sind die Pufferpartner.	
<b>30:52</b>	<b>G.</b>	<b>Pufferbase und Puffersäure liegen vor: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> und H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	<b>verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB</b>

Zeit	Name	Aussagen	Anmerkungen
31:08	G.	Was muss man machen bei der Krankheit, wo der pH-Wert fällt, was das mit dem Hydrogencarbonat?	
	S.	Ja, Hydrogencarbonat ist der Puffer im Blut.	
	G.,	Dann weiß ich.. Wenn Du Hydrogencarbonat erhöhst, warum erniedrigst Du den pH-Wert?	
31:32	S., G.	Weil die Oxoniumionen mit Hydrogencarbonat reagieren.	
	G.	Der pH-Wert ist niedrig, wenn Du zu viele Oxoniumionen hast, wenn das zu viel ist, brachst Du	
	<b>G.</b>	<b><i>Der pH-Wert ist niedrig, wenn Du zu viele Oxoniumionen hast, wenn das zu viel ist, kann das der Körper von alleine wieder.</i></b>	verändert nach Aussage von Frau A. und Herrn HDB
	S.	Liegen zuviel $H_3O^+$ vor, muss ein Medikament gegeben werden.	richtg
52:38	G.	$\frac{c(HCO_3^-)}{c(CO_2)} = \frac{c(HCO_3^-)}{c(H_2CO_3)}$ wird ausgeglichen durch Abnahme der Konzentration von Kohlensäure, gemäß dem Gleichgewicht: $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$ .	, wird ausgeglichen durch Abnahme von' als Pfeilbeschriftung; ,gemäß dem' als Pfeilbeschriftung;

### Resümee

Der Wortlaut der vorgestellten Filmsequenzen, die als Ersatz für missverständliche und sachlich falsche Propositionen von der Untersuchenden ausgewählt wurden, wird von Frau A. und Herrn HDB bestätigt. Die von den beiden externen Gutachtern formulierten Ergänzungen führen mit einer Ausnahme zu keiner Sinnverschiebung. Die Ausnahme ist die Aussage von R. in der Transkription der Filmaufnahme im Raum kg. Die folgenden Aussagen können nicht als Ersatz für fehlende Propositionen verwendet werden.

	R.	Die Konstante K , die wird bestimmt durch das MWG.	
	S.	Wenn das MWG sich ändert, dann folgt das daraus.	missverständlich: Die Gleichgewichtskonzentrationen ändern sich.

**Datenaufbereitung der Gruppe KSN**  
**- mit softwareunterstütztem Instrumentarium -** **C 177**

2.8	Datenaufbereitung der Gruppe JEJC	C	178
2.9	Datenaufbereitung der Gruppe SIF	C	183
2.10	Datenaufbereitung der Gruppe HUGO	C	187
2.11	Datenaufbereitung der Gruppe KRÜCKE	C	192
2.12	Aussagen der Netze im Vergleich	C	196

<b>2.8</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe JEJC</b>	<b>C 178</b>
	• Transkription der Gruppendiskussion JEJC	C 179
	• Aktivitätsprofil JEJC	C 181
	• Leitfragen an den Beobachter	C 181
	• Schülernetz JEJC	C 182

## Transkription der Gruppendiskussion

### Gruppe JEJC

Zeit	Leitfragen	Schüler/in	Aussagen	Kommentar
	Mit welchen Begriffen haben Sie begonnen?	A	Ich glaube ‚Löslichkeit von CO <sub>2</sub> ‘	
		B	Wir hätten mit ‚erhöhter Atemfrequenz‘ beginnen sollen	
	Warum?	A	Das war das Thema,	
		B	es gab die meisten Verknüpfungen	
		C	die Aufgabenstellung: ‚Bei einer Erhöhung der Atemfrequenz...‘	
	Wie ging es dann weiter?	B	Wir haben ein paar Verknüpfungen gemacht, was einfach war, ‚Erhöhung der Atemfrequenz‘, ‚Säureabgabe ins Blut‘	
		A	Verbindung mit ‚Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure‘ und dann haben wir versucht das, mit der ‚Konzentration von Hydrogencarbonat‘ zu verknüpfen und da hatten wir Schwierigkeiten, weil wir es nicht so genau wussten, wo zu verknüpfen.	
	Schwierigkeiten?	B	Wir hätten nicht mit der Löslichkeit anfangen sollen, dann wussten wir nicht weiter,	
		C	Gleichgewichtslage hatten wir darauf	
		A	Ich fand schwierig, aus den Verknüpfungsmöglichkeiten, die es gab, das auszuwählen, was am besten trifft. Es gibt etwas, das passt überhaupt nicht, bitte mal was anderes, dann gab es das aber nicht.	
	Was hättet Ihr Euch gewünscht?	B	‚macht eine Aussage über‘	
		C	die Möglichkeit der Selbstverknüpfung	
		A	Das ist schwierig zu vergleichen.	
		A	Ich finde es besser, wenn die 10 Worte anders geschrieben sind. genauer. Wenn das genauer ist mit vorgegebenen Wörtern, ist das richtiger zu treffen. Wenn die ‚Konzentration von Hydrogencarbonat‘ genauer ist, dann kann man auch die Verknüpfungen genauer machen. Man kann sich das viel besser vorstellen, deswegen.	
		B	Wenn man auch in beiden Richtungen Pfeile machen kann.	

	Habt Sie auch aus ‚blauem Dunst‘ gelegt?	D	größtenteils	
	Wo fiel Dir das auf?	D	Die Begriffe wurden ausgewählt, ohne zu erklären, um was es sich handelt. Sie wurden dann verknüpft. Warum diese Verknüpfungen ausgewählt wurden, war nicht klar. Eher nach dem Prinzip, ach ja, das passt, nehmen wir es mal.	
	Vielleicht meinst Du etwas anderes, wenn man sagt, ‚aus blauem Dunst legen‘?	D	‚Le Chatelier Prinzip‘ wurde einfach ausgewählt, ohne dass erklärt worden ist, was man darunter versteht. Die Karte wurde dann ‚blind‘ verknüpft, also ohne dass die eigentliche Aussage des Le Chatelier Prinzips klar war.	
	Und die anderen?	B	Eher nicht, wir haben doch die Begriffe geklärt.	
		B	Ich fand es gut, am Anfang haben wir die Begriffe geklärt. Wir haben es genau gemacht. Wir haben uns darüber unterhalten, was war.	
	An weche Begriffe könnt Ihr Euch erinnern, die Ihr am Anfang geklärt habt?	B	‚Le Chatelier Prinzip‘, ‚MWG‘, bevor wir die Begriffe gelegt haben, haben wir das erklärt. Wir haben das nicht so gemacht, dass wir einfach verknüpft haben.	
	Bei welchen Begriffen gab es Verständnisschwierigkeiten?	A	Ich hatte kein Schwierigkeiten. Normalerweise merke ich mir dann, was in der Arbeit dran war, die kann ich dann länger. Die meisten Sachen waren in der Arbeit, oder nicht? Ich fand das nicht so schwer, mich daran zu erinnern..	
	War das Verfahren eine Hilfe?	A, B,	Das Verfahren, ja.	
		C	Bei mir war es schon schwieriger. Es war eine Hilfe, dass das noch mal am Anfang erklärt wurde, was man nicht so genau wusste..	



## Aktivitätsprofil im Zeitverlauf zum Conceptmapping der Gruppe JEJC

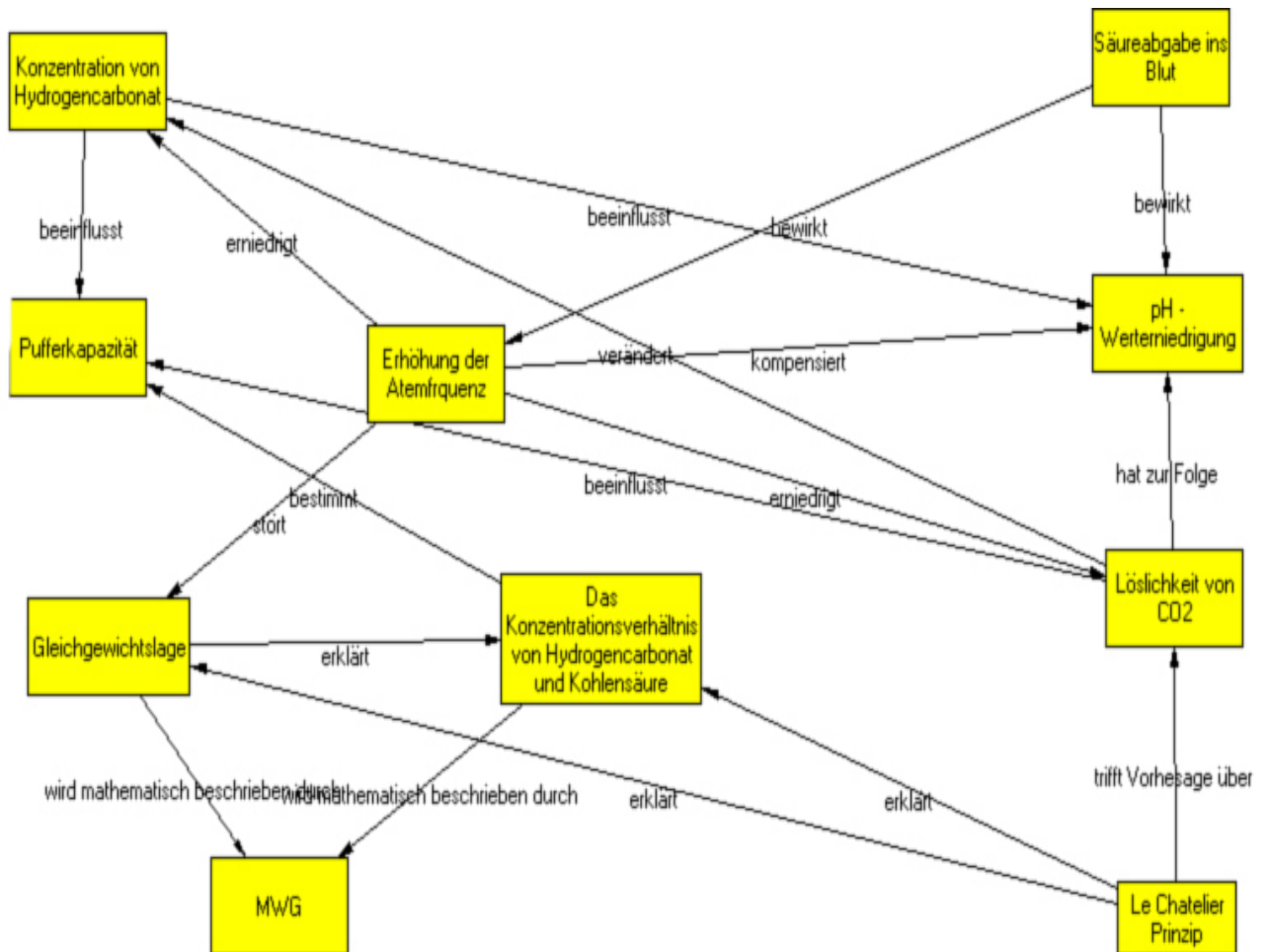
**Skala: 1:** dominant/bestimmend; **2:** überlegt aussagend; **3:** sporadisch/nachfragend;  
**4:** passiv/unauffällig

	Zeit/min	0 - 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 –60	60 -70	70 -80
Schüler/Schülerin									
A		1	1	1	1				
B		3	2	3	3				
C		1	1	1	1				
D		3	3	3	2-3				
E									
F									

### Fragen an die Beobachter

Zeit	Leitfragen / Sonstiges	
	Mit welchen Begriffen wird begonnen? <u>Vorgegebene Begriffsauswahl:</u> 1. Säureabgabe ins Blut; 2. Erhöhung der Atemfrequenz, 3. Pufferkapazität, 4. Gleichgewichtslage, 5. MWG, 6. Le Chatelier Prinzip, 7. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , 8. pH –Werterniedrigung, 9. Konzentration von Hydrogencarbonat 10. Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	7 8 9 2 1 3 10 5 4
	Welche Begriffe und Verknüpfungen können leicht gelegt werden?	
	Bei welchen Begriffen gibt es Verständnisschwierigkeiten?	3; 6; Zusammenhang zwischen 9 und 8
	Welche Begriffe und Zusammenhänge bleiben unklar?	10
	Welche Aussagen sind nach dem Zufallsprinzip gelegt?	Keine ; A. unterscheidet zwei Kartenqualitäten: Prinzip und Tatsachen

## Testpartnernetz JEJC



<b>2.9</b>	<b>Datenaufbereitung der Gruppe SIF</b>	<b>C 183</b>
	• Transkription der Gruppendiskussion SIF	C 184
	• Aktivitätsprofil SIF	C 185
	• Leitfragen an den Beobachter	C 185
	• Schülernetz SIF	C 186

## Transkription der Gruppendiskussion

### Gruppe SIF

Zeit	Leitfragen	Schüler/in	Aussagen	Kommentar
	Mit welchen Begriffen haben Sie begonnen?	A	mit der Erhöhung der Atemfrequenz,	
		B	dann ‚Gleichgewicht‘	
	Wie ging es dann weiter?	A	‚Konzentrationsverhältnis‘ hatten wir am Anfang	
		B	‚Löslichkeit von CO <sub>2</sub> wussten wir nicht so richtig, wohin.	
		A	das ‚Le Chatelier Prinzip‘ und das ‚Gleichgewicht‘ hatten wir relativ am Anfang	
	Welche Begriffe und Verknüpfungen konnten leicht gelegt werden?	B	mit denen wir angefangen haben.	
		A	Der Bezug von ‚der Erhöhung der Atemfrequenz‘ zu den nächsten, die wir eingeordnet haben.	
		B	Das mit dem ‚Le Chatelier Prinzip‘ und das Gleichgewicht hatten wir am Anfang	
	Woran kann das gelegen haben, dass die Sachen leicht von Euch gelegt werden konnten?	B	Das, woran man sich erinnerte, war das, was man im Unterricht hatte, was man auf Anhieb wusste.	
		A	Gleichgewicht war auch das Thema, Erhöhung der Atemfrequenz, Hyperventilation und die übergeordneten Begriffe waren einfacher.	
	Bei welchen Begriffen gab es Verständnisschwierigkeiten?	B	Begriffe für die Pfeile zu finden und die Richtung. An manche Begriffe konnte man sich nicht so gut erinnern.	
	Gründe dafür?	B	Wir konnten uns nicht mehr genau erinnern. Wir mussten erst versuchen, das zu rekonstruieren, um darauf zu kommen	
	Welche Begriffe und Zusammenhänge bleiben unklar?	A	Wir wussten nicht mehr so ganz genau, was ‚Le Chatelier‘ war. Im großen und ganzen wussten wir es. Es war immer so, dass es uns eigentlich klar war, aber wir wussten es nicht immer so ganz genau, wir daher immer ein bisschen unsicher waren.	
	Welche Aussagen sind nach dem Zufallsprinzip gelegt?	A	Am Ende am bisschen, eher nicht.	
	Nach meiner Beobachtung auch nicht (Aussage des Beobachters).			

## Aktivitätsprofil im Zeitverlauf zum Conceptmapping der Gruppe SIF

**Skala: 1:** dominant/bestimmend; **2:** überlegt aussagend; **3:** sporadisch/nachfragend;  
**4:** passiv/unauffällig

	Zeit/min	0 - 5	5– 10	10–15	15– 20	20 – 30	30 –40	40-45	
Schüler/Schülerin									
A		1-2	2	1-2	2	2	1-2	2	
B		2	2	2-3	2-3	2-3	2-3	3	
C		2-3	2	2	2	2-3	2	2	
D									
E									
F									

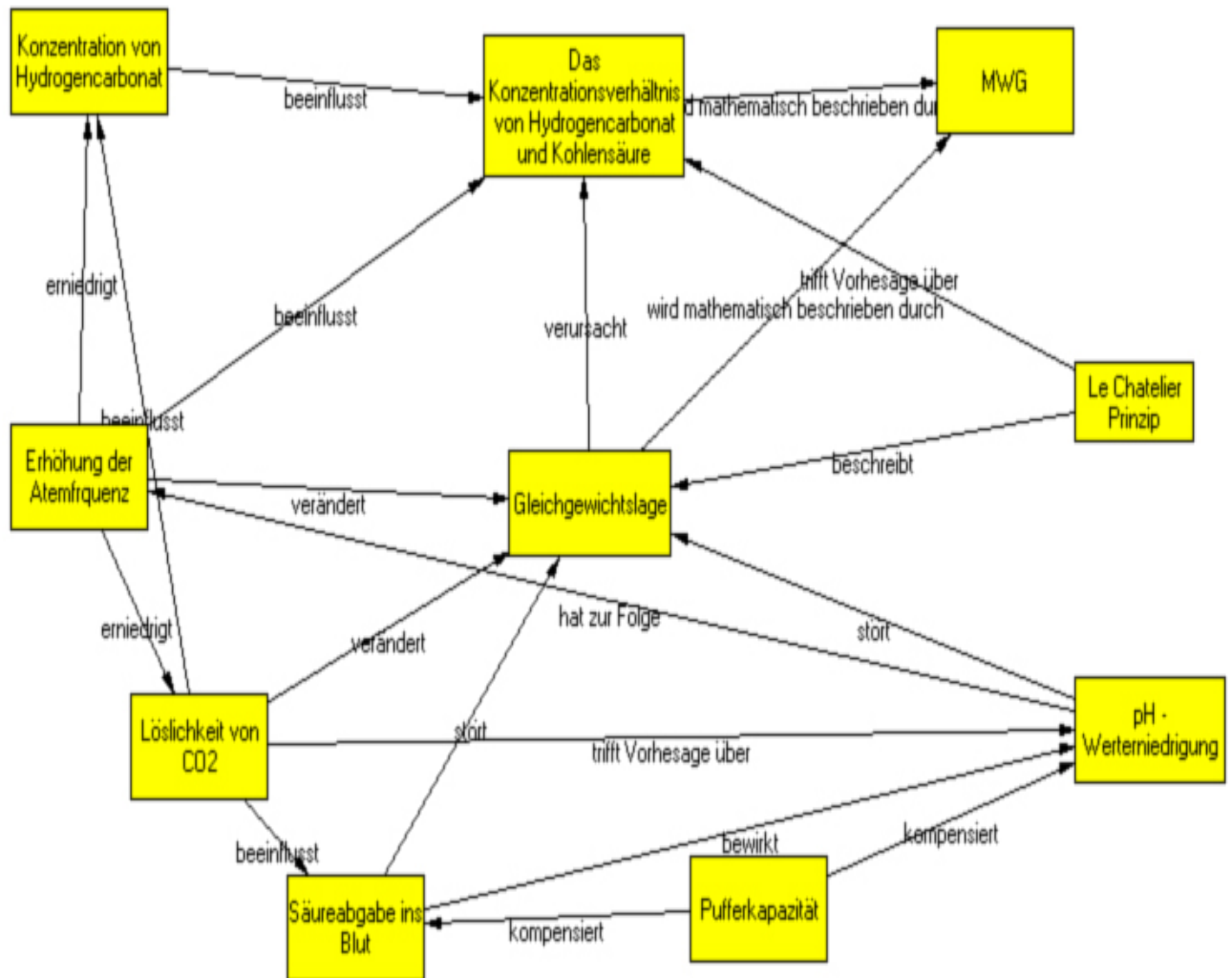
### Fragen an die Beobachter

Zeit	Leitfragen / Sonstiges	
	Mit welchen Begriffen wird begonnen? <u>Vorgegebene Begriffsauswahl:</u> 11. Säureabgabe ins Blut; 12. Erhöhung der Atemfrequenz, 13. Pufferkapazität, 14. Gleichgewichtslage, 15. MWG, 16. Le Chatelier Prinzip, 17. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , 18. pH –Werterniedrigung, 19. Konzentration von Hydrogencarbonat 20. Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	1 2 3 (als letzter nicht verbunden) 4 5 6 7 8 9 10
	Welche Begriffe und Verknüpfungen können leicht gelegt werden?	
	Bei welchen Begriffen gibt es Verständnisschwierigkeiten?	6
	Welche Begriffe und Zusammenhänge bleiben unklar?	(6)
	Welche Aussagen sind nach dem Zufallsprinzip gelegt?	

#### Ergänzungen vom Beobachter

1. Zunächst erfolgte in der Gruppe eine freie Kombination von Begriffen ohne Berücksichtigung der Verknüpfungsmöglichkeiten.
2. Eine Übersicht über die Verknüpfungen fehlt, wäre aber hilfreich.
3. Nach intensiver Diskussion waren nach 20 Minuten bis auf drei Begriffe alle einfach verknüpft.
4. ‚Beeinflusst‘ ist ein Allerweltsbegriff und sollte ersetzt werden.

## Testpartnernetz SIF



## **2.10 Datenaufbereitung der Gruppe HUGO C 187**

- Transkription der Gruppendiskussion HUGO C 188
- Aktivitätsprofil HUGO C 190
- Leitfragen an den Beobachter C 190
- Schülernetz HUGO C 191

## Transkription der Gruppendiskussion

### Gruppe HUGO

Zeit	Leitfragen	Schüler/in		Kommentar
	Mit welchen Begriffen haben Sie begonnen?	A	Pufferkapazität kompensiert pH – Werterniedrigung. Le Chatelier beschreibt Systeme und ihre Gleichgewichte	
		F	MWG wird mathematisch beschrieben durch die Konzentration von Hydrogencarbonat	
		O	MWG beschreibt Konzentration von Hydrogencarbonat	
		F	Hyperventilation erhöht den pH – wert des Blutes, führt zu einer Erhöhung der Löslichkeit, da weniger CO <sub>2</sub> gelöst ist. Das führt zur Änderung des Säuregehaltes im Blut... das wird kompensiert durch den Puffer.	
	Das fiel Euch leicht. Wo hattet Ihr Schwierigkeiten?	F	Was das MWG berechnet hauptsächlich.	
	Seid Ihr darauf gekommen?	F	Wir haben ein oder zwei Verbindungen dazu gezogen zu der Konzentration, zu den verschiedenen Konzentrationen und Gleichgewichten.	
	Wie habt Ihr Euch das erklärt?	F	Das war uns vorgeschrieben. Wir haben nicht noch mehr Verbindungen finden können.. Wir haben auf noch andere Verbindungen, die noch hätten sein können verzichtet.	
	Gab es am Ende noch Begriffe, die völlig ungeklärt waren außer dem MWG?	F	nein	
	Habt Sie auch aus ‚blauem Dunst‘ gelegt?	F	Nee, wir haben extra wenig Verbindungen gemacht, aus Designgründen. Darauf haben wir Wert gelegt.	
	Das war alles logisch, was Ihr gelegt habt?	F	Ja, außer vielleicht, dass die Hyperventilation die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> erhöht. Das hätte genau so erniedrigen sein können. Ich glaube trotzdem erhöhen.	
		O	Wir wussten nicht genau, was Säurezugabe ins Blut, was damit gemeint ist.	
		F	Säurezugabe ins Blut, ob das nun Hydrogenabgabe oder so was war?	



Zeit	Leitfragen	Schüler/in		Kommentar
	Habt Ihr so das ganze Prinzip sinnvoll gefunden zur Leistungsüberprüfung und Leistungsmessung?	F	Ich fand das nicht zu 100% geeignet, weil viele Verknüpfungen fehlten und logische Zusammenhänge, die man wusste, konnte man schwer unterbringen. Eigentlich fand ich es nicht so gut geeignet.	
	Weil die Verknüpfungen fehlten, die Begrifflichkeiten?	F	Das auch. z. B. was Le Chatelie bezeichnet. Man konnte sagen, es trifft eine Aussage über so verschiedene Gleichgewichte zwischen Hydrogencarbonat und Kohlensäure und das eigentliche, dass es eine Änderung von Systemen, je nach Anpassung beschreibt, gab es nicht zur Auswahl.	
	Zum Abschluss versucht noch mal ganz kurz zu reflektieren, wie Ihr an die Aufgabe herangegangen seid und wie Ihr weitergearbeitet habt.	F	Kärtchen angeguckt, also die verschiedenen Optionen Sortiert Versucht einige Paare zu machen Letztendlich probiert eine schöne Verknüpfung herzustellen Mit einem schönen Design	
	Ihr seid erst mal von einigen Kärtchen ausgegangen	F	Dann zwei verbunden Je drei Stück, dann die miteinander verbunden und ich glaube, wie beim MWG, was uns Probleme bereitet hat, haben wir am Ende rein getan, genau so wie Säuregehalt des Blutes.	

## Aktivitätsprofil im Zeitverlauf zum Conceptmapping der Gruppe HUGO

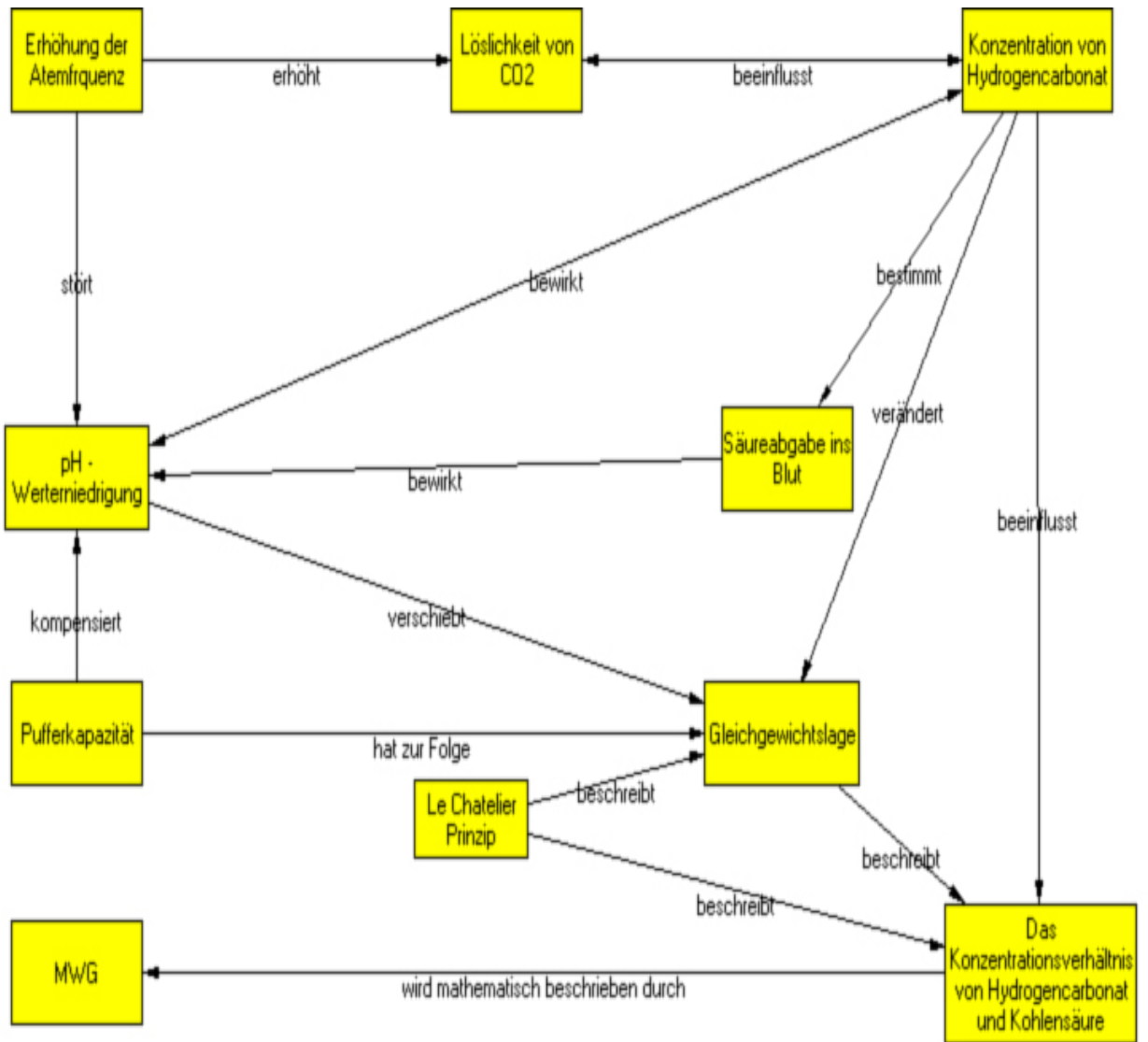
**Skala: 1:** dominant/bestimmend; **2:** überlegt aussagend; **3:** sporadisch/nachfragend;  
**4:** passiv/unauffällig

	Zeit/min	0 - 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 –60	60 -70	70 -80
Schüler/Schülerin									
O		4	4	4					
F		1	1	1					
B		2	3	3					

### Fragen an die Beobachter

Zeit	Leitfragen / Sonstiges	
	<p>Mit welchen Begriffen wird begonnen?</p> <p><u>Vorgegebene Begriffsauswahl:</u></p> <p>21. Säureabgabe ins Blut;                  22. Erhöhung der Atemfrequenz,                  23. Pufferkapazität,                  24. Gleichgewichtslage,                  25. MWG,                  26. Le Chatelier Prinzip,                  27. Löslichkeit von CO<sub>2</sub>,                  28. pH –Werterniedrigung,                  29. Konzentration von Hydrogencarbonat                  30. Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure</p>	
	Welche Begriffe und Verknüpfungen können leicht gelegt werden?	7-9; 8-3-1; 8-9; 4-6; 6-10; 9-1; 1-8; 2-7; 2-8;
	Bei welchen Begriffen gibt es Verständnisschwierigkeiten?	3-4-8
	Welche Begriffe und Zusammenhänge bleiben unklar?	
	Welche Aussagen sind nach dem Zufallsprinzip gelegt, also ohne Fachwissen?	
	Verfahren sinnvoll zur Leistungsüberprüfung?	

## Testpartnernetz HUGO



## **2.11 Datenaufbereitung der Gruppe KRÜCKE C 192**

- Transkription der Gruppendiskussion KRÜCKE C 193
- Aktivitätsprofil KRÜCKE C 194
- Leitfragen an den Beobachter C 194
- Schülernetz KRÜCKE C 195

## Transkription der Gruppendiskussion

### Gruppe KRÜCKE

Zeit	Leitfragen	Schüler/in	Aussagen	Kommentar
	Mit welchen Begriffen habt Ihr begonnen?	A	Angefangen haben wir, wir haben versucht den Block aufzulösen und haben geguckt, was welcher Block sagt.	
		B	Dann haben wir verbunden. Wir haben mit der Gleichgewichtslage angefangen	
		C	Wir haben mit Le Chatelie angefangen und haben das verbunden mit dem Gleichgewicht, dann MWG	
	Welche Zusammenhänge sind Euch leicht gefallen?	A	Alles, was mit Säuren und Basen zusammenhing; nur die Verbindung mit Le Chatelier, war das einzig Schwierige.	
		C	Das Schwierige war, dass man jede Verknüpfung findet. Man findet erst das eien, dann das andere, aber man kommt nicht so leicht darauf. Wir wissen immer noch nicht, wie wir Le Chatelier mit Pufferkapazität verbinden.	
		C	Wir haben versucht neue Pfeile zu machen.	
	Gab es noch andere Schwierigkeiten?	A	Man könnte die Kästchen etwas kleiner machen, damit das Netz größer wird. Wir hatten nicht alles auf dem Bildschirm.	
	Was ist ungeklärt geblieben?	C	Nichts	
	Habt Ihr Aussagen nach dem Zufallsprinzip gelegt?	A	Nein, eigentlich nicht. Wir haben die Begriffe in den Raum gestellt und haben geguckt, ob es passende Pfeile gibt.	

## Aktivitätsprofil im Zeitverlauf zum Conceptmapping der Gruppe KRÜCKE

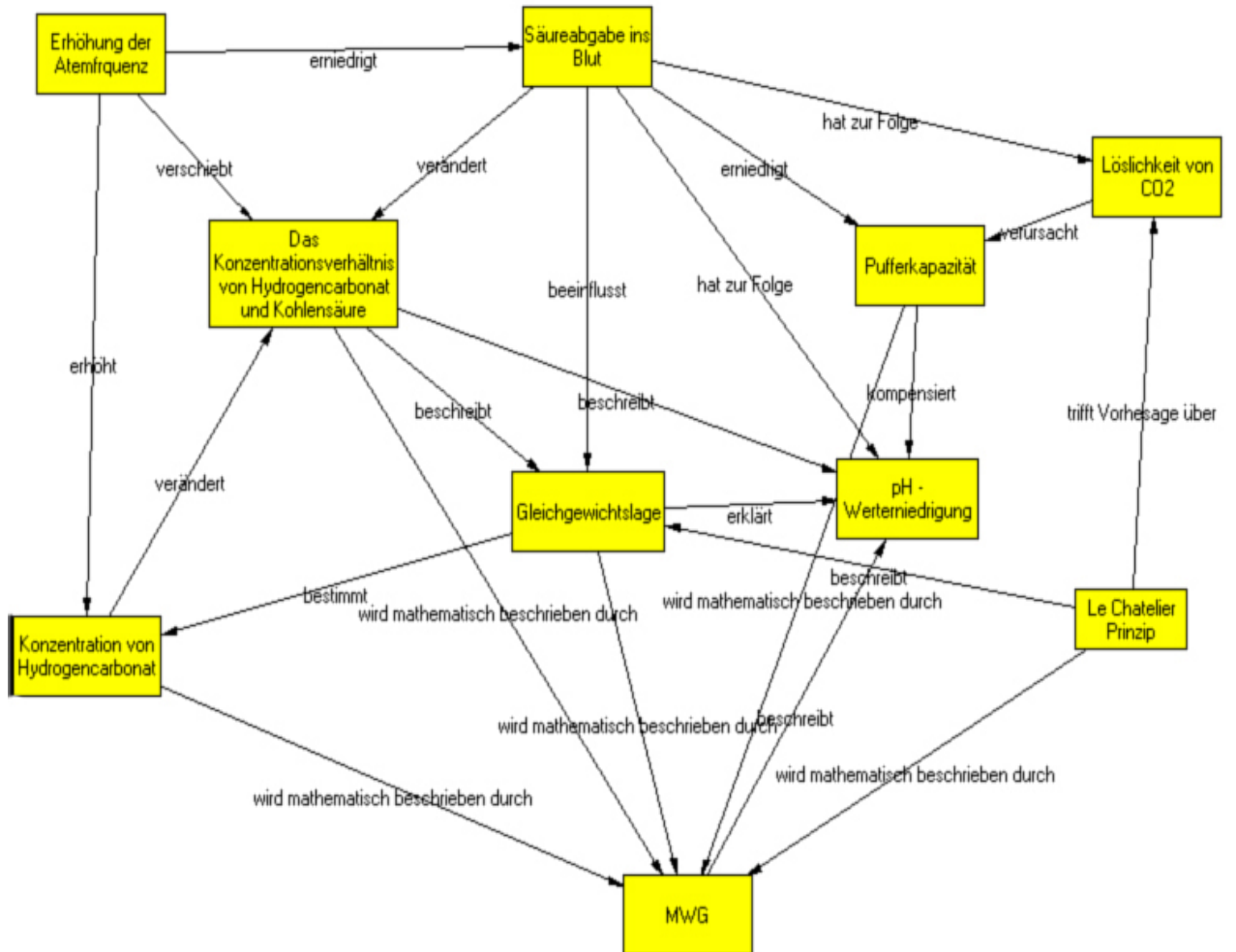
**Skala: 1:** dominant/bestimmend; **2:** überlegt aussagend; **3:** sporadisch/nachfragend;  
**4:** passiv/unauffällig

	Zeit/min	0 - 5	5– 10	10 – 20	20-30	40 – 50	50 –60	60 -70	70 -80
Schüler/Schülerin									
A		2	2	2	2				
B		2	2	2	2				
C		2-3	2-3	2-3	2-3				
D									
E									
F									

### Fragen an die Beobachter

Zeit	Leitfragen / Sonstiges	
	Mit welchen Begriffen wird begonnen? <u>Vorgegebene Begriffsauswahl:</u> 31. Säureabgabe ins Blut; 32. Erhöhung der Atemfrequenz, 33. Pufferkapazität, 34. Gleichgewichtslage, 35. MWG, 36. Le Chatelier Prinzip, 37. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> , 38. pH –Werterniedrigung, 39. Konzentration von Hydrogencarbonat 40. Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	4; 6; 3; 8; 1; 3; 10; 2; 7; 9;
	Welche Begriffe und Verknüpfungen können leicht gelegt werden?	4; 6; 4→6 („beschreibt“); 3→8 („kompensiert“)
	Bei welchen Begriffen gibt es Verständnisschwierigkeiten?	Die Verknüpfungen von 7 werden länger diskutiert.
	Welche Begriffe und Zusammenhänge bleiben unklar?	Zusammenhänge 3-6
	Welche Aussagen sind nach dem Zufallsprinzip gelegt?	Keine

## Testpartnernetz Krücke







**Aussagen des Referenznetzes (KSN) und der Testpartnernetze (JEC, SIF, Hugo, Krücke) im Vergleich (Falsche Aussagen sind fettgedruckt)**

Referenznetz - KSN – Summe der Aussagen: 19	Testpartnernetz JEJC Summe der Aussagen 18, davon 17 richtig	Testpartnernetz SIF Summe der Aussagen: 20, davon 18 richtig	Testpartnernetz Hugo Summe der Aussagen 15, davon 9 richtig	Testpartnernetz Krücke... Summe der Aussagen 23, davon 17 richtig
1. Säureabgabe ins Blut bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz	Säureabgabe ins Blut bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>		
2. Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>		
3. Säureabgabe ins Blut erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Säureabgabe ins Blut erniedrigt die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>			
4. PH –Werterniedrigung bewirkt Erhöhung der Atemfrequenz	<i>Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert pH - Werterniedrigung</i>	<i>PH –Werterniedrigung hat zur Folge Erhöhung der Atemfrequenz</i>		
5. PH –Werterniedrigung verändert die Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	<i>Erhöhung der Atemfrequenz kompensiert pH - Werterniedrigung</i>			
6. Säureabgabe ins Blut verschiebt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut verändert das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure Säureabgabe ins Blut hat zur Folge pH - Werterniedrigung
7. Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung	Säureabgabe ins Blut bewirkt pH - Werterniedrigung
8. PH –Werterniedrigung verändert Konzentration von Hydrogencarbonat				
9. Löslichkeit von CO <sub>2</sub> verändert Konzentration von Hydrogencarbonat	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> verändert Konzentration von Hydrogencarbonat	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> beeinflusst Konzentration von Hydrogencarbonat	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> beeinflusst Konzentration von Hydrogencarbonat	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> beeinflusst Konzentration von Hydrogencarbonat
10. pH –Werterniedrigung stört Gleichgewichtslage	pH –Werterniedrigung stört Gleichgewichtslage	pH –Werterniedrigung stört Gleichgewichtslage	PH –Werterniedrigung verschiebt Gleichgewichtslage	PH –Werterniedrigung verschiebt Gleichgewichtslage
11. Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Le Chatelier Prinzip erklärt Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Le Chatelier Prinzip beschreibt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Le Chatelier Prinzip beschreibt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure
12. Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>
13. Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Konzentration von Hydrogencarbonat	Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Löslichkeit von CO <sub>2</sub>			
14. Le Chatelier Prinzip trifft Vorhersage über Gleichgewichtslage	Le Chatelier Prinzip erklärt Gleichgewichtslage	Le Chatelier Prinzip beschreibt Gleichgewichtslage	Le Chatelier Prinzip beschreibt Gleichgewichtslage	Le Chatelier Prinzip beschreibt Gleichgewichtslage
15. Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure wird mathematisch beschrieben durch das MWG	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure wird mathematisch beschrieben durch das MWG	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure wird mathematisch beschrieben durch das MWG	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure wird mathematisch beschrieben durch das MWG	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure wird mathematisch beschrieben durch das MWG

Referenznetz - KSN – Summe der Aussagen: 19	Testpartnernetz Gruppe 1 Summe der Aussagen 18, davon 17 richtig	Testpartnernetz SIF Summe der Aussagen: 20, davon 18 richtig	Testpartnernetz Hugo Summe der Aussagen 15, davon 9 richtig	Testpartnernetz Krücke... Summe der Aussagen 23, davon 17 richtig
16. Gleichgewichtslage wird mathematisch beschrieben durch MWG	Gleichgewichtslage wird mathematisch beschrieben durch MWG	Gleichgewichtslage wird mathematisch beschrieben durch MWG		Gleichgewichtslage wird mathematisch beschrieben durch MWG
17. Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bestimmt Pufferkapazität	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure bestimmt Pufferkapazität			
18. Pufferkapazität kompensiert pH - Werterniedrigung		Pufferkapazität kompensiert pH - Werterniedrigung	Pufferkapazität kompensiert pH - Werterniedrigung	Pufferkapazität kompensiert pH - Werterniedrigung
19. Konzentration von Hydrogencarbonat bestimmt Pufferkapazität	Konzentration von Hydrogencarbonat beeinflusst Pufferkapazität			
20.	Die Gleichgewichtslage erklärt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure (!!!: Verwechslung von Ursache und Folge))	Die Gleichgewichtslage verursacht das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure (!!!: Verwechslung von Ursache und Folge))	Erhöhung der Atemfrequenz erhöht Löslichkeit von CO2 (!!!: falsche Aussage)	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure beschreibt die pH –Werterniedrigung
21.		Löslichkeit von CO <sub>2</sub> trifft Vorhersage über pH –Werterniedrigung	Erhöhung der Atemfrequenz stört pH – Werterniedrigung (!!!!: falsche Aussage)	Das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure beschreibt Gleichgewichtslage
22.		Löslichkeit von CO <sub>2</sub> beeinflusst Säureabgabe ins Blut (!!!: nur bedingt zutreffend)	Pufferkapazität hat zur Folge Gleichgewichtslage(!!!!: missverständlich)	Säureabgabe ins Blut hat zur Folge Löslichkeit von CO <sub>2</sub> . (!!!falsche Aussage
23.			PH –Werterniedrigung bewirkt Konzentration von Hydrogencarbonat (!!!: missverständlich)	Pufferkapazität wird mathematisch beschrieben durch das MWG (!!: falsche Aussage)
24.			Konzentration von Hydrogencarbonat bestimmt Säureabgabe ins Blut (!!: falsche Aussage)	Konzentration von Hydrogencarbonat wird mathematisch beschrieben durch MWG
25.			Gleichgewichtslage beschreibt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure (!!!! : Ursache und Folge verwechselt)	Erhöhung der Atemfrequenz erhöht Konzentration von Hydrogencarbonat (!!: falsche Aussage )
26.				Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Säureabgabe ins Blut (!!!: falsche Aussage)
27.				Löslichkeit von CO <sub>2</sub> verursacht Pufferkapazität !!!: missverständlich)
28.				Gleichgewichtslage bestimmt Konzentration von Hydrogencarbonat (!!!: Ursache und Folge verwechselt)

Referenznetz - KSN – Summe der Aussagen: 19	Testpartnernetz Gruppe 1 Summe der Aussagen 18, davon 17 richtig	Testpartnernetz SIF Summe der Aussagen: 20, davon 18 richtig	Testpartnernetz Hugo Summe der Aussagen 15, davon 9 richtig	Testpartnernetz Krücke... Summe der Aussagen 23, davon 17 richtig
29.		Erhöhung der Atemfrequenz beeinflusst das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure		Erhöhung der Atemfrequenz verschiebt das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure
30.	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Konzentration von Hydrogencarbonat	Erhöhung der Atemfrequenz erniedrigt die Konzentration von Hydrogencarbonat		Gleichgewichtslage erklärt pH – Werterniedrigung
31.	Erhöhung der Atemfrequenz stört die Gleichgewichtslage	Erhöhung der Atemfrequenz verändert Gleichgewichtslage		
32.		Säureabgabe ins Blut stört Gleichgewichtslage		Säureabgabe ins Blut beeinflusst die Gleichgewichtslage
33.				Säureabgabe ins Blut erniedrigt Pufferkapazität
34.	Konzentration von Hydrogencarbonat beeinflusst pH – Werterniedrigung	Konzentration von Hydrogencarbonat beeinflusst das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	Konzentration von Hydrogencarbonat beeinflusst das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure	
35.		Pufferkapazität kompensiert Säureabgabe ins Blut		
36.	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> hat zur Folge pH - Werterniedrigung	Löslichkeit von CO <sub>2</sub> verändert Gleichgewichtslage		
37.			Konzentration von Hydrogencarbonat verändert Gleichgewichtslage	
38.	Die Löslichkeit von CO <sub>2</sub> beeinflusst die Pufferkapazität			MWG trifft Vorhersage über pH - Werterniedrigung
39.				Le Chatelier Prinzip wird mathematisch beschrieben durch MWG
40.				Konzentration von Hydrogencarbonat verändert das Konzentrationsverhältnis von Hydrogencarbonat und Kohlensäure

**Falsche Aussagen liegen im Fettdruck vor**

<b>2.13</b>	<b>Befragung zum Concept - Mapping</b>	<b>C</b>	<b>200</b>
	• Fragebogen	C	201
	• Mittelwerte und Streuungen	C	203
	• Korrelationsanalyse	C	206
	• Faktorenanalyse	C	207

## Fragebogen zum Concept Map ‚Hyperventilation‘

Schon wieder ein Fragebogen ..! Diesmal möchten ich Sie um Ihre ganz persönlichen positiven und negativen Anmerkungen zum ‚Conceptmapping‘ bitten. Sie können damit mir und uns helfen, den Unterricht in Ihrem Sinne interessanter und bedeutsamer zu gestalten. Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

Für die Auswertung ist es nötig, dass die Fragebögen codiert sind. Ich bitte Sie daher, die gleiche Codierung zu benutzen, die Sie bei den vorangegangenen Fragebögen benutzt haben. Wenn Sie sich an die Vorgabe gehalten haben, dann haben Sie die ersten beiden Buchstaben im Vornamen Ihrer Mutter und im Vornamen Ihres Vaters für die Codierung (z.B. LUHE) gewählt.

### Beurteilen Sie folgende Aspekte zum ‚Concept map Hyperventilation‘

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
1 ‚Concept maps‘ eignen sich <b>nicht</b> für jeden Kontext.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Das Phänomen der Hyperventilation lässt sich durch ein ‚Concept map‘ angemessen aufschlüsseln.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Das Kohlensäure/Hydrogencarbonat - Gleichgewicht ist weniger gut geeignet für ein ‚Concept map‘	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Beeindruckend ist an einem ‚Concept map‘ die Darstellung eines Phänomens in einem Gesamtzusammenhang.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Im ‚Concept map‘ liegt nur ein reduziertes Begründungsgefüge vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Eine Verengung auf ein Einzelproblem wird im ‚Concept map‘ vermieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Vorhandenes Wissen kann mit Hilfe von ‚concept maps‘ aktiviert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 ‚Concept maps‘ sind eine Überforderung, wenn dazu nötiges Wissen <b>nicht</b> präsent ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 ‚Concept maps‘ erleichtern mir das Lernen eines komplexen Zusammenhanges.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 ‚Concept maps‘ sind nach einem halben Jahr für mich missverständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Ich habe Begriffe miteinander verknüpft, ohne dass mir das Hintergrundwissen präsent war.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Durch die vorgegebenen Begriffe und Verknüpfungen fiel es mir leicht, mein Wissen zum Phänomen ‚Hyperventilation‘ zu präsentieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>13 Und was ich sonst noch zum ‚Concept Map‘ sagen möchte:.....</b>					

**Beurteilen Sie folgende Aspekte zur Gruppenarbeit beim Erstellen des ‚Concept Maps Hyperventilation‘**

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
14 Mir <b>gefällt</b> Gruppenarbeit <b>nicht</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Gruppenarbeit fördert die Kooperations- und Teamfähigkeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Für mich war die Gruppenarbeit <b>nicht</b> effektiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Ich habe während der Gruppenarbeit fachlich <b>viel</b> gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 Wir konnten in der Gruppe gut zusammen- arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 Aus meiner Sicht waren die Arbeiten in unserer Gruppe <b>ungleich</b> verteilt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 Uns hat während der Gruppenarbeit <b>Zeit gefehlt</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 Die für die Gruppenarbeit zur Verfügung stehende Zeit muss von uns <b>besser</b> eingeteilt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 Ich fühlte mich beim Erstellen des ‚Concept maps‘ <b>allein</b> gelassen und hätte mir eine stärkere Präsenz meiner Lehrerin gewünscht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 <b>Mir</b> hat die Arbeit in der Gruppe genügend Freiraum gegeben, <b>mein Wissen</b> zu erweitern und zu vertiefen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 Im Unterrichtsgespräch wären wir zu den gleichen Lernergebnissen gekommen, aber in viel kürzerer Zeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 Aus meiner Sicht bietet das Unterrichtsgespräch <b>wenig</b> Möglichkeiten, selbständiges Lernen zu fördern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26 Ich fühle mich zufriedener, wenn ich eigenständig einen Sachverhalt erschlossen habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27 Die Arbeit in der Gruppe war <b>nicht</b> geeignet, Verständnis- probleme zu klären.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28 In der Gruppenarbeit fühlte ich mich in der Entwicklung meiner eigenen Ideen behindert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 Von mir ist bei der Arbeit in der Gruppe eine komplexere Leistung abverlangt worden als ich es bisher im Chemieun- terricht kennengelernt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 <b>Und was ich sonst noch zur Gruppenarbeit beim Erstellen des ‚Concept Maps‘ sagen möchte:.....</b>					







FELDNAME: f30 FELDTYP: M

19mal:

1mal: mehr Demokratie innerhalb der Gruppe

1mal: Gruppen sollten noch mehr variiert werden. Ich finde es gut, immer mit neuen Leuten zusammenzuarbeiten.

1mal: Ich glaube, zum Vertiefen und Erinnern von Sachverhalten sind concept maps sehr sinnvoll, jedoch benötigt man ein Grundwissen, um dieses ausführen zu können.

1mal: Concept maps sind meiner Meinung nach nicht zum Lernen von Sachverhalten, sondern eher zum effektiven Wiederholen geeignet. Da keine externen Informationen vorliegen, war ein eigenständiges Erarbeiten und Lernen nicht möglich.

1mal: Ich denke, dass diese Art von Arbeiten die schüchternen Schüler benachteiligt. Am besten fände ich es, man würde cm's im Unterrichtsgespräch erarbeiten, damit man ständig die Kontrolle der Lehrkraft hat und sich nicht so verloren fühlt und sich auch nichts falsches merkt. Außerdem sollte man seine Unterlagen mitbenutzen dürfen, wenn ein Thema schon ein wenig zurück liegt.

1mal: Der Anfang fällt ziemlich schwer.

1mal: Jede Gruppe muss variiert werden! Besser als durch concept maps kann man sich Zusammenhänge durch Erfahrungen (z.B. Tauchen) einprägen und verstehen!

1mal: Es bestand eine gute Teamfähigkeit.

Korrelationsanalyse zur Befragung ‚Concept Mapping‘  
TABELLE: CONCEPT Datensätze: 27  
\*\*\*\*\*  
Korrelationen ab + - 0.4

NUMMER/F11,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,8118 Kovarianz: = -12,7407

NUMMER/F12,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,7759 Kovarianz: = -9,8889

NUMMER/F15,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4338 Kovarianz: = -2,2593

NUMMER/F17,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4277 Kovarianz: = -3,8148

NUMMER/F18,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4862 Kovarianz: = -3,2593

F01/F06,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4582 Kovarianz: = -0,4678

F01/F20,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,6681 Kovarianz: = 0,7503

F02/F03,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4542 Kovarianz: = -0,2812

F02/F16,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4571 Kovarianz: = -0,2936

F02/F23,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5130 Kovarianz: = 0,4829

F02/F27,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4795 Kovarianz: = -0,3786

F03/F04,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4613 Kovarianz: = -0,3416

F04/F15,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4903 Kovarianz: = 0,3004

F04/F16,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,5413 Kovarianz: = -0,4156

F06/F20,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4142 Kovarianz: = -0,3388

F07/F09,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5199 Kovarianz: = 0,3992

F07/F16,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4062 Kovarianz: = -0,2140

F07/F17,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5603 Kovarianz: = 0,4033

F10/F14,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5730 Kovarianz: = 0,4472

F11/F12,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,8533 Kovarianz: = 2,8134

F11/F15,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4265 Kovarianz: = 0,5748

F11/F16,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,5199 Kovarianz: = -0,8779

F11/F17,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4363 Kovarianz: = 1,0069

F12/F15,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4688 Kovarianz: = 0,5130

F12/F16,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,6042 Kovarianz: = -0,8285

F12/F17,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4253 Kovarianz: = 0,7970

F12/F18,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5786 Kovarianz: = 0,8148

F12/F19,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4931 Kovarianz: = -0,8162

F12/F28,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4065 Kovarianz: = -0,5226

F14/F28,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5899 Kovarianz: = 0,3745

F16/F18,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4621 Kovarianz: = -0,3333

F16/F19,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4061 Kovarianz: = 0,3443

F17/F23,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5246 Kovarianz: = 0,7380

F17/F28,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4299 Kovarianz: = -0,3868

F18/F19,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,6806 Kovarianz: = -0,5926

F18/F27,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4176 Kovarianz: = -0,3704

F18/F28,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4930 Kovarianz: = -0,3333

F19/F21,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4151 Kovarianz: = 0,4019

F20/F21,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,4970 Kovarianz: = 0,4513

F22/F27,Paarsätze: 27  
Korrelation: = 0,5332 Kovarianz: = 0,4568

F23/F29,Paarsätze: 27  
Korrelation: = -0,4064 Kovarianz: = -0,4842

Faktorenanalyse zum Fragebogen Concept Mapping

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,520	19,714	19,714	5,520	19,714	19,714
2	4,125	14,731	34,444	4,125	14,731	34,444
3	3,121	11,146	45,591	3,121	11,146	45,591
4	2,016	7,199	52,790	2,016	7,199	52,790
5	1,846	6,594	59,384	1,846	6,594	59,384
6	1,610	5,752	65,136	1,610	5,752	65,136
7	1,414	5,052	70,187	1,414	5,052	70,187
8	1,349	4,819	75,006	1,349	4,819	75,006
9	1,220	4,356	79,362	1,220	4,356	79,362
10	1,003	3,583	82,945	1,003	3,583	82,945
11	,907	3,238	86,182			
12	,803	2,867	89,049			
13	,619	2,211	91,260			
14	,569	2,032	93,293			
15	,464	1,656	94,948			
16	,345	1,233	96,181			
17	,277	,990	97,171			
18	,240	,858	98,029			
19	,203	,726	98,754			
20	,118	,423	99,177			
21	9,959E-02	,356	99,533			
22	4,398E-02	,157	99,690			
23	3,336E-02	,119	99,809			
24	3,181E-02	,114	99,923			
25	1,959E-02	6,997E-02	99,993			
26	2,036E-03	7,270E-03	100,000			
27	3,874E-17	1,384E-16	100,000			
28	-1,19E-16	-4,24E-16	100,000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Component Matrix<sup>a</sup>

	Component									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	,188	,701	,358	-,221	,155	-5,86E-02	-8,06E-02	4,343E-02	-,264	,134
AA	-,383	,517	-5,32E-03	,327	-,498	-,124	-,211	-,216	,138	8,511E-02
AB	-,639	,101	,116	7,847E-02	,391	,211	-,362	,195	-,191	-,160
AC	-4,06E-02	-4,94E-02	9,367E-03	-,856	,134	-,261	7,660E-02	-3,21E-02	4,332E-02	,196
B	,664	-,131	-,268	,213	,331	-,151	,255	1,193E-02	-,188	,116
C	-,425	9,780E-02	,634	,189	-4,42E-02	-,353	6,721E-02	-,131	,164	-6,85E-02
D	,614	1,050E-02	-,178	,158	,271	,398	-,214	-1,35E-02	,353	-3,35E-02
E	-,266	9,142E-02	,332	,158	,462	,111	7,916E-02	-,137	-4,33	2,267E-02
F	-4,91E-03	-,526	-,442	,263	,286	3,940E-02	7,626E-02	9,219E-02	,129	,229
G	,540	,523	-,202	-,111	6,942E-02	-6,50E-02	-3,15E-02	-,247	4,486E-02	-,425
H	-8,00E-03	,436	9,427E-02	,300	,219	,110	-4,64E-02	-,311	,488	,468
I	,365	,369	-,263	-7,86E-02	,180	-,328	4,903E-02	,355	,303	-,317
J	-,481	4,554E-02	,268	,357	,248	,108	,394	,348	,142	8,506E-02
K	,593	,337	,475	4,785E-02	-,154	,250	-8,27E-02	-,185	-,143	6,504E-02
L	,719	5,984E-02	,533	8,962E-02	-,135	,172	9,936E-02	8,042E-02	1,319E-02	2,600E-02
N	-,489	,437	,210	,162	6,634E-02	,283	,103	,523	8,972E-02	-,178
O	,614	,238	2,336E-02	-,181	-,194	,339	4,316E-02	,300	6,207E-02	,248
P	-,745	-4,73E-02	-,372	-8,53E-02	-,241	,120	,177	8,119E-02	-,141	,163
Q	,588	,473	-,160	,271	-,218	2,884E-02	,133	,125	-,143	-,139
R	,552	-,407	,447	-3,64E-02	-8,07E-02	-,204	,301	,261	7,659E-03	2,358E-02
S	-,408	,590	-,458	3,532E-02	,238	-1,19E-02	5,293E-02	-,160	,134	-,170
T	4,833E-02	,809	8,484E-02	-,264	,109	3,155E-02	6,946E-02	4,110E-02	-8,57E-02	,214
U	,174	,523	-,442	-,355	,236	,123	-1,37E-02	,147	-5,40E-02	,181
V	-,240	,534	-,166	,110	-,438	-,381	,207	,243	5,106E-02	,131
W	,406	,268	-,308	,503	-2,66E-02	-,156	-5,39E-02	-2,01E-02	-,475	9,428E-02
X	,205	,179	,310	,132	,508	-,532	,181	-,143	6,760E-02	4,173E-02
Y	-,139	2,766E-02	-,558	7,539E-02	-6,07E-02	,161	,600	-,275	-9,16E-02	-2,01E-02
Z	-,169	,136	,342	-,219	-3,92E-02	,429	,568	-,336	8,181E-02	-,234

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 10 components extracted.

## **2.14 Leistungstest**

**C 209**

- Aufgabenstellung und Ergebnisse C 210
- Transkription der Gruppendiskussion C 214

## Aufgabenstellung und Ergebnisse der abschließenden Leistungsüberprüfung

Der Leistungstest wurde am 10 Juni 2002 in der Gruppe KSN, etwa vier Monate nach den von der Gruppe erstellten Concept Maps durchgeführt. Im Anschluss an den Test erfolgte eine Befragung. Am Test haben 13 Schüler und Schülerinnen teilgenommen. In der Zeit zwischen den beiden Testverfahren wurde im herkömmlichen Unterricht nach der Vorgabe der niedersächsischen Rahmenrichtlinien das Thema ‚Elektrochemie‘ unterrichtet. Zeitgleich vorliegende und sich wechselseitig beeinflussende Gleichgewichte waren zuletzt im Kontext ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ thematisiert worden und wurden als Erklärung für körperliche Phänomene im Concept Map zum Thema ‚Hyperventilation‘ aus der Erinnerung rekonstruiert. In den beiden Stunden vor dem Leistungstest wurde die Nomenklatur von kationischen Komplexen am Beispiel von Eisen – III – ionen eingeführt.

Für die Schüler und Schülerinnen ist die Aufgabe neu und mit einem hohen problemlösenden Anteil. Es handelt sich nicht um Zwei – Phasen – Gleichgewichte, wie sie im Rahmen des Kurses ‚Elektrochemie‘ erarbeitet wurden. Es handelt sich um Gleichgewichte in einer homogenen Lösung, die sich wechselseitig beeinflussen. Eines der Gleichgewichte, das Hydrogencarbonat – Carbonat – Gleichgewicht, wurde im vorangegangenen Semester im Kontext erarbeitet. Die übrigen Gleichgewichte sind Komplexgleichgewichte und neu. Der Farbwechsel, der stattfindet, wenn eine Lösung von einem Becherglas in das andere gegeben wird, ist das kontextunabhängige Phänomen, das im Test erklärt werden soll.

### Voraussetzungen

Die Nomenklatur von kationischen und anionischen Komplexen am Beispiel von Eisen – III – ionen.

#### Kationische Komplexe

Name	Formelschreibweise
Hexaaqua-eisen III – ion: 1. Anzahl der Liganden wird mit den Zahlwörtern mono, di, tri, tetra, penta, hexa usw. angegeben. 2. Ligand (negativ geladene Liganden enthalten die Endung – o): Hydroxo oder Cyano oder Thiocyanato 3. Zentralion mit Oxidationszahl	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} (\text{aq})$ 1. Zentralion ohne Ladung 2. Ligand ohne Ladung in Klammern: $\text{OH}^-$ ; $\text{CN}^-$ , $\text{SCN}^-$ , 3. Ladungszahl des Komplexes ergibt sich aus der Summe der Ladungszahlen von Zentralion und Liganden

#### Anionische Komplexe

Name	Formelschreibweise
Hexahydroxo – ferrat (II): 4. Anzahl der Liganden wird mit den Zahlwörtern mono, di, tri, tetra, penta, hexa usw. angegeben. 5. Ligand (negativ geladene Liganden enthalten die Endung – o) Hydroxo oder Cyano oder Thiocyanato 6. Zentralion mit Oxidationszahl und der Endung – <b>at</b> an den lateinischen Namen	$[\text{Fe}(\text{OH})_6]^{3-} (\text{aq})$ 4. Zentralion ohne Ladung 5. Ligand ohne Ladung in Klammern 6. Kation wird zuerst genannt: Kaliumhexahydroxoferrat (III). 7. Ladungszahl des Komplexes ergibt sich aus der Summe der Ladungszahlen von Zentralion und Liganden

## Die Aufgabe: Fünf Farben in einer Lösung

### Geräte und Chemikalien

Fünf mit den Zahlen 1-5 beschriftete 250 mL – Bechergläser, weiße Unterlage, Phenolphthalein, 5%ige Natriumcarbonatlösung, 50%ige Eisen – III – chloridlösung, 30%ige Ammoniumthiocyanatlösung, 5%ige Kaliumhexacyanoferrat(II)lösung (gelbe Blutlaugensalzlösung), 5 Pasteurpipetten, 100 mL – Messzylinder

### Versuchsdurchführung

Jedes Becherglas enthält die vorgeschriebenen Tropfen bzw. Milliliter der verschiedenen Lösungen, die im nachfolgendem Pipettierschema angegebenen sind.

### **Tropf- bzw. Pipettierschema**

	Becherglas 1	Becherglas 2	Becherglas 3	Becherglas 4	Becherglas 5
Phenolphthalein	1 mL				
Natriumcarbonatlösung		5 Tropfen			
Eisen – III chloridlösung			5 Tropfen		
Ammoniumthiocyanatlösung				5 Tropfen	
Kaliumhexacyanaoferratl(II)lösung					20 Tropfen

1. Füllen Sie in einen Messzylinder 100 mL Wasser und verfahren Sie wie folgt:
2. Geben Sie das Wasser in das Becherglas Nr.1.
3. Schütten Sie den G.mten Inhalt des Becherglases Nr.1 in das Becherglas Nr.2.
4. Geben Sie danach den Inhalt von Becherglas Nr. 2 (ungefähr 101 mL ) in Becherglas Nr. 3.
5. Gießen Sie dann den G.mten Inhalt von Becherglas von Nr. 3 in Becherglas Nr.4.
6. Schütten Sie dann den Inhalt von Becherglas Nr. 4 in Becherglas Nr. 5.

### Beachten Sie:

- Die Reihenfolge der aufgeführten Schritte muss unbedingt eingehalten werden.
- Das Volumen der jeweils umgeschütteten Lösung beträgt 101 mL zuzüglich der Tropfen in den Bechergläsern.

### Aufgaben

1. Notieren Sie die zu beobachtenden Farben.
2. Erklären Sie die Farbänderungen und formulieren Sie die jeweiligen Reaktionsschemata.
  - Gehen Sie davon aus, dass es sich bei allen Farbänderungen um Störungen und Neueinstellungen der jeweiligen Gleichgewichte handelt.
  - Berücksichtigen Sie, dass die Farbänderungen der Lösungen in den Bechergläsern 3 – 5 durch vollständigen Ligandenaustausch in den Eisen – III – komplexen hervorgerufen werden.
3. Welche Aussage können Sie über die Gleichgewichtskonstanten der für die Färbung verantwortlichen Komplex - Gleichgewichte in den Bechergläsern 4 und 5 machen?

## Anmerkungen zu den Aufgaben

- In einer Eisen – III – chloridlösung liegt das Eisenion in einem Hexaaqua – Eisen(III) – komplexion vor. Die Chlorionen sind Zuschauerionen. Hexaaqua – eisen(III) - ionen sind Protonendonatoren und reagieren in wässriger Lösung unter Bildung von Oxoniumionen und Hexahydroxo – ferrat(III) ionen.
- In einer Ammoniumthiocyanatlösung liegen frei bewegliche Ammoniumionen  $\text{NH}_4^+$  (aq) und Thiocyanationen  $\text{SCN}^-$  (aq) vor. Ammoniumionen sind Zuschauerionen. Thiocyanationen gehören zu den Liganden.
- Werden zu Kaliumhexacyanoferrat (II) - lösung Eisen – III – ionen zugefügt, entsteht ein blauer Farbstoff, Berlinerblau. Es handelt sich dabei um einen Hexacyano – ferratkomplexion, das Eisen – II – und Eisen – III – ionen im Verhältnis 1:1 enthält und mit der Formel  $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]^-$  (aq) angegeben wird.

## Erwartungshorizont

Aufgabe	Erwartete Leistungen		Minimale Punktzahl
1	Becherglas 1: Becherglas 2 Becherglas 3 Becherglas 4 Becherglas 5	farblos lila gelb dunkelrot blauschwarz	5
2	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	lila	4
	$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}(\text{aq}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{OH})_6]^{3-}(\text{aq}) + 6 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	gelb	
	Die bei der Protolyse des Hexaaqua – Eisen(III) – Komplexes entstehenden Oxoniumionen reagieren mit den Hydroxidionen aus dem Carbonat/Hydrogencarbonat - gleichgewicht. Die Lösung wird erneut neutral und Phenolphthalein farblos.		4
	$[\text{Fe}(\text{OH})_6]^{3-}(\text{aq}) + 6 \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}(\text{aq}) + 6 \text{OH}^-(\text{aq})$	dunkelrot	
	Durch Zugabe von Thiocyanationen werden die Hydroxidionen im Hexahydroxo - ferrat(III) – ionenkomplex ausgetauscht. Es entsteht ein Hexathiocyanato –ferrat(III) – ionenkomplex, der für die dunkelrote Färbung verantwortlich ist.		4
	$\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}(\text{aq}) + 6 \text{CN}^-(\text{aq}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NaFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6](\text{s}) + 6 \text{SCN}^-(\text{aq})$	blauschwarz	
	Die Thiocyanationen im Hexathiocyanato –ferrat(III) – ionenkomplex werden durch Cyanidionen ersetzt und es entsteht der schwarzblaue Berlinerblaukomplex, bei dem im gleichen Verhältnis Eisen – II - ionen und Eisen – III – ionen auftreten.		4
	<b>Anmerkungen</b> Die Zusammensetzung von Berliner Blau wird unterschiedlich angegeben: $\text{NaFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6](\text{s})$ (H. R. Christen: Grundlagen der allgemein und anorganischen Chemie. Verlag Sauerländer Aarau, 1986, S. 486) $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot 14\text{-}16 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ . nachgewiesen sind diskrete $\text{Fe}^{2+}$ und $\text{Fe}^{3+}$ - Ionen. (H.W. Roesky et al: Chemische Kabinettstücke. VCH. Weinheim 1994, S. 96.) $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ zunächst löslich (Römpf Chemie Lexikon. 9. Auflage. Band 1. Thieme, New York 1989, S. 395)		
3	<b>Der Wert der Gleichgewichtskonstanten nimmt zu.</b>		4
		Summe	25



## Bewertung

Die Bewertung erfolgt nach der im Erwartungshorizont vorgegebenen Punktzahl. Im arithmetischen Mittel werden von den Schülern 15,7 Punkte von 25 Punkten erreicht, das sind 62,8% der erwarteten Leistung. Die Leistungen von vier Schülern sind nicht mehr ausreichend, vier Schülerinnen hingegen zeigen überwiegend sehr gute Leistungen. Vier Schülern zeigen befriedigende, ein Schüler ausreichende Leistungen.

In einer Veröffentlichung von Sumfleth (1988) liegen Ergebnisse von zwei abschließenden Tests in der Jahrgangsstufe 11 vor. Die Untersuchung wurde 1986 mit 257 bzw. 183 Gymnasialschülern durchgeführt. Bei den abschließenden Tests der Untersuchung von Sumfleth handelt es sich um eine Kombination aus Erklärungstest, Schulleistungstest und Verknüpfungstest. Im Erklärungstest wird eine Definition von fünf Fachbegriffen verlangt. Beim Verknüpfungstest werden ähnlich wie beim Erstellen von Concept Maps Begriffe vorgegeben, die sinnvoll in Sätzen miteinander verknüpft werden sollen. Der Schulleistungstest entspricht einer Klausur in Klasse 11 und ist mit dem Abschlusstest der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Ein Vergleich der Ergebnisse der Schulleistungstests mit dem Abschlusstest dieser Arbeit zeigt, dass die Schüler im untersuchten Jahrgang 11 nach einem halben Jahr nur im Mittel 30 % der erwarteten Leistungen im Transfer und problemlösenden Bereich erbringen.

Die Mehrzahl der Schüler, die an der vorliegenden Untersuchung beteiligt sind, zeigt Ergebnisse, die im befriedigenden Bereich liegen. Damit zeigen die Schüler, dass sie die wechselseitige Beeinflussung zeitgleich vorliegender Gleichgewichte als Erklärung für neue Phänomene sinnvoll nutzen und in angemessener Fachsprache formulieren können.

Aussagen der Schülerinnen in dem direkt auf den Test folgenden Gruppeninterview legen nahe, dass allgemeingültige systemische Zusammenhänge, wie sich wechselseitig beeinflussende Gleichgewichte, ihnen als Wissensfundament zur Verfügung steht, unabhängig von dem Kontext, in dem das Wissen erarbeitet worden ist. Auf die Nachfrage der Interviewerin, was erinnert worden war beim Bearbeiten der Aufgaben, kamen folgende Antworten:

„Das einzige war das MWG in der Beziehung“.

„Was in Erinnerung geblieben ist, ist die Lösung im Mineralwasser.  $\text{CO}_2$  reagiert zu  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , zu  $\text{HCO}_3^-$  und letztlich zu  $\text{CO}_3^{2-}$ . Das Problem war, ich war nicht sehr motiviert. Letzte Stunde vor den Ferien“.

„Ich habe mich nicht wirklich erinnert. Ich habe mich nur an das erinnert, was ich brauche und das habe ich nicht mit Hyperventilation in Erinnerung gebracht“.

**Transkription des Gruppeninterviews über den Leistungstest  
,Fünf Farben in einer Lösung'.**

**Teilnehmer: Gruppe KSN (Gruppe JEJC, SIF, HUGO, KRÜCKE), HOF, KSN**

**Datum 10.06.02**

A	<p>Im 2. Becherglas war eine Pinkfärbung zu beobachten. Das lag daran, dass OH<sup>-</sup> - Ionen entstanden sind. Natriumcarbonat ist Na<sup>+</sup> und CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> in Lösung. Das ist zu H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> und 2 OH<sup>-</sup>. OH<sup>-</sup> sind entstanden. Es kann auch HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> entstehen und OH<sup>-</sup>. Daher kommt die Rosafärbung. Im dritten Becherglas ist die Pinkfärbung verschwunden, was durch vollständigen Ligandenaustausch in den Eisen – III – komplexen hervorgerufen wird. Ich habe eine Reaktion wie Fe (H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub><sup>3+</sup> hat mit 6 H<sub>2</sub>O reagiert zu Fe(OH)<sub>6</sub><sup>3-</sup> und 6 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Die Oxoniumionen sind entstanden Die Pinkfärbung ist verschwunden, denn die OH<sup>-</sup> Ionen werden neutralisiert. Fe (OH)<sub>6</sub><sup>3-</sup> ist leicht gelblich. Beim vierten Becherglas ist eine Rotfärbung zu beobachten. Ich habe eine Reaktion: Fe(OH)<sub>6</sub><sup>3-</sup> plus 6 SCN<sup>-</sup> werden zu Fe (SCN)<sub>6</sub><sup>3-</sup> und 6 OH<sup>-</sup>. Fe (SCN)<sub>6</sub><sup>3-</sup> müsste für die Rotfärbung verantwortlich sein. Als letztes hat Fe (CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> mit Fe<sup>3+</sup> reagiert zu [FeFe(CN)<sub>6</sub>]<sup>-</sup> Fe<sup>3+</sup> ist vorhanden aufgrund der Komplexverbindungen und hat so reagiert. Das letzte ist Berlinerblau.</p>
	<p>Zu 3 habe ich das MWG aufgestellt. Bei der 5. Reaktion habe ich das Verhältnis der Konzentrationen ausgerechnet. Etwas von 0,002 ohne Einheiten, weil wir die Konzentration der Tropfen nicht kannten. Die Konstante müsste größer werden.. Ich weiß nicht, wie ich das erklären soll. Vom Gefühl her.</p>
B	Ich habe nur den Ansatz.
A	<p>Zu der 4. konnte ich nichts ausrechnen. Man hätte sagen können, dass die Konzentration von Fe(CN)<sub>6</sub><sup>3-</sup> plus die Konzentration von Fe(OH)<sub>6</sub><sup>3-</sup> die Konzentration von Fe III – chlorid sein müsste.</p>
KSN	Probleme ?
B	Das Thema war vollkommen neu. Die Reaktionspartner waren unklar. Die gegebenen Informationen waren nicht vollständig klar. SCN <sup>-</sup> zum Beispiel spaltet sich nicht auf, sondern bleibt erhalten, daher gab es Probleme beim Gleichungen aufstellen.
A	Ich fand das schwierig mit dem Gleichgewicht. Ich wüsste nicht, wie man eine Aussage treffen kann, wenn man keine Daten hat. Das war, das ist sehr kompliziert.
C	Ich hatte schon Probleme, den Hexaaqua – eisen – III – komplex in eine Formel zu bringen.
D	Da kann ich mich nur anschließen. Weil die Verbindungen zu komplex sind, herauszufinden, was wie aussieht, was wozu reagiert.
HOF	Hat es Euch geholfen, dass Ihr Euch erinnert habt beispielsweise an ‚Hyperventilation‘? Habt Ihr Euch überhaupt an das erinnert, was einmal war?
E	Das einzige war das MWG in der Beziehung.
HOF	Hyperventilation nicht?
F	Was in Erinnerung geblieben ist, ist die Lösung im Mineralwasser. CO <sub>2</sub> reagiert zu H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , zu HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> und letztlich zu CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> . Das Problem war, ich war nicht sehr motiviert. Letzte Stunde vor den Ferien.
G	Ich habe mich nicht wirklich erinnert. Ich habe mich nur an das erinnert, was ich brauche und das habe ich nicht mit Hyperventilation in Erinnerung gebracht.

### 3. Anhang F zu Kapitel 4.3

<b>Befragung mit Fragebögen</b>	<b>F</b>	<b>1</b>
3.1 Fragebogen II	F	2
3.2 Fragebogen I	F	7
3.3 Codierung der Fragebögen	F	11
3.4 Mittelwerte und Streuungen zum Fragebogen II	F	12
3.5 Korrelationsanalyse zum Fragebogen II	F	18
3.6 Aufbereitung der Daten zur Korrelationsanalyse II	F	29
3.7 Mittelwerte und Streuungen zum Fragebogen I	F	33
3.8 T – Werte	F	38
3.9 Faktorenanalyse zum Fragebogen I	F	48
3.10 Faktorenanalyse zum Fragebogen II	F	50

## Fragebogen (II) zur Unterrichtseinheit

### „Atmen unter Extrembedingungen“

Sie erhalten einen zweiten Fragebogen, der sich auf die Unterrichtseinheit „Atmen unter Extrembedingungen“ bezieht. Ziel der Befragung ist es, Ihre Meinung zur Unterrichtseinheit zu erfahren. Der Fragebogen ist Teil einer unabhängigen Untersuchung, die zur Verbesserung des Chemieunterrichts in der Oberstufe beitragen soll. Alle Angaben bleiben anonym, so dass kein Rückschluss auf Ihre Person möglich ist. Für die Auswertung ist es nötig, dass die Fragebögen codiert sind. Ich bitte Sie daher, die gleiche Codierung zu benutzen, die Sie beim ersten Fragebogen benutzt haben. Wenn Sie sich an die Vorgabe gehalten haben, dann haben Sie die ersten beiden Buchstaben im Vornamen Ihrer Mutter und im Vornamen Ihres Vaters für die Codierung (z.B. LUHE) gewählt.

Wenn Sie eine Frage nicht beantworten können, kreuzen Sie an entsprechender Stelle gar nichts an. Machen Sie bitte pro Aussage nur eine Angabe.

#### Angaben zum Inhalt der Unterrichtseinheit „Atmen unter Extrembedingungen“

**Beurteilen Sie folgende Aspekte zum Inhalt der Unterrichtseinheit**

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
1 Meine Kenntnisse über das Tauchen wurden in <b>keinen</b> für mich <b>neuen</b> Zusammenhang gestellt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Ich habe schon <b>vorher</b> viel über das Tauchen gewusst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Für mich ist es wichtig die Ursachen der Beschwerden nach Tauchunfällen zu verstehen, da ich dadurch die Risiken <b>besser</b> einschätzen lerne.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Störungen von Löslichkeitsgleichgewichten und Beschwerden nach Tauchunfällen stehen für mich in einem Erklärungszusammenhang, den ich <b>für mich neu</b> erschlossen habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Für mich gehört das Thema „Atmen unter Extrembedingungen“ <b>nicht</b> in den Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Ich möchte über meine Atmung unter Extrembedingungen <b>noch mehr</b> erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Ich finde es interessant, wenn ich die Folgen meiner erhöhten Atemfrequenz mit Hilfe von Gleichgewichtsbetrachtungen erklären kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Dass ich mein Gehirn dazu überlisten kann, meine Atmung zu unterdrücken, wenn ich hyperventiliere und damit meinen pH –wert im Blut erhöhe, war mir vorher <b>nicht</b> bekannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
9 Bekannt war mir, dass ich hyperventiliere, wenn mein Säure – Base – Haushalt gestört ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 In dieser Unterrichtseinheit lernten wir <b>nicht</b> die Chemie, die für mich wichtig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Die gewonnenen Kenntnisse könnten mir im Alltag helfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Die Kenntnisse sind nur für Chemiker wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Diese Chemiekenntnisse sind für mich bedeutsam..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Ich habe Fragen zu diesem Thema allerdings haben wir genau diese Inhalte <b>nicht</b> behandelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Ich denke, dass diese Kenntnisse für meinen späteren Beruf wichtig sein könnten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Ich habe schon früh den Anschluss im Unterricht verloren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Der Chemieunterricht war logisch strukturiert, die Themen bauten für mich nachvollziehbar aufeinander auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 Es war gut, dass wir chemische Inhalte an Problemen erarbeitet haben, die mit meinem Körper zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 Der Schnupperkurs ‚Tauchen‘ hat mir wenig Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 Der Schnupperkurs ‚Tauchen‘ war für mich eine gelungene Ergänzung, denn ich konnte an mir selbst unterschiedliches Atmen unter nicht alltäglichen Bedingungen wahrnehmen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>22 Und was ich sonst noch zum Inhalt der Unterrichtseinheit sagen möchte:.....</b>					

**Angaben zum Interesse an der Unterrichtseinheit „Atmen unter Extrembedingungen“**

*Wägen Sie folgendende Aspekte zu Ihrem Interesse ab.*

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
23 In diesem Unterricht war ich mit meinen Gedanken häufig woanders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 In diesem Unterricht habe ich mich angestrengt, weil ich glaube, dass es wichtig ist, diese Inhalte zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
25 In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26 Der Inhalt hat mich so interessiert, dass ich mich auch außerhalb des Unterrichts damit beschäftigt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27 In diesem Unterricht versuchte ich die Dinge so zu erledigen, wie sie von mir erwartet wurden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28 Dieser Chemieunterricht hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir meistens egal..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31 Ich hatte das Gefühl, objektiv und fair bewertet worden zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32 Mein Interesse an diesem Thema war größer als sonst im Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>33 Und was mir sonst noch einfällt:.....</b>					

**Angaben zur Unterrichtsorganisation der Unterrichtseinheit „Atmen unter Extrembedingungen“**

**Beurteilen Sie folgende Aspekte zur Gruppenarbeit in den Stationen**

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
34 Ich konnte mir die nötige Zeit für die Erarbeitung einer Aufgabe selbst einteilen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35 Ich konnte <b>kaum</b> eigene Ideen und Vorschläge einbringen, die Stunden waren immer fertig geplant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36 Das Experimentieren hat mir besonders gut gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37 Mir hätte die Lehrkraft sagen sollen, was wichtig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38 Dinge, die ich gut kann, nützen mir hier nichts.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39 Mir wurden gute Hilfestellungen gegeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40 Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voranbringen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41 Wir haben selbständiger gearbeitet als sonst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
42 Mir <b>fehlte</b> die Information, was wir am Ende können sollten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43 Ich hatte Gelegenheit, eigene Interessen und Fragen in den Unterricht einzubringen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44 Ich würde mir <b>nicht</b> zutrauen, im Chemieunterricht auch zu anderen Themen selbständig zu arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45 Ich traue mir zu, später einen Beruf auszuüben, für den man Chemiekennntnisse benötigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
46 In diesem Unterricht lernte ich <b>keine</b> Fähigkeiten, die <b>für mich persönlich</b> bedeutsam sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
47 <b>Mir</b> hat die Arbeit in den Lernstationen genügend Freiraum gegeben, <b>mein Wissen</b> zu erweitern und zu vertiefen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48 Im Unterrichtsgespräch wären wir zu den gleichen Lernergebnissen gekommen, aber in viel kürzerer Zeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
49 Durch die Beiträge der anderen Schüler lernte ich <b>kaum</b> etwas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50 Aus meiner Sicht bietet das Unterrichtsgespräch <b>wenig</b> Möglichkeiten, selbständiges Lernen zu fördern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
51 Ich fühle mich zufriedener, wenn ich eigenständig einen Sachverhalt erschlossen habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
52 Ich durfte im Chemieunterricht auch ‚dumme‘ Fragen stellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
53 In der Gruppenarbeit fühlte ich mich in der Entwicklung meiner eigenen Ideen behindert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
54 Von mir ist bei der Arbeit in den Lernstationen eine komplexere Leistung abverlangt worden als ich es bisher im Chemieunterricht kennengelernt hatte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
55 Alle wichtigen Informationen kamen vom Lehrer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
56 <b>Und was ich sonst noch zur Gruppenarbeit in den Lernstationen sagen möchte:.....</b>					

### Beurteilen Sie folgende Aspekte zu den Unterrichtsmedien

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
57 Die Versuchsvorschriften waren <b>eindeutig</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
58 Die Anzahl der Experimente war im Vergleich zum theoretischen Teil <b>zu gering</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
59 Gefallen hat mir, dass die experimentellen Aufgaben mit dem Thema der Lernstation im eindeutigen Zusammenhang standen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
60 Es fällt mir schwerer, chemische Gesetzmäßigkeiten zu lernen, wenn ich <b>nicht</b> ihre Bedeutung für mich und meine Umwelt einschätzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
61 Ich empfand das Anspruchsniveau der Aufgaben in den Lernstationen <b>nicht</b> angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
62 Die Ergebnisse der Experimente regten mich zum Weiterdenken an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
63 Durch die Vorgaben fühlte ich mich in meinen eigenen Denkwegen eingeschränkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
64 Ich habe gerne Zeit investiert, um mir aus dem Internet die nötigen Informationen zu beschaffen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
65 Mir waren Informationsbeschaffung und Informationssichtung zur Lösung der Aufgaben zu aufwendig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
66 <b>Und was mir sonst noch zu den Medien einfällt:.....</b>					

Entsprach dieses Thema Ihren Vorstellungen von Chemieunterricht?

**Ja, weil**

**Nein, weil**

**Vielen Dank für Ihre Mithilfe!**



## Fragebogen (I) zum Chemieunterricht

Ziel der Befragung ist es, Ihre Meinung zu Ihrem bisherigen Chemieunterricht zu erfahren. Der Fragebogen ist Teil einer unabhängigen Untersuchung, die zur Verbesserung des Chemieunterrichts in der Oberstufe beitragen soll. Alle Angaben bleiben anonym, so dass kein Rückschluss auf Ihre Person möglich ist. Für die Auswertung ist es nötig, dass die Fragebögen codiert sind. Wählen Sie bitte die ersten beiden Buchstaben im Vornamen Ihrer Mutter und im Vornamen Ihres Vaters für die Codierung (z.B. LUHE) und fügen Sie die Buchstabenfolge in das Kästchen ein.

Wenn Sie eine Frage nicht beantworten können, kreuzen Sie an entsprechender Stelle gar nichts an. Machen Sie bitte pro Aussage nur eine Angabe.

### Angaben zum Interesse am Chemieunterricht des letzten Schuljahres.

*Inwieweit stimmen Sie mit den folgenden Aussagen überein (pro Aussage bitte nur eine Angabe?)*

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
1 Chemie hat mich schon vor dem Unterricht interessiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Im Chemieunterricht war ich mit meinen Gedanken häufig woanders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 In diesem Unterricht habe ich mich angestrengt, weil ich glaube, dass es wichtig ist, diese Inhalte zu verstehen..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Der Inhalt hat mich so interessiert, dass ich mich auch außerhalb des Unterrichts damit beschäftigt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 In diesem Unterricht versuchte ich die Dinge so zu erledigen, wie sie von mir erwartet wurden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Der Chemieunterricht hat mir richtig Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Im Chemieunterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Fragen zu den Unterrichtsinhalten

*Beurteilen Sie folgende Aspekte zu den Inhalten des Chemieunterrichts*

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
9 Diese Chemiekenntnisse sind für mich bedeutsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Kenntnisse aus dem Chemieunterricht haben mir im Alltag schon geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
11 Die Unterrichtsinhalte sind wichtig für das Verständnis gesellschaftlich bedeutsamer Probleme(z.B. Umweltprobleme)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Diese Kenntnisse sind nur für Chemiker wichtig..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Chemiekennntnisse sind wichtig, um aktuelle Themen in den Medien zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Chemische Kenntnisse gehören zur Allgemeinbildung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Der Chemieunterricht war logisch strukturiert, die Themen bauten für mich sich aufeinander auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Wir haben uns oft mit aktuellen chemischen Forschungsfragen beschäftigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Ich habe Fragen zur Chemie, allerdings haben wir genau diese Inhalte nicht behandelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 Ich denke, dass Kenntnisse aus dem Chemieunterricht für meinen späteren Beruf wichtig sein könnten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 Im Chemieunterricht lernten wir bisher nicht die Chemie, die für die heutige Gesellschaft wichtig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 Die Unterrichtsinhalte waren hilfreich für das Verständnis anderer Fächer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 Ich habe schon früh den Anschluss im Unterricht verloren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Fragen zu den Unterrichtsmethoden

*Wie häufig haben Sie in Ihrem bisherigen Chemieunterricht die folgenden Aktivitäten durchgeführt?*

	häufig	manchmal	selten	nie
22 Unterrichtsgespräche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 Demonstrationsexperimente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 Schülerexperimente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 Stillarbeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26 Referate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27 Gruppenarbeit zu einem vorgegebenen Thema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28 Gruppenarbeit zu einem selbst gewählten Thema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 Arbeit mit dem PC (Internet, Datenauswertung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 Erarbeitung chemischer Inhalte anhand von Beobachtungen, die ich im Alltag gemacht habe, aber mir nicht erklären konnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Beurteilen Sie folgende Aspekte zur Organisation Ihres bisherigen Chemieunterrichts**

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
31 Ich konnte mir die nötige Zeit für die Erarbeitung einer Aufgabe selbst einteilen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32 Ich konnte kaum eigene Ideen und Vorschläge einbringen, die Stunden waren immer fertig geplant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33 Das Experimentieren hat mir besonders gut gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34 Mir hätte die Lehrkraft sagen sollen, was wichtig ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35 Dinge, die ich gut kann, nützen mir hier nichts.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36 Mir wurden gute Hilfestellungen gegeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37 Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voranbringen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38 Wir haben selbständiger gearbeitet als sonst.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39 Mir fehlte die Information, was wir am Ende können sollten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40 Ich hatte Gelegenheit, eigene Interessen und Fragen in den Unterricht einzubringen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41 Ich würde mir nicht zutrauen, im Chemieunterricht auch zu anderen Themen selbständig zu arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42 Ich traue mir zu, später einen Beruf auszuüben, für den man Chemiekennntnisse benötigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43 In diesem Unterricht lernte ich keine Fähigkeiten, die für mich persönlich bedeutsam sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44 Die Unterrichtsmaterialien waren interessant gestaltet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45 Das Experimentieren hat mir besonders gut gefallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
46 Ich fühle mich zufriedener, wenn ich eigenständig einen Sachverhalt erschlossen habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
47 Der ‚rote Faden‘ war für mich im Unterricht erkennbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48 Ich hatte engagierte und kompetente Lehrer in Chemie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Fragen zur Zusammenarbeit in der Lerngruppe

*Beurteilen Sie folgende Aussagen zur Zusammenarbeit in Lerngruppen*

	stimmt völlig	stimmt überwie- gend	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
49 Im Chemieunterricht musste ich Aufgaben meist allein lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50 Ich hatte das Gefühl, dass meine Mitschüler auf mich eingehen, meine Beiträge verstehen und als wichtig - empfinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
51 Gruppenarbeit haben wir im Chemieunterricht selten gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
52 Durch Kenntnisse aus dem Chemieunterricht konnte ich bei Themen im Alltag und in den Medien mitreden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
53 Ich hatte das Gefühl objektiv und fair bewertet worden zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
54 Durch die Beiträge der anderen Schüler lernte ich kaum etwas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
55 Ich durfte im Chemieunterricht auch ‚dumme Fragen‘ stellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
56 Alle wichtige Informationen kamen vom Lehrer..	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
57 Ich konnte mit Hilfe meiner Chemiekenntnisse auch meinen Eltern oder Freunden schon Dinge erklären.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
58 Gruppenarbeit passt nicht in den Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
59 Die Lehrkraft ging auf meine Fragen und Probleme kaum ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Persönliche Angaben

Geschlecht:  männlich  weiblich

Letzte Chemienote: -----

**Vielen Dank für Ihre Mithilfe!**

## Codierung der Fragebögen I und II

### Codierung der Fragebögen I und II

Wloka-Hannover	Codierung	Nummer	Kursart
	ULRI	1.	LK
	GEBA	2.	LK
	WALY	3.	LK
	RERE	4.	LK
	DACH	5.	LK
	BEHU	6.	LK
	KARA	7.	GK
	REND	8.	GK
	HEJO	9.	GK
	IRGE	10.	GK
	IHJO	11.	GK
	PETH	12.	GK
	ANKE	13.	GK
	GAAL	14.	GK
	SOMA	15.	GK
	MORO	16.	GK
Kuessner-Göttingen	XIRE	17.	LK
	KAFR	18.	LK
	ULWO	19.	LK
	CHAN	20.	LK
	CLRO	21.	LK
	SIMA	22.	LK
	BABE	23.	LK
	ATSH	24.	LK
	MAUW	25.	LK
	HEHE	26.	LK
	BIEG	27.	LK
	INTO	28.	LK
	ASAN	29.	LK
Hoffmann-Göttingen	RSG	30.	LK
	1203	31.	LK
	PW04	32.	LK
	KR20	33.	LK
	16	34.	LK
	19	35.	LK
	95T	36.	LK
	23	37.	LK
	PO05	38.	LK
	SM29	39.	LK
	MSJ07	40.	LK
	TB23	41.	LK
	EW22	42.	LK
	CK27	43.	LK
	JQT	44.	LK
	HB98	45.	LK
	LCS	46.	LK

## Mittelwerte und Streuungen zu Fragebogen II

TABELLE: ATMEN Datensätze: 46  
 Nulleinträge sind für Parameterberechnung numerischer  
 Felder nicht berücksichtigt, aber für Häufigkeiten

\*\*\*\*\*FELDNAME: f01 FELDTYP: N  
 SUMME: 191  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 4.2444  
 0: 1 2 %  
 2: 2 4 %  
 3: 6 13 %  
 4: 16 35 %  
 5: 21 46 %  
 VARIANZ: 0.7180 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.8474 MEDIAN: 4 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f02 FELDTYP: N  
 SUMME: 183  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9783  
 1: 2 4 %  
 2: 1 2 %  
 3: 6 13 %  
 4: 24 52 %  
 5: 13 28 %  
 VARIANZ: 0.8908 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9438 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f03 FELDTYP: N  
 SUMME: 88  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9130  
 1: 16 34 %  
 2: 23 50 %  
 3: 4 8 %  
 4: 1 2 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 0.9055 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9516 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f04 FELDTYP: N  
 SUMME: 91  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0222  
 0: 1 2 %  
 1: 14 31 %  
 2: 21 46 %  
 3: 6 13 %  
 4: 3 6 %  
 5: 1 2 %  
 VARIANZ: 0.9106 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9543 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f05 FELDTYP: N  
 SUMME: 179  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.8913  
 1: 1 2 %  
 2: 4 8 %  
 3: 10 21 %  
 4: 15 32 %  
 5: 16 34 %  
 VARIANZ: 1.0969 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.0473 MEDIAN: 4 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*FELDNAME: f06 FELDTYP: N  
 SUMME: 148  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2174  
 1: 3 6 %  
 2: 5 10 %  
 3: 18 39 %  
 4: 19 41 %  
 5: 1 2 %  
 VARIANZ: 0.8223 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9068 MEDIAN: 3 MODALWERT: 4

FELDNAME: f07 FELDTYP: N  
 SUMME: 103  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2391  
 1: 14 30 %  
 2: 15 32 %  
 3: 10 21 %  
 4: 6 13 %  
 5: 1 2 %  
 VARIANZ: 1.1819 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.0872 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f08 FELDTYP: N  
 SUMME: 89  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9348  
 1: 20 43 %  
 2: 17 36 %  
 3: 4 8 %  
 4: 2 4 %  
 5: 3 6 %  
 VARIANZ: 1.2784 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.1306 MEDIAN: 2 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f09 FELDTYP: N  
 SUMME: 193  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 4.1957  
 1: 1 2 %  
 2: 4 8 %  
 3: 5 10 %  
 4: 11 23 %  
 5: 25 54 %  
 VARIANZ: 1.1574 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.0758 MEDIAN: 5 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f10 FELDTYP: N  
 SUMME: 170  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7778  
 0: 1 2 %  
 1: 1 2 %  
 2: 3 6 %  
 3: 15 33 %  
 4: 12 26 %  
 5: 14 31 %  
 VARIANZ: 1.0617 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.0304 MEDIAN: 4 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f11 FELDTYP: N  
 SUMME: 118  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.5652  
 1: 6 13 %  
 2: 17 36 %  
 3: 16 34 %  
 4: 5 10 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 0.9849 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9924 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
 FELDNAME: f12 FELDTYP: N  
 SUMME: 186  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 4.0435  
 1: 1 2 %  
 2: 2 4 %  
 3: 7 15 %  
 4: 20 43 %  
 5: 16 34 %  
 VARIANZ: 0.8677 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.9315 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4



**FELDNAME: f13 FELDTYP: N**  
**SUMME: 118**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.6222**  
0: 1 2 %  
1: 6 13 %  
2: 14 31 %  
3: 16 35 %  
4: 9 20 %  
VARIANZ: 0.9017 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9496 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f14 FELDTYP: N**  
**SUMME: 187**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 4.1556**  
0: 1 2 %  
2: 1 2 %  
3: 5 11 %  
4: 25 55 %  
5: 14 31 %  
VARIANZ: 0.4869 STANDARDABWEICHUNG:  
0.6978 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f15 FELDTYP: N**  
**SUMME: 153**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.3261**  
1: 5 10 %  
2: 6 13 %  
3: 13 28 %  
4: 13 28 %  
5: 9 19 %  
VARIANZ: 1.5241 STANDARDABWEICHUNG:  
1.2345 MEDIAN: 3 MODALWERT: 4,3

\*\*\*\*\*FELDNAME: f16 FELDTYP: N  
SUMME: 193  
ARITHMETISCHES MITTEL: 4.1957  
1: 1 2 %  
2: 2 4 %  
3: 6 13 %  
4: 15 32 %  
5: 22 47 %  
VARIANZ: 0.9400 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9695 MEDIAN: 4 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*FELDNAME: f17 FELDTYP: N  
SUMME: 111  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.4130  
1: 9 19 %  
2: 17 36 %  
3: 12 26 %  
4: 8 17 %  
VARIANZ: 0.9816 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9907 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f18 FELDTYP: N  
SUMME: 179  
ARITHMETISCHES MITTEL: 4.1628  
0: 3 6 %  
2: 1 2 %  
3: 9 20 %  
4: 15 34 %  
5: 18 41 %  
VARIANZ: 0.6944 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8333 MEDIAN: 4 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*FELDNAME: f19 FELDTYP: N  
SUMME: 92  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0444  
0: 1 2 %  
1: 13 28 %  
2: 19 42 %  
3: 11 24 %  
4: 2 4 %  
VARIANZ: 0.7091 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8421 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f20 FELDTYP: N  
SUMME: 173  
ARITHMETISCHES MITTEL: 4.0233  
0: 3 6 %  
1: 5 11 %  
2: 2 4 %  
3: 2 4 %  
4: 12 27 %  
5: 22 51 %  
VARIANZ: 1.7902 STANDARDABWEICHUNG:  
1.3380 MEDIAN: 5 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f21 FELDTYP: N  
SUMME: 81  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9286  
0: 4 9 %  
1: 17 40 %  
2: 15 35 %  
3: 7 16 %  
4: 2 4 %  
5: 1 2 %  
VARIANZ: 0.9711 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9854 MEDIAN: 2 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f22 FELDTYP: C  
31mal:  
2mal: zu viel Physik  
1mal: physik. Elemente/Inhalte schwer verständlich  
1mal: z.T. zu physikalisch  
1mal: leider zu physikal. und daher schwer verständlich  
1mal: mittelprätig  
1mal: Strukturierung teilweise gefehlt  
1mal: mehr mit Buch,einheitli. Basis, mündl. zuviel durch  
bessere Sch.  
1mal: man kann schnell den Anschluss verlieren  
1mal: zuviel Stationsarbeiten, zu wenig  
Unterrichtsbesprechung  
1mal: Fragestellungen teilweise nicht praxisbezogen,  
unrealist. Bsp. bes. 6  
1mal: hat mir sehr viel Spaß gemacht  
1mal: teilweise zuviel Tauchvorgang und zu wenig  
Chemie  
1mal: wegen Zeitmangel konnte nicht für jedes Thema  
Versuch gemacht werden  
1mal: konnte am Tauchkurs nicht oft teiln. wegen Sport  
\*\*\*\*\*

FELDNAME: f23 FELDTYP: N  
SUMME: 181  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9348  
2: 1 2 %  
3: 9 19 %  
4: 28 60 %  
5: 8 17 %  
VARIANZ: 0.4523 STANDARDABWEICHUNG:  
0.6725 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f24 FELDTYP: N**  
**SUMME: 120**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.6087**  
1: 6 13 %  
2: 12 26 %  
3: 22 47 %  
4: 6 13 %  
VARIANZ: 0.7599 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8717 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f25 FELDTYP: N  
SUMME: 154  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.3478  
1: 3 6 %  
2: 6 13 %  
3: 16 34 %  
4: 14 30 %  
5: 7 15 %  
VARIANZ: 1.1834 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0878 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f26 FELDTYP: N  
SUMME: 163  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5435  
1: 1 2 %  
2: 2 4 %  
3: 18 39 %  
4: 21 45 %  
5: 4 8 %  
VARIANZ: 0.6394 STANDARDABWEICHUNG:  
0.7996 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f27 FELDTYP: N  
SUMME: 70  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9444  
0: 10 27 %  
1: 9 25 %  
2: 21 58 %  
3: 5 13 %  
4: 1 2 %  
VARIANZ: 0.4969 STANDARDABWEICHUNG:  
0.7049 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f28 FELDTYP: N  
SUMME: 110  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.3913  
1: 9 19 %  
2: 21 45 %  
3: 7 15 %  
4: 7 15 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.1947 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0930 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f29 FELDTYP: N  
SUMME: 187  
ARITHMETISCHES MITTEL: 4.0652  
2: 2 4 %  
3: 9 19 %  
4: 19 41 %  
5: 16 34 %  
VARIANZ: 0.7131 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8445 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*FELDNAME: f30 FELDTYP: N  
SUMME: 125  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7174  
1: 3 6 %  
2: 15 32 %  
3: 20 43 %  
4: 8 17 %  
VARIANZ: 0.6810 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8252 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*FELDNAME: f31 FELDTYP: N  
SUMME: 94  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0435  
1: 16 34 %  
2: 16 34 %  
3: 10 21 %  
4: 4 8 %  
VARIANZ: 0.9112 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9545 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2,1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f32 FELDTYP: N  
SUMME: 11  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7500  
0: 42 1050 %  
2: 2 50 %  
3: 1 25 %  
4: 1 25 %  
VARIANZ: 0.6875 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8292 MEDIAN: 2 MODALWERT: 0

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f33 FELDTYP: C  
36mal:  
1mal: Exp. umständlich, Infoblätter unzureichend,  
Internetadr. falsch  
1mal: X verlässt wahrscheinlich die Schule  
1mal: zu schwache Wichtung der Langzeithausaufgabe  
1mal: Thema war zu sehr theoretisch  
1mal: nicht ohne Leitfaden, sonst kommen viele  
Zusammenhänge nicht an  
1mal: Ich strenge mich immer nur wegen der Noten an  
1mal: viele Internetadressen haben nicht funktioniert  
1mal: sollte beibehalten werden, noch mehr Themen auf  
Körper bezogen  
1mal: Ich mag es nicht, aus Chemieunterricht. etwas zu  
machen, was er nicht ist  
1mal: Gruppenarbeit fand ich gut, alles selbst  
zusammenstellen war gut

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f34 FELDTYP: N  
SUMME: 113  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.4565  
1: 3 6 %  
2: 23 50 %  
3: 16 34 %  
4: 4 8 %  
VARIANZ: 0.5525 STANDARDABWEICHUNG:  
0.7433 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f35 FELDTYP: N  
SUMME: 174  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7826  
1: 2 4 %  
2: 4 8 %  
3: 8 17 %  
4: 20 43 %  
5: 12 26 %  
VARIANZ: 1.1267 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0614 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f36 FELDTYP: N  
SUMME: 96  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0870  
1: 14 30 %  
2: 19 41 %  
3: 8 17 %  
4: 5 10 %  
VARIANZ: 0.9055 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9516 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f37 FELDTYP: N  
SUMME: 162  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.6000  
0: 1 2 %  
2: 5 11 %  
3: 15 33 %  
4: 18 40 %  
5: 7 15 %  
VARIANZ: 0.7733 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8794 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4



\*\*\*\*\*

FELDNAME: f38 FELDTYP: N  
SUMME: 157  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.4130  
1: 2 4 %  
2: 8 17 %  
3: 16 34 %  
4: 9 19 %  
5: 11 23 %  
VARIANZ: 1.3294 STANDARDABWEICHUNG:  
1.1530 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f39 FELDTYP: N  
SUMME: 101  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.1957  
1: 8 17 %  
2: 23 50 %  
3: 13 28 %  
4: 2 4 %  
VARIANZ: 0.5922 STANDARDABWEICHUNG:  
0.7695 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f40 FELDTYP: N**  
**SUMME: 134**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.9130**  
1: 4 8 %  
2: 13 28 %  
3: 13 28 %  
4: 15 32 %  
5: 1 2 %  
VARIANZ: 1.0359 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0178 MEDIAN: 3 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f41 FELDTYP: N**  
**SUMME: 88**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9130**  
1: 14 30 %  
2: 23 50 %  
3: 8 17 %  
4: 1 2 %  
VARIANZ: 0.5577 STANDARDABWEICHUNG:  
0.7468 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f42 FELDTYP: N

SUMME: 150  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2609  
1: 4 8 %  
2: 7 15 %  
3: 16 34 %  
4: 11 23 %  
5: 8 17 %  
VARIANZ: 1.3667 STANDARDABWEICHUNG:  
1.1691 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f43 FELDTYP: N  
SUMME: 115  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.5000  
1: 4 8 %  
2: 21 45 %  
3: 15 32 %  
4: 6 13 %  
VARIANZ: 0.6848 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8275 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*FELDNAME: f44 FELDTYP: N

**SUMME: 182**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9565**  
2: 2 4 %  
3: 12 26 %  
4: 18 39 %  
5: 14 30 %  
VARIANZ: 0.7372 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8586 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f45 FELDTYP: N  
SUMME: 103  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2391  
1: 11 23 %  
2: 20 43 %  
3: 10 21 %  
4: 3 6 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.0515 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0254 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f46 FELDTYP: N  
SUMME: 182  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9565  
2: 2 4 %  
3: 11 23 %  
4: 20 43 %  
5: 13 28 %  
VARIANZ: 0.6938 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8329 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f47 FELDTYP: N  
SUMME: 103  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2889  
0: 1 2 %  
1: 8 17 %  
2: 20 44 %  
3: 13 28 %  
4: 4 8 %  
VARIANZ: 0.7388 STANDARDABWEICHUNG:  
0.8595 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f48 FELDTYP: N  
SUMME: 143  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.1087  
1: 3 6 %  
2: 11 23 %  
3: 15 32 %  
4: 12 26 %  
5: 5 10 %  
VARIANZ: 1.1838 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0880 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f49 FELDTYP: N  
SUMME: 164  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.6444  
0: 1 2 %  
2: 9 20 %  
3: 8 17 %  
4: 18 40 %  
5: 10 22 %  
VARIANZ: 1.0736 STANDARDABWEICHUNG:  
1.0361 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f50 FELDTYP: N  
SUMME: 163  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5435  
1: 2 4 %  
2: 3 6 %  
3: 13 28 %  
4: 24 52 %  
5: 4 8 %  
VARIANZ: 0.8133 STANDARDABWEICHUNG:  
0.9018 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f51 FELDTYP: N  
 SUMME: 101  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2444  
 0: 1 2 %  
 1: 14 31 %  
 2: 14 31 %  
 3: 11 24 %  
 4: 4 8 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 1.2514 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.1186 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2,1

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f52 FELDTYP: N**  
**SUMME: 87**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 1.8913**

1: 14 30 %  
 2: 23 50 %  
 3: 9 19 %  
 VARIANZ: 0.4882 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.6987 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f53 FELDTYP: N  
 SUMME: 183  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9783

1: 2 4 %  
 3: 7 15 %  
 4: 25 54 %  
 5: 12 26 %  
 VARIANZ: 0.8039 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.8966 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f54 FELDTYP: N  
 SUMME: 115  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.5556

0: 1 2 %  
 1: 9 20 %  
 2: 13 28 %  
 3: 14 31 %  
 4: 7 15 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 1.2247 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.1067 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f55 FELDTYP: N  
 SUMME: 148  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2174

1: 1 2 %  
 2: 9 19 %  
 3: 17 36 %  
 4: 17 36 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 0.7788 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.8825 MEDIAN: 3 MODALWERT: 4,3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f56 FELDTYP: C

38mal:

- 1mal: es verleitet, sich hängen zu lassen
- 1mal: manche haben nichts oder sehr wenig getan, sch auf andere verlassen
- 1mal: Hallelujah
- 1mal: Internetseiten gingen oft nicht
- 1mal: man sollte öfters Gruppenarbeit fordern
- 1mal: zu viel!
- 1mal: Anfangstempo gut, zum Schluss Stress
- 1mal: fördert Teamgeist, mehr Spaß

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f57 FELDTYP: N  
 SUMME: 93  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0217

1: 14 30 %  
 2: 19 41 %  
 3: 11 23 %  
 4: 2 4 %  
 VARIANZ: 0.7169 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.8467 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f58 FELDTYP: N  
 SUMME: 184  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 4.0000

2: 1 2 %  
 3: 7 15 %  
 4: 29 63 %  
 5: 9 19 %  
 VARIANZ: 0.4348 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.6594 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f59 FELDTYP: N  
 SUMME: 95  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0652

1: 10 21 %  
 2: 23 50 %  
 3: 13 28 %  
 VARIANZ: 0.4957 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.7041 MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f60 FELDTYP: N  
 SUMME: 128  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7826

1: 7 15 %  
 2: 15 32 %  
 3: 10 21 %  
 4: 9 19 %  
 5: 5 10 %  
 VARIANZ: 1.5180 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.2321 MEDIAN: 3 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f61 FELDTYP: N  
 SUMME: 168  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 3.9070

0: 3 6 %  
 2: 1 2 %  
 3: 10 23 %  
 4: 24 55 %  
 5: 8 18 %  
 VARIANZ: 0.5030 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.7092 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f62 FELDTYP: N  
 SUMME: 132  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 2.8696

1: 6 13 %  
 2: 8 17 %  
 3: 20 43 %  
 4: 10 21 %  
 5: 2 4 %  
 VARIANZ: 1.0699 STANDARDABWEICHUNG:  
 1.0344 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f63 FELDTYP: N  
 SUMME: 183  
 ARITHMETISCHES MITTEL: 4.0667

0: 1 2 %  
 2: 1 2 %  
 3: 9 20 %  
 4: 21 46 %  
 5: 14 31 %  
 VARIANZ: 0.5956 STANDARDABWEICHUNG:  
 0.7717 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f64 FELDTYP: N  
SUMME: 133  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.0227  
0: 2 4 %  
1: 5 11 %  
2: 10 22 %  
3: 15 34 %  
4: 7 15 %  
5: 7 15 %  
VARIANZ: 1.4768 STANDARDABWEICHUNG:  
1.2152 MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f65 FELDTYP: N  
SUMME: 156  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5455  
0: 2 4 %  
1: 3 6 %  
2: 5 11 %  
3: 9 20 %  
4: 19 43 %  
5: 8 18 %  
VARIANZ: 1.2479 STANDARDABWEICHUNG:  
1.1171 MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f66 FELDTYP: C  
1mal: Fehler bei Internetadressen (veraltet, Tippfehler)  
1mal: Internetseiten zu 75% falsch  
26mal:  
1mal: Internetseiten falsch  
1mal: Internetseiten t.T. falsch  
1mal: Internetseiten konnten nicht aufgerufen werden  
1mal: einige Internetadressen falsch  
1mal: Internetadressen waren falsch  
1mal: wenig Informationen in Büchern, kaum Zugang zum Internet  
1mal: Internetadressen stimmten nicht  
1mal: Internet hat nicht geklappt  
1mal: Internetseiten gehen oft nicht  
1mal: Internetadressen funktionieren oft nicht und waren nicht so effektiv  
1mal: Internetseiten haben oft nicht funktioniert  
1mal: gingen meistens nicht  
1mal: Internetseiten gingen meistens nicht, mir fehlten wichtige Infos  
1mal: Internetadressen fehlerhaft  
1mal: Internet extrem schwierig  
1mal: Probleme, Internetseiten auszudrucken  
1mal: Informationsbeschaffung war nicht aufwendig  
1mal: nicht alle Internetseiten aufrufbar

\*\*\*\*\*

FELDNAME: ja FELDTYP: C  
1mal: Theorie d. Experimente selbst erarbeitet, prakt. ist interessanter  
6mal: x  
1mal: jein, Praxis zwar interessant, Thema + interdisziplinär zu ausschweifend

11mal:  
1mal: selbst sehr viel exp., sich selber erarbeiten  
1mal: teilw., Physik. Interesse/Verständnis gefordert, kein Vorwissen  
1mal: teilw., ich bin nicht interessiert an Chemie, aber mehr Spaß als sonst  
1mal: weil viel experimentiert wurde  
1mal: weil viel experimentiert wurde, Zusammenhänge erschlossen  
1mal: Chemie sollte mit dem Alltag zu tun haben  
1mal: weil es Biochemie ist  
1mal: was ganz Neues  
1mal: ja, aber zu theoretisch  
1mal: weil chemische Themen behandelt wurden. Keine Ahnung  
1mal: teils/teils  
1mal: weil sehr viel Versuche und selbständige Arbeit  
1mal: weil viele Experimente gemacht wurden  
1mal: weil es mit Chemie zu tun hatte  
1mal: weil praxisbezogen  
1mal: weil nicht nur Chemie, sondern auch auf Körper bezogen  
1mal: weil man selbständig Zusammenhänge erarbeiten konnte, Lehrerhilfe möglich  
1mal: weil das Thema gut passt  
1mal: weil viele Experimente  
1mal: weil richtige Mischung aus Theorie und Praxis  
1mal: weil eigenständige Arbeit und praxisbezogen, vergisst man nicht schnell  
1mal: habe sicher mehr behalten als sonst  
1mal: selbständige Arbeiten, Zusammenhänge besser erkannt  
1mal: teils/teils, zu medizinisch, Frontalunterricht manchmal besser  
1mal: weil viel experimentiert  
1mal: weil eher chemisch-biologisch als chemisch-physikalisch, sehr gut  
1mal: weil interessanter Rahmen in Gruppenunterricht

\*\*\*\*\*

FELDNAME: nein FELDTYP: C  
33mal:  
1mal: weil das Thema zu physikalisch war  
1mal: weil es zu physikalisch war  
1mal: zum Schluss zu theoretisch und viel physikal. Wissen vorausgesetzt  
1mal: weil mehr Physik als Chemie  
1mal: anders als sonst, aber durchaus oK, verbesserungswürdig  
1mal: manchmal war Struktur nicht zu erkennen, ich konnte kaum folgen  
1mal: zu wenig Formeln, Ergebnisse waren meistens vorher schon klar  
1mal: weil das Thema langweilig ist!!!  
1mal: weil ich andere Chemie gewohnt bin  
1mal: nicht gut, dass Gruppenarbeit benotet, auch die nichts machen  
1mal: viele physikalische Fragen  
1mal: möchte lieber richtig lernen  
1mal: weil Zusammenhang medizinisch war

TABELLE: ATMEN Datensätze: 46

\*\*\*\*\*

Korrelationen ab + - 0.3

Nulleinträge wurden für Korrelationsberechnung nicht berücksichtigt

F01/F04,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,5610 Kovarianz: = -0,4597  
 F01/F05,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5257 Kovarianz: = 0,4716  
 F01/F06,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3358 Kovarianz: = -0,2430  
 F01/F07,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3858 Kovarianz: = -0,3541  
 F01/F08,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5108 Kovarianz: = -0,4948  
 F01/F10,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4423 Kovarianz: = 0,3920  
 F01/F11,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4553 Kovarianz: = -0,3857  
 F01/F12,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4319 Kovarianz: = 0,3447  
 F01/F13,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,5278 Kovarianz: = -0,4318  
 F01/F16,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3426 Kovarianz: = 0,2844  
 F01/F17,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5362 Kovarianz: = -0,4533  
 F01/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,5229 Kovarianz: = 0,3770  
 F01/F19,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4817 Kovarianz: = -0,3368  
 F01/F25,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5300 Kovarianz: = 0,4854  
 F01/F26,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3863 Kovarianz: = -0,2637  
 F01/F28,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3384 Kovarianz: = -0,3091  
 F01/F29,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4072 Kovarianz: = 0,2894  
 F01/F30,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4401 Kovarianz: = -0,2958  
 F01/F31,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5422 Kovarianz: = -0,4222  
 F01/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = -0,8704 Kovarianz: = -0,3125  
 F01/F38,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3915 Kovarianz: = 0,3802  
 F01/F41,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4871 Kovarianz: = -0,3116  
 F01/F42,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4899 Kovarianz: = 0,4904  
 F01/F44,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3169 Kovarianz: = 0,2331  
 F01/F47,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3134 Kovarianz: = -0,2330  
 F01/F49,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,5032 Kovarianz: = 0,4401  
 F01/F58,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3329 Kovarianz: = 0,1832  
 F01/F62,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3896 Kovarianz: = -0,3452  
 F01/F64,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5147 Kovarianz: = -0,5295  
 F02/F09,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6679 Kovarianz: = 0,6782  
 F02/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3314 Kovarianz: = -0,3403  
 F02/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5341 Kovarianz: = 0,4031  
 F02/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,8182 Kovarianz: = 0,5625  
 F02/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4790 Kovarianz: = 0,3360  
 F02/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3650 Kovarianz: = 0,2651  
 F02/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4506 Kovarianz: = 0,4329

F03/F07,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3983 Kovarianz: = 0,4121  
 F03/F11,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3283 Kovarianz: = 0,3100  
 F03/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3363 Kovarianz: = 0,2696  
 F03/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3871 Kovarianz: = 0,3516  
 F03/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F03/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3310 Kovarianz: = -0,2800  
 F03/F52,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3128 Kovarianz: = 0,2079  
 F03/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3654 Kovarianz: = 0,2448  
 F04/F16,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3090 Kovarianz: = -0,2721  
 F04/F25,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3685 Kovarianz: = -0,3852  
 F04/F26,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4182 Kovarianz: = 0,3215  
 F04/F30,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3155 Kovarianz: = 0,2509  
 F04/F31,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3850 Kovarianz: = 0,3546  
 F04/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
 F04/F41,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3729 Kovarianz: = 0,2686  
 F04/F42,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3150 Kovarianz: = -0,3402  
 F04/F49,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4113 Kovarianz: = -0,4091  
 F04/F51,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3423 Kovarianz: = 0,3295  
 F05/F07,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3399 Kovarianz: = -0,3871  
 F05/F08,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4466 Kovarianz: = -0,5288  
 F05/F10,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,7209 Kovarianz: = 0,7802  
 F05/F11,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3801 Kovarianz: = -0,3951  
 F05/F12,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5174 Kovarianz: = 0,5047  
 F05/F13,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5016 Kovarianz: = -0,5002  
 F05/F14,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5343 Kovarianz: = 0,3916  
 F05/F15,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3761 Kovarianz: = -0,4863  
 F05/F16,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5348 Kovarianz: = 0,5430  
 F05/F17,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5643 Kovarianz: = -0,5855  
 F05/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,7464 Kovarianz: = 0,6625  
 F05/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5677 Kovarianz: = -0,5062  
 F05/F21,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3231 Kovarianz: = -0,3418  
 F05/F23,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4838 Kovarianz: = 0,3407  
 F05/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3323 Kovarianz: = -0,3034  
 F05/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4911 Kovarianz: = 0,5595  
 F05/F27,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3365 Kovarianz: = -0,2593  
 F05/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4756 Kovarianz: = -0,5444  
 F05/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6962 Kovarianz: = 0,6158  
 F05/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4128 Kovarianz: = -0,3568

F05/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3867 Kovarianz: = -0,3866  
 F05/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3613 Kovarianz: = -0,3601  
 F05/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3243 Kovarianz: = -0,2613  
 F05/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4846 Kovarianz: = -0,3790  
 F05/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4848 Kovarianz: = 0,5936  
 F05/F46,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3185 Kovarianz: = 0,2779  
 F05/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5865 Kovarianz: = -0,5141  
 F05/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5109 Kovarianz: = 0,5605  
 F05/F50,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3157 Kovarianz: = 0,2982  
 F05/F57,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3651 Kovarianz: = -0,3237  
 F05/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3736 Kovarianz: = -0,2755  
 F05/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3982 Kovarianz: = 0,2791  
 F05/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4144 Kovarianz: = -0,4490  
 F05/F63,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3089 Kovarianz: = 0,2504  
 F05/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4250 Kovarianz: = -0,5439  
 F05/F65,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3407 Kovarianz: = 0,4008  
 F06/F07,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3442 Kovarianz: = 0,3393  
 F06/F10,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3495 Kovarianz: = -0,3235  
 F06/F11,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3708 Kovarianz: = 0,3336  
 F06/F13,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3774 Kovarianz: = 0,3284  
 F06/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3951 Kovarianz: = -0,2780  
 F06/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4192 Kovarianz: = 0,3235  
 F06/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3436 Kovarianz: = 0,2571  
 F06/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,4545 Kovarianz: = 0,3125  
 F06/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3985 Kovarianz: = -0,2574  
 F07/F10,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5243 Kovarianz: = -0,5852  
 F07/F11,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5195 Kovarianz: = 0,5605  
 F07/F13,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,7245 Kovarianz: = 0,7452  
 F07/F16,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5188 Kovarianz: = -0,5468  
 F07/F17,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4532 Kovarianz: = 0,4882  
 F07/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,6272 Kovarianz: = -0,5533  
 F07/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4602 Kovarianz: = 0,4133  
 F07/F21,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3271 Kovarianz: = 0,3537  
 F07/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3511 Kovarianz: = 0,3327  
 F07/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4757 Kovarianz: = 0,4135  
 F07/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3786 Kovarianz: = 0,4499  
 F07/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4195 Kovarianz: = -0,3852  
 F07/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5599 Kovarianz: = 0,5024

F07/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3670 Kovarianz: = 0,3809  
 F07/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,4264 Kovarianz: = 0,2500  
 F07/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3161 Kovarianz: = 0,3270  
 F07/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3467 Kovarianz: = -0,3333  
 F07/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3216 Kovarianz: = -0,4031  
 F07/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5296 Kovarianz: = 0,5860  
 F07/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3737 Kovarianz: = 0,3034  
 F07/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5622 Kovarianz: = -0,7146  
 F07/F43,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3745 Kovarianz: = 0,3370  
 F07/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3848 Kovarianz: = -0,3592  
 F07/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3192 Kovarianz: = 0,3559  
 F07/F46,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3726 Kovarianz: = -0,3374  
 F07/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4283 Kovarianz: = 0,4025  
 F07/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5389 Kovarianz: = -0,5956  
 F07/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3772 Kovarianz: = 0,2888  
 F07/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4182 Kovarianz: = 0,5403  
 F08/F09,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3648 Kovarianz: = -0,4438  
 F08/F10,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4335 Kovarianz: = -0,4914  
 F08/F11,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3816 Kovarianz: = 0,4282  
 F08/F12,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4308 Kovarianz: = -0,4537  
 F08/F13,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3248 Kovarianz: = 0,3526  
 F08/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4022 Kovarianz: = -0,3726  
 F08/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3494 Kovarianz: = 0,3363  
 F08/F23,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4344 Kovarianz: = -0,3303  
 F08/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3351 Kovarianz: = -0,4121  
 F08/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3048 Kovarianz: = 0,3289  
 F08/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4825 Kovarianz: = 0,4074  
 F08/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4515 Kovarianz: = -0,5348  
 F09/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4071 Kovarianz: = 0,3502  
 F09/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F09/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3505 Kovarianz: = 0,2802  
 F09/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3928 Kovarianz: = 0,4301  
 F09/F48,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3533 Kovarianz: = 0,4135  
 F09/F53,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3425 Kovarianz: = 0,3303  
 F10/F11,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4835 Kovarianz: = -0,4988  
 F10/F12,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4682 Kovarianz: = 0,4543  
 F10/F13,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,7184 Kovarianz: = -0,7107

**F10/F14,Paarsätze: 44**  
**Korrelation: = 0,5212 Kovarianz: = 0,3698**

F10/F15,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3574 Kovarianz: = -0,4593

**F10/F16,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,7484 Kovarianz: = 0,7556**

F10/F17,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,6639 Kovarianz: = -0,6840

**F10/F18,Paarsätze: 43**  
**Korrelation: = 0,7594 Kovarianz: = 0,6582**

F10/F19,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,5777 Kovarianz: = -0,5124  
F10/F20,Paarsätze: 42  
Korrelation: = 0,3177 Kovarianz: = 0,4524  
F10/F21,Paarsätze: 41  
Korrelation: = -0,3811 Kovarianz: = -0,4045

**F10/F23,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,5181 Kovarianz: = 0,3630**

F10/F24,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4977 Kovarianz: = -0,4346

**F10/F25,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,6141 Kovarianz: = 0,6840**

F10/F26,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4409 Kovarianz: = -0,3654  
F10/F27,Paarsätze: 35  
Korrelation: = -0,4868 Kovarianz: = -0,3527  
F10/F28,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,5521 Kovarianz: = -0,6173

**F10/F29,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,6989 Kovarianz: = 0,6148**

F10/F30,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4630 Kovarianz: = -0,3975  
F10/F31,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4379 Kovarianz: = -0,4296  
F10/F34,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3843 Kovarianz: = -0,2963  
F10/F35,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3581 Kovarianz: = 0,3901  
F10/F36,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3926 Kovarianz: = -0,3852

**F10/F37,Paarsätze: 44**  
**Korrelation: = 0,4780 Kovarianz: = 0,4390**

F10/F38,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4267 Kovarianz: = 0,5111  
F10/F39,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4993 Kovarianz: = -0,4000  
F10/F40,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3736 Kovarianz: = -0,3926  
F10/F41,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4504 Kovarianz: = -0,3185  
F10/F42,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,6329 Kovarianz: = 0,7704  
F10/F43,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4630 Kovarianz: = -0,3975  
F10/F44,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4361 Kovarianz: = 0,3901  
F10/F45,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3721 Kovarianz: = -0,3951  
F10/F46,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3581 Kovarianz: = 0,3062  
F10/F47,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,4721 Kovarianz: = -0,4215  
F10/F49,Paarsätze: 44

Korrelation: = 0,5081 Kovarianz: = 0,5537  
F10/F51,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,3644 Kovarianz: = -0,4205  
F10/F57,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3580 Kovarianz: = -0,3111  
F10/F59,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3131 Kovarianz: = -0,2296  
F10/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,4750 Kovarianz: = 0,3526  
F10/F62,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,5019 Kovarianz: = -0,5407  
F10/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3819 Kovarianz: = 0,3037  
F10/F64,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,3937 Kovarianz: = -0,4954

F10/F65,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,3519 Kovarianz: = 0,4070  
F11/F12,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3793 Kovarianz: = -0,3507  
F11/F13,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5807 Kovarianz: = 0,5378  
F11/F16,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4538 Kovarianz: = -0,4367  
F11/F17,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3374 Kovarianz: = 0,3318  
F11/F18,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,6277 Kovarianz: = -0,5327  
F11/F19,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5242 Kovarianz: = 0,4420  
F11/F21,Paarsätze: 42  
Korrelation: = 0,4078 Kovarianz: = 0,4014  
F11/F23,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3356 Kovarianz: = -0,2240  
F11/F25,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3835 Kovarianz: = -0,4140  
F11/F26,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4895 Kovarianz: = 0,3885  
F11/F28,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3573 Kovarianz: = 0,3875  
F11/F29,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3812 Kovarianz: = -0,3195  
F11/F30,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5667 Kovarianz: = 0,4641  
F11/F31,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5478 Kovarianz: = 0,5189  
F11/F32,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,3015 Kovarianz: = -0,1250  
F11/F36,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4084 Kovarianz: = 0,3856  
F11/F37,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4795 Kovarianz: = -0,4222  
F11/F38,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3180 Kovarianz: = -0,3639  
F11/F39,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4815 Kovarianz: = 0,3677  
F11/F40,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4791 Kovarianz: = 0,4839  
F11/F41,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4183 Kovarianz: = 0,3100  
F11/F42,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4269 Kovarianz: = -0,4953  
F11/F43,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5294 Kovarianz: = 0,4348  
F11/F44,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3028 Kovarianz: = -0,2580  
F11/F46,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3911 Kovarianz: = -0,3233  
F11/F47,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3558 Kovarianz: = 0,3062  
F11/F49,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4308 Kovarianz: = -0,4469  
F11/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3206 Kovarianz: = 0,2240  
F11/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3259 Kovarianz: = 0,3346  
F11/F63,Paarsätze: 45

Korrelation: = -0,3355 Kovarianz: = -0,2593  
F12/F13,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3043 Kovarianz: = -0,2721  
F12/F14,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3270 Kovarianz: = 0,2119  
F12/F16,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4961 Kovarianz: = 0,4480  
F12/F17,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3021 Kovarianz: = -0,2788  
F12/F18,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,6568 Kovarianz: = 0,5273  
F12/F19,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4228 Kovarianz: = -0,3353  
F12/F25,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4785 Kovarianz: = 0,4849

F12/F26,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3528 Kovarianz: = -0,2628  
F12/F29,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3557 Kovarianz: = 0,2798  
F12/F30,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4365 Kovarianz: = -0,3355  
F12/F31,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3200 Kovarianz: = -0,2845  
F12/F35,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4053 Kovarianz: = 0,4008  
F12/F37,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4181 Kovarianz: = 0,3422  
F12/F38,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3071 Kovarianz: = 0,3299  
F12/F39,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4061 Kovarianz: = -0,2911  
F12/F41,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3383 Kovarianz: = -0,2353  
F12/F42,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5485 Kovarianz: = 0,5974  
F12/F43,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3384 Kovarianz: = -0,2609  
F12/F47,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4277 Kovarianz: = -0,3462  
F12/F49,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,6083 Kovarianz: = 0,5936  
F12/F58,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3185 Kovarianz: = 0,1957  
F12/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3204 Kovarianz: = 0,2158  
F12/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4002 Kovarianz: = -0,3856  
F12/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4546 Kovarianz: = 0,3304  
F12/F64,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,3200 Kovarianz: = -0,3652  
F12/F65,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,4629 Kovarianz: = 0,4855  
F13/F15,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3429 Kovarianz: = 0,3980  
F13/F16,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,5883 Kovarianz: = -0,5383

**F13/F17,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,5582 Kovarianz: = 0,5289**

F13/F18,Paarsätze: 42  
Korrelation: = -0,6136 Kovarianz: = -0,4966

**F13/F19,Paarsätze: 44**  
**Korrelation: = 0,5053 Kovarianz: = 0,3864**

F13/F21,Paarsätze: 42  
Korrelation: = 0,3435 Kovarianz: = 0,3299  
F13/F23,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4136 Kovarianz: = -0,2612

**F13/F24,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,5642 Kovarianz: = 0,4711**

F13/F25,Paarsätze: 45

Korrelation: = -0,4344 Kovarianz: = -0,4519  
F13/F26,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5326 Kovarianz: = 0,3600  
F13/F27,Paarsätze: 36  
Korrelation: = 0,3773 Kovarianz: = 0,2330  
F13/F28,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3139 Kovarianz: = 0,3289  
F13/F29,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4881 Kovarianz: = -0,3886

**F13/F30,Paarsätze: 45**  
**Korrelation: = 0,5224 Kovarianz: = 0,4104**

F13/F31,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3719 Kovarianz: = 0,3363  
F13/F32,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 1,0000 Kovarianz: = 0,6875  
F13/F36,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3922 Kovarianz: = 0,3531  
F13/F37,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,4441 Kovarianz: = -0,3765  
F13/F38,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4990 Kovarianz: = -0,5516

F13/F39,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4334 Kovarianz: = 0,3200  
F13/F40,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5744 Kovarianz: = 0,5388

F13/F41,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3741 Kovarianz: = 0,2637  
F13/F42,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,6143 Kovarianz: = -0,6602  
F13/F43,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5249 Kovarianz: = 0,4153  
F13/F44,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4586 Kovarianz: = -0,3556  
F13/F45,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3423 Kovarianz: = 0,3368  
F13/F46,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4846 Kovarianz: = -0,3807  
F13/F47,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,4193 Kovarianz: = 0,3388  
F13/F49,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,6593 Kovarianz: = -0,6493  
F13/F53,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4233 Kovarianz: = -0,3165  
F13/F59,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3884 Kovarianz: = 0,2558  
F13/F61,Paarsätze: 42  
Korrelation: = -0,3699 Kovarianz: = -0,2528  
F13/F62,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5070 Kovarianz: = 0,4968  
F13/F64,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,5300 Kovarianz: = 0,5955  
F14/F16,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4932 Kovarianz: = 0,3175  
F14/F17,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3447 Kovarianz: = -0,2400  
F14/F18,Paarsätze: 42  
Korrelation: = 0,3877 Kovarianz: = 0,2302  
F14/F19,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,4661 Kovarianz: = -0,2800  
F14/F23,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5840 Kovarianz: = 0,2770  
F14/F24,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4418 Kovarianz: = -0,2711  
F14/F27,Paarsätze: 35  
Korrelation: = -0,3078 Kovarianz: = -0,1567  
F14/F28,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3405 Kovarianz: = -0,2622  
F14/F29,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5794 Kovarianz: = 0,3452  
F14/F37,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,3080 Kovarianz: = 0,1890  
F14/F38,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3569 Kovarianz: = 0,2899

F14/F39,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3416 Kovarianz: = -0,1832  
 F14/F42,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3608 Kovarianz: = 0,2849  
 F14/F44,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3034 Kovarianz: = 0,1812  
 F14/F47,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4076 Kovarianz: = -0,2479  
 F14/F50,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3246 Kovarianz: = 0,2059  
 F14/F57,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3777 Kovarianz: = -0,2222  
 F14/F58,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3344 Kovarianz: = 0,1556  
 F14/F61,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3544 Kovarianz: = 0,1769  
 F14/F63,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4375 Kovarianz: = 0,2355  
 F15/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3378 Kovarianz: = -0,3515  
 F15/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4937 Kovarianz: = 0,5185  
 F15/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3408 Kovarianz: = 0,3667  
 F15/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3596 Kovarianz: = -0,4830  
 F15/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3892 Kovarianz: = 0,3965  
  
 F15/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
 F15/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3148 Kovarianz: = -0,3336  
 F15/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4879 Kovarianz: = 0,6177  
 F15/F52,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3117 Kovarianz: = -0,2689  
 F15/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3227 Kovarianz: = 0,4121  
 F15/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4564 Kovarianz: = 0,6973  
 F16/F17,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5368 Kovarianz: = -0,5156  
 F16/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,6002 Kovarianz: = 0,5008  
 F16/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4956 Kovarianz: = -0,4089  
 F16/F21,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3056 Kovarianz: = -0,2925  
 F16/F23,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4864 Kovarianz: = 0,3171  
 F16/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4238 Kovarianz: = -0,3582  
 F16/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4714 Kovarianz: = 0,4972  
 F16/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4456 Kovarianz: = -0,3455  
 F16/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4005 Kovarianz: = -0,4244  
 F16/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6482 Kovarianz: = 0,5307  
 F16/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5287 Kovarianz: = -0,4230  
 F16/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3850 Kovarianz: = -0,3563  
 F16/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4281 Kovarianz: = 0,3689  
 F16/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5111 Kovarianz: = 0,5714  
 F16/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5175 Kovarianz: = -0,3861  
 F16/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4013 Kovarianz: = -0,3960  
 F16/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6454 Kovarianz: = 0,7316  
 F16/F43,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3658 Kovarianz: = -0,2935

F16/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6108 Kovarianz: = 0,5085  
 F16/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5281 Kovarianz: = -0,5250  
 F16/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5930 Kovarianz: = -0,4958  
 F16/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4422 Kovarianz: = 0,4489  
 F16/F51,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4484 Kovarianz: = -0,4879  
 F16/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5165 Kovarianz: = -0,5180  
 F16/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3861 Kovarianz: = -0,4375  
 F16/F65,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4146 Kovarianz: = 0,4318  
 F17/F18,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5815 Kovarianz: = -0,4792  
 F17/F19,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4136 Kovarianz: = 0,3388  
 F17/F21,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3744 Kovarianz: = 0,3554  
 F17/F23,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4490 Kovarianz: = -0,2991  
 F17/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3382 Kovarianz: = 0,2921  
 F17/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5569 Kovarianz: = -0,6002  
 F17/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4301 Kovarianz: = 0,3407  
 F17/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5333 Kovarianz: = 0,5775  
 F17/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5259 Kovarianz: = -0,4400  
 F17/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4884 Kovarianz: = 0,3993  
 F17/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3488 Kovarianz: = 0,3299  
 F17/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,8704 Kovarianz: = 0,3125  
 F17/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3934 Kovarianz: = 0,2897  
 F17/F35,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3487 Kovarianz: = -0,3667  
 F17/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3078 Kovarianz: = 0,2902  
 F17/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3748 Kovarianz: = -0,3289  
 F17/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4158 Kovarianz: = -0,4750  
 F17/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3787 Kovarianz: = 0,2888  
 F17/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5099 Kovarianz: = 0,5142  
 F17/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3718 Kovarianz: = 0,2750  
 F17/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5247 Kovarianz: = -0,6078  
 F17/F43,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3314 Kovarianz: = 0,2717  
 F17/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5667 Kovarianz: = -0,4820  
 F17/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3521 Kovarianz: = 0,3578  
 F17/F46,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3997 Kovarianz: = -0,3299  
 F17/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5046 Kovarianz: = 0,4336  
 F17/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4179 Kovarianz: = -0,4212  
 F17/F51,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3067 Kovarianz: = 0,3358  
 F17/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3977 Kovarianz: = 0,2774  
 F17/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3007 Kovarianz: = -0,2169  
 F17/F62,Paarsätze: 46



Korrelation: = 0,5617 Kovarianz: = 0,5756  
 F17/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,5110 Kovarianz: = 0,6265  
 F17/F65,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3904 Kovarianz: = -0,4401  
 F18/F19,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,5613 Kovarianz: = -0,3900  
 F18/F21,Paarsätze: 40  
 Korrelation: = -0,3124 Kovarianz: = -0,2656  
 F18/F23,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,5012 Kovarianz: = 0,2904  
 F18/F24,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3037 Kovarianz: = -0,2185  
 F18/F25,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,5943 Kovarianz: = 0,5365  
 F18/F26,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5037 Kovarianz: = -0,3429  
 F18/F27,Paarsätze: 33  
 Korrelation: = -0,3944 Kovarianz: = -0,2388  
 F18/F28,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5847 Kovarianz: = -0,5257  
 F18/F29,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,6621 Kovarianz: = 0,4732  
  
 F18/F30,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,6752 Kovarianz: = -0,4429  
 F18/F31,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5165 Kovarianz: = -0,3991  
 F18/F35,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3716 Kovarianz: = 0,3056  
 F18/F36,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4262 Kovarianz: = -0,3294  
 F18/F37,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,4394 Kovarianz: = 0,3214  
 F18/F38,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3563 Kovarianz: = 0,3467  
 F18/F39,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4009 Kovarianz: = -0,2591  
 F18/F40,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4431 Kovarianz: = -0,3645  
 F18/F41,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5181 Kovarianz: = -0,3029  
 F18/F42,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,5969 Kovarianz: = 0,5749  
 F18/F43,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4239 Kovarianz: = -0,2888  
 F18/F44,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3876 Kovarianz: = 0,2829  
 F18/F45,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3033 Kovarianz: = -0,2628  
 F18/F46,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3344 Kovarianz: = 0,2288  
 F18/F47,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,5132 Kovarianz: = -0,3549  
 F18/F49,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,6782 Kovarianz: = 0,5964  
 F18/F58,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3009 Kovarianz: = 0,1666  
 F18/F59,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3646 Kovarianz: = -0,2169  
 F18/F61,Paarsätze: 41  
 Korrelation: = 0,4354 Kovarianz: = 0,2582  
 F18/F62,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,5046 Kovarianz: = -0,4462  
 F18/F63,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3009 Kovarianz: = 0,1979  
 F18/F64,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,4935 Kovarianz: = -0,4853  
  
 F18/F65,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3055 Kovarianz: = 0,2812  
 F19/F21,Paarsätze: 41  
 Korrelation: = 0,4696 Kovarianz: = 0,3682  
 F19/F23,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3932 Kovarianz: = -0,2202  
 F19/F24,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4141 Kovarianz: = 0,3067  
  
 F19/F25,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4497 Kovarianz: = -0,4148  
 F19/F27,Paarsätze: 35  
 Korrelation: = 0,3025 Kovarianz: = 0,1714  
 F19/F28,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4591 Kovarianz: = 0,4267  
 F19/F29,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5091 Kovarianz: = -0,3595  
 F19/F30,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,6380 Kovarianz: = 0,4360  
 F19/F31,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5171 Kovarianz: = 0,4202  
 F19/F37,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4594 Kovarianz: = -0,3461  
 F19/F39,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3258 Kovarianz: = 0,2133  
 F19/F41,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3302 Kovarianz: = 0,2049  
 F19/F42,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,6012 Kovarianz: = -0,5906  
 F19/F43,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3491 Kovarianz: = 0,2449  
 F19/F44,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3994 Kovarianz: = -0,2879  
 F19/F47,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4737 Kovarianz: = 0,3502  
 F19/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3894 Kovarianz: = -0,3398  
 F19/F53,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3189 Kovarianz: = -0,2435  
 F19/F57,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4610 Kovarianz: = 0,3323  
 F19/F59,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3748 Kovarianz: = 0,2202  
 F19/F61,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,4877 Kovarianz: = -0,3050  
 F19/F62,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4358 Kovarianz: = 0,3837  
 F19/F63,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3467 Kovarianz: = -0,2304  
 F19/F64,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,5615 Kovarianz: = 0,5814  
 F19/F65,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3774 Kovarianz: = -0,3613  
 F20/F21,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,4092 Kovarianz: = -0,5459  
 F20/F28,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3943 Kovarianz: = -0,5657  
 F21/F25,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3515 Kovarianz: = -0,3776  
 F21/F26,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3377 Kovarianz: = 0,2313  
 F21/F28,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3790 Kovarianz: = 0,4048  
 F21/F31,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,4255 Kovarianz: = 0,3827  
 F21/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
 F21/F35,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3510 Kovarianz: = -0,3452  
 F21/F36,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3299 Kovarianz: = 0,2942  
 F21/F40,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3098 Kovarianz: = 0,2823  
 F21/F42,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3673 Kovarianz: = -0,4065  
 F21/F43,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,3566 Kovarianz: = 0,2993  
 F21/F46,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,4093 Kovarianz: = -0,3350  
 F21/F47,Paarsätze: 41  
 Korrelation: = 0,3265 Kovarianz: = 0,2879  
 F21/F49,Paarsätze: 41  
 Korrelation: = -0,4397 Kovarianz: = -0,4593  
 F21/F53,Paarsätze: 42  
 Korrelation: = -0,3515 Kovarianz: = -0,2823  
 F21/F62,Paarsätze: 42

Korrelation: = 0,3084 Kovarianz: = 0,3197  
 F21/F63,Paarsätze: 41  
 Korrelation: = -0,4020 Kovarianz: = -0,3117  
 F21/F64,Paarsätze: 40  
 Korrelation: = 0,3011 Kovarianz: = 0,3463  
 F21/F65,Paarsätze: 40  
 Korrelation: = -0,3121 Kovarianz: = -0,3281  
 F23/F24,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4885 Kovarianz: = -0,2864  
 F23/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3282 Kovarianz: = 0,2401  
 F23/F27,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3032 Kovarianz: = -0,1420  
 F23/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5272 Kovarianz: = -0,3875  
 F23/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6582 Kovarianz: = 0,3738  
 F23/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3858 Kovarianz: = -0,2141  
 F23/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3308 Kovarianz: = -0,2117  
 F23/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3643 Kovarianz: = 0,2178  
  
 F23/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4553 Kovarianz: = 0,3530  
 F23/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3954 Kovarianz: = -0,2046  
 F23/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4364 Kovarianz: = 0,3431  
  
 F23/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3339 Kovarianz: = 0,1928  
 F23/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4051 Kovarianz: = -0,2316  
 F23/F48,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3365 Kovarianz: = 0,2462  
 F23/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4810 Kovarianz: = -0,3346  
 F23/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4062 Kovarianz: = -0,3394  
 F24/F25,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3837 Kovarianz: = -0,3639  
 F24/F27,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,5511 Kovarianz: = 0,3426  
 F24/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4345 Kovarianz: = 0,4140  
 F24/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4674 Kovarianz: = -0,3440  
 F24/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3600 Kovarianz: = 0,2590  
 F24/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4123 Kovarianz: = 0,3431  
 F24/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,3750  
 F24/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4099 Kovarianz: = 0,2656  
 F24/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3799 Kovarianz: = -0,3819  
 F24/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4058 Kovarianz: = 0,2722  
 F24/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4027 Kovarianz: = 0,3573  
 F24/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3478 Kovarianz: = -0,3544  
 F24/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3512 Kovarianz: = -0,3200  
 F24/F54,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3180 Kovarianz: = 0,3012  
 F24/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4312 Kovarianz: = 0,2647  
 F24/F60,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3054 Kovarianz: = 0,3280  
 F24/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3584 Kovarianz: = -0,2185  
 F24/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3774 Kovarianz: = 0,3403  
  
 F24/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4672 Kovarianz: = 0,4855  
 F25/F26,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5672 Kovarianz: = -0,4934  
 F25/F27,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3846 Kovarianz: = -0,2901  
 F25/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4801 Kovarianz: = -0,5709  
 F25/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4486 Kovarianz: = 0,4121  
 F25/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5928 Kovarianz: = -0,5321  
 F25/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5170 Kovarianz: = -0,5369  
 F25/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F25/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3039 Kovarianz: = -0,2457  
 F25/F35,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4420 Kovarianz: = 0,5104  
 F25/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3232 Kovarianz: = -0,3346  
 F25/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3691 Kovarianz: = 0,3556  
 F25/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4401 Kovarianz: = 0,5520  
 F25/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4449 Kovarianz: = -0,3724  
 F25/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4046 Kovarianz: = -0,4480  
 F25/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3107 Kovarianz: = -0,2524  
 F25/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4586 Kovarianz: = 0,5832  
 F25/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3279 Kovarianz: = -0,3658  
 F25/F46,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3046 Kovarianz: = 0,2760  
 F25/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4853 Kovarianz: = -0,4583  
 F25/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,5743 Kovarianz: = 0,6519  
 F25/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3424 Kovarianz: = 0,2672  
 F25/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5779 Kovarianz: = -0,6503  
 F25/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4863 Kovarianz: = -0,6451  
 F25/F65,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4049 Kovarianz: = 0,4938  
 F26/F27,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3964 Kovarianz: = 0,2006  
 F26/F28,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4034 Kovarianz: = 0,3526  
 F26/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6281 Kovarianz: = 0,4145  
 F26/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5387 Kovarianz: = 0,4112  
 F26/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F26/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5335 Kovarianz: = 0,3171  
 F26/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3263 Kovarianz: = -0,2311  
 F26/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4085 Kovarianz: = -0,3767  
 F26/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3571 Kovarianz: = 0,2198  
 F26/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5656 Kovarianz: = 0,4603  
 F26/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3842 Kovarianz: = -0,3592  
 F26/F43,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4764 Kovarianz: = 0,3152  
 F26/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4248 Kovarianz: = 0,3483  
 F26/F46,Paarsätze: 46

Korrelation: = -0,3236 Kovarianz: = -0,2155  
 F26/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3143 Kovarianz: = 0,2173  
 F26/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4384 Kovarianz: = -0,3659  
 F26/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3232 Kovarianz: = 0,1819  
 F26/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3093 Kovarianz: = -0,1785  
 F26/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3485 Kovarianz: = 0,2883  
 F27/F28,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3022 Kovarianz: = 0,2485  
 F27/F29,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,4784 Kovarianz: = -0,2747  
 F27/F30,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3505 Kovarianz: = 0,2068  
 F27/F31,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3729 Kovarianz: = 0,2515  
 F27/F34,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3415 Kovarianz: = 0,1728  
 F27/F39,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3003 Kovarianz: = 0,1528  
  
 F27/F40,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3388 Kovarianz: = 0,2485  
 F27/F42,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3898 Kovarianz: = -0,2978  
 F27/F43,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,4503 Kovarianz: = 0,2531  
 F27/F46,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3304 Kovarianz: = -0,1975  
  
 F27/F48,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,4261 Kovarianz: = -0,3256  
 F27/F57,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,4079 Kovarianz: = 0,2531  
 F27/F58,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = -0,3344 Kovarianz: = -0,1667  
 F27/F59,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3511 Kovarianz: = 0,1728  
 F27/F60,Paarsätze: 36  
 Korrelation: = 0,3418 Kovarianz: = 0,2886  
 F27/F61,Paarsätze: 33  
 Korrelation: = -0,7139 Kovarianz: = -0,3646  
 F27/F63,Paarsätze: 35  
 Korrelation: = -0,3779 Kovarianz: = -0,1984  
 F27/F64,Paarsätze: 35  
 Korrelation: = 0,3875 Kovarianz: = 0,3118  
 F27/F65,Paarsätze: 35  
 Korrelation: = -0,4624 Kovarianz: = -0,3551  
 F28/F29,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5693 Kovarianz: = -0,5255  
 F28/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3636 Kovarianz: = 0,3280  
 F28/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,7130 Kovarianz: = 0,7439  
 F28/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F28/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3420 Kovarianz: = 0,2779  
 F28/F35,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3014 Kovarianz: = -0,3497  
 F28/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4271 Kovarianz: = 0,4442  
 F28/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3525 Kovarianz: = -0,4442  
 F28/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3225 Kovarianz: = 0,2713  
 F28/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3042 Kovarianz: = 0,3384  
 F28/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3347 Kovarianz: = 0,2732  
 F28/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4201 Kovarianz: = -0,5369  
 F28/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4951 Kovarianz: = 0,4686  
  
 F28/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4004 Kovarianz: = -0,4578  
 F28/F53,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3241 Kovarianz: = -0,3176  
 F28/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3058 Kovarianz: = 0,2353  
 F28/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4874 Kovarianz: = 0,5510  
 F28/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3853 Kovarianz: = 0,5129  
 F29/F30,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3791 Kovarianz: = -0,2642  
 F29/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5159 Kovarianz: = -0,4159  
 F29/F32,Paarsätze: 4  
 Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
 F29/F35,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3311 Kovarianz: = 0,2968  
 F29/F36,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4399 Kovarianz: = -0,3535  
 F29/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3541 Kovarianz: = 0,2622  
 F29/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3296 Kovarianz: = 0,3209  
 F29/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4545 Kovarianz: = -0,2954  
 F29/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4047 Kovarianz: = -0,2552  
 F29/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4672 Kovarianz: = 0,4612  
 F29/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3637 Kovarianz: = 0,2637  
 F29/F47,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5906 Kovarianz: = -0,4257  
 F29/F49,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3944 Kovarianz: = 0,3427  
 F29/F51,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4126 Kovarianz: = -0,3886  
 F29/F57,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4276 Kovarianz: = -0,3058  
 F29/F58,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3123 Kovarianz: = 0,1739  
 F29/F59,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3728 Kovarianz: = -0,2216  
 F29/F61,Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3201 Kovarianz: = 0,1947  
 F29/F62,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4631 Kovarianz: = -0,4045  
 F29/F63,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3980 Kovarianz: = 0,2622  
 F29/F64,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3051 Kovarianz: = -0,2980  
 F29/F65,Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3359 Kovarianz: = 0,3017  
 F30/F31,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3468 Kovarianz: = 0,2732  
 F30/F34,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3167 Kovarianz: = 0,1942  
 F30/F37,Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4913 Kovarianz: = -0,3600  
 F30/F38,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4257 Kovarianz: = -0,4050  
 F30/F39,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3952 Kovarianz: = 0,2509  
 F30/F40,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6696 Kovarianz: = 0,5624  
 F30/F41,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3129 Kovarianz: = 0,1928  
 F30/F42,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5996 Kovarianz: = -0,5784  
 F30/F43,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5253 Kovarianz: = 0,3587  
 F30/F44,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4162 Kovarianz: = -0,2949  
 F30/F45,Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3368 Kovarianz: = 0,2850  
 F30/F47,Paarsätze: 45

Korrelation: = 0,5199 Kovarianz: = 0,3723  
F30/F49,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,5015 Kovarianz: = -0,4217  
F30/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4059 Kovarianz: = 0,2358  
F30/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,3929 Kovarianz: = -0,2353  
F30/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4662 Kovarianz: = 0,3979  
F30/F64,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,6235 Kovarianz: = 0,6209  
F30/F65,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,4063 Kovarianz: = -0,3719  
F31/F32,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,3015 Kovarianz: = 0,1250  
F31/F34,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3397 Kovarianz: = 0,2410  
F31/F35,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4412 Kovarianz: = -0,4471  
F31/F36,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4027 Kovarianz: = 0,3658  
F31/F38,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3521 Kovarianz: = -0,3875

F31/F39,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3436 Kovarianz: = 0,2524  
F31/F41,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3103 Kovarianz: = 0,2212  
F31/F42,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3608 Kovarianz: = -0,4026  
F31/F43,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3303 Kovarianz: = 0,2609  
F31/F47,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3864 Kovarianz: = 0,3205  
F31/F49,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4509 Kovarianz: = -0,4509  
F31/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3839 Kovarianz: = 0,2580  
F31/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,3609 Kovarianz: = -0,2493  
F31/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4021 Kovarianz: = 0,3970  
F31/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3387 Kovarianz: = -0,2489  
F32/F34,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,3015 Kovarianz: = 0,1250  
F32/F35,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,3015 Kovarianz: = -0,1250  
F32/F37,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8704 Kovarianz: = -0,3125  
F32/F38,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8704 Kovarianz: = -0,6250  
F32/F40,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,9045 Kovarianz: = 0,3750  
F32/F42,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8704 Kovarianz: = -0,3125  
F32/F43,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,8704 Kovarianz: = 0,3125  
F32/F44,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8528 Kovarianz: = -0,5000  
F32/F45,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
F32/F46,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,3015 Kovarianz: = -0,1250  
F32/F48,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8704 Kovarianz: = -0,3125  
F32/F49,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
F32/F51,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,6364 Kovarianz: = -0,4375  
F32/F52,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,5222 Kovarianz: = -0,1875  
F32/F53,Paarsätze: 4  
Korrelation: = -0,8528 Kovarianz: = -0,5000  
F32/F54,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,3015 Kovarianz: = 0,1250  
F32/F58,Paarsätze: 4

Korrelation: = 0,5222 Kovarianz: = 0,1875  
F32/F60,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,6364 Kovarianz: = 0,4375  
F32/F62,Paarsätze: 4  
Korrelation: = 0,3015 Kovarianz: = 0,1250  
F32/F64,Paarsätze: 3  
Korrelation: = -0,8660 Kovarianz: = -0,3333  
F32/F65,Paarsätze: 3  
Korrelation: = 0,8660 Kovarianz: = 0,6667  
F34/F37,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4059 Kovarianz: = -0,2667  
F34/F40,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3686 Kovarianz: = 0,2788  
F34/F42,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3372 Kovarianz: = -0,2930  
F34/F43,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4065 Kovarianz: = 0,2500  
F34/F45,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3702 Kovarianz: = 0,2821  
F34/F46,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3191 Kovarianz: = -0,1975  
F34/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4000 Kovarianz: = 0,2094

F34/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,3046 Kovarianz: = -0,1639  
F35/F37,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5640 Kovarianz: = 0,5244  
F35/F39,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4802 Kovarianz: = -0,3922  
F35/F42,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3085 Kovarianz: = 0,3828  
F35/F43,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4950 Kovarianz: = -0,4348  
F35/F46,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3090 Kovarianz: = 0,2732  
F35/F48,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4158 Kovarianz: = 0,4802  
F35/F53,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3605 Kovarianz: = 0,3431  
F35/F57,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3092 Kovarianz: = -0,2779  
F35/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3840 Kovarianz: = 0,2807  
F35/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3624 Kovarianz: = -0,3979  
F35/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5646 Kovarianz: = 0,4607  
F36/F39,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3330 Kovarianz: = 0,2439  
F36/F41,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5001 Kovarianz: = 0,3554  
F36/F47,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3183 Kovarianz: = 0,2632  
F36/F49,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3473 Kovarianz: = -0,3462  
F36/F53,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3036 Kovarianz: = -0,2590  
F36/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4133 Kovarianz: = 0,2769  
F36/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4091 Kovarianz: = 0,4026  
F37/F38,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4826 Kovarianz: = 0,4933  
F37/F39,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,5981 Kovarianz: = -0,4089  
F37/F40,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4014 Kovarianz: = -0,3600  
F37/F41,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3214 Kovarianz: = -0,2133  
F37/F42,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5884 Kovarianz: = 0,6089  
  
F37/F43,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,6308 Kovarianz: = -0,4622  
F37/F44,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3842 Kovarianz: = 0,2933

F37/F45, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3188 Kovarianz: = -0,2889  
 F37/F46, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4261 Kovarianz: = 0,3156  
 F37/F47, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3820 Kovarianz: = -0,2862  
 F37/F53, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3673 Kovarianz: = 0,2889  
 F37/F54, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3720 Kovarianz: = 0,3611  
 F37/F57, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4261 Kovarianz: = -0,3156  
 F37/F59, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3425 Kovarianz: = -0,2089  
 F37/F61, Paarsätze: 42  
 Korrelation: = 0,4272 Kovarianz: = 0,2687  
 F37/F63, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,4279 Kovarianz: = 0,2913  
 F38/F39, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3361 Kovarianz: = -0,2982  
 F38/F40, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3399 Kovarianz: = -0,3989  
 F38/F42, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5168 Kovarianz: = 0,6966  
 F38/F43, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3076 Kovarianz: = -0,2935  
 F38/F44, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5012 Kovarianz: = 0,4962  
 F38/F45, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4697 Kovarianz: = -0,5553  
 F38/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4271 Kovarianz: = -0,4267  
 F38/F49, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3202 Kovarianz: = 0,3802  
 F38/F53, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3241 Kovarianz: = 0,3351  
 F38/F62, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4834 Kovarianz: = -0,5766  
 F38/F64, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,3729 Kovarianz: = -0,5320  
 F39/F40, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4936 Kovarianz: = 0,3866  
 F39/F42, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4917 Kovarianz: = -0,4423  
 F39/F43, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5633 Kovarianz: = 0,3587  
 F39/F46, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4616 Kovarianz: = -0,2958  
 F39/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4269 Kovarianz: = 0,2820  
 F39/F57, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3605 Kovarianz: = 0,2349  
 F39/F59, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4579 Kovarianz: = 0,2481  
 F39/F61, Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,3931 Kovarianz: = -0,2131  
 F39/F62, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3598 Kovarianz: = 0,2864  
 F39/F63, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3926 Kovarianz: = -0,2356  
 F40/F42, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3829 Kovarianz: = -0,4556  
 F40/F43, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,6453 Kovarianz: = 0,5435  
 F40/F44, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3775 Kovarianz: = -0,3299  
 F40/F45, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3324 Kovarianz: = 0,3469  
 F40/F46, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4148 Kovarianz: = -0,3516  
 F40/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4439 Kovarianz: = 0,3877  
 F40/F49, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3542 Kovarianz: = -0,3728  
 F40/F59, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5540 Kovarianz: = 0,3970  
 F40/F62, Paarsätze: 46

Korrelation: = 0,4848 Kovarianz: = 0,5104  
 F40/F64, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,3873 Kovarianz: = 0,4793  
 F41/F46, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3206 Kovarianz: = -0,1994  
 F41/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4015 Kovarianz: = 0,2543  
 F41/F49, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5173 Kovarianz: = -0,3951  
 F41/F50, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3495 Kovarianz: = -0,2353  
 F41/F52, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3152 Kovarianz: = 0,1645  
 F41/F57, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3468 Kovarianz: = 0,2193  
 F41/F59, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4242 Kovarianz: = 0,2231  
 F41/F63, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3188 Kovarianz: = -0,1689  
 F42/F43, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5842 Kovarianz: = -0,5652  
 F42/F44, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,5527 Kovarianz: = 0,5548  
 F42/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,5136 Kovarianz: = -0,5215  
 F42/F49, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3607 Kovarianz: = 0,4360  
 F42/F51, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3007 Kovarianz: = -0,3877  
 F42/F53, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3995 Kovarianz: = 0,4187  
 F42/F54, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3116 Kovarianz: = 0,4074  
 F42/F57, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3571 Kovarianz: = -0,3535  
 F42/F61, Paarsätze: 43  
 Korrelation: = 0,3824 Kovarianz: = 0,3261  
 F42/F62, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4393 Kovarianz: = -0,5312  
 F42/F63, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3461 Kovarianz: = 0,3156  
 F42/F64, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = -0,4898 Kovarianz: = -0,7107  
 F42/F65, Paarsätze: 44  
 Korrelation: = 0,5019 Kovarianz: = 0,6694  
 F43/F44, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,3671 Kovarianz: = -0,2609  
 F43/F46, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4100 Kovarianz: = -0,2826  
 F43/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,3509 Kovarianz: = 0,2430  
 F43/F54, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3186 Kovarianz: = -0,2938  
 F43/F57, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3878 Kovarianz: = 0,2717  
 F43/F59, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4291 Kovarianz: = 0,2500  
 F43/F61, Paarsätze: 43  
 Korrelation: = -0,4139 Kovarianz: = -0,2315  
 F43/F62, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,4064 Kovarianz: = 0,3478  
 F43/F63, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4331 Kovarianz: = -0,2785  
 F44/F45, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,4573 Kovarianz: = -0,4026  
 F44/F46, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = 0,3925 Kovarianz: = 0,2807  
 F44/F47, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,4280 Kovarianz: = -0,3141  
 F44/F51, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = -0,3550 Kovarianz: = -0,3447  
 F44/F54, Paarsätze: 45  
 Korrelation: = 0,4189 Kovarianz: = 0,4025  
 F44/F62, Paarsätze: 46  
 Korrelation: = -0,5204 Kovarianz: = -0,4622  
 F44/F64, Paarsätze: 44

Korrelation: = -0,4100 Kovarianz: = -0,4313  
F45/F46,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3187 Kovarianz: = -0,2722  
F45/F47,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3699 Kovarianz: = 0,3294  
F45/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3983 Kovarianz: = 0,4225  
F46/F52,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3070 Kovarianz: = -0,1786  
F46/F57,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3377 Kovarianz: = -0,2382  
F46/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,4400 Kovarianz: = -0,2580  
F46/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,4357 Kovarianz: = 0,2537  
F46/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3094 Kovarianz: = -0,2665  
F47/F49,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,4854 Kovarianz: = -0,4287  
F47/F53,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3469 Kovarianz: = -0,2667  
F47/F59,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4770 Kovarianz: = 0,2919

F47/F62,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,4385 Kovarianz: = 0,3941  
F47/F63,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,3829 Kovarianz: = -0,2521  
F47/F64,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,4756 Kovarianz: = 0,4705  
F47/F65,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,4616 Kovarianz: = -0,4321  
F48/F53,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3144 Kovarianz: = 0,3067  
F48/F57,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3093 Kovarianz: = -0,2850  
F48/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,4293 Kovarianz: = 0,3386  
F48/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,3054 Kovarianz: = 0,2593  
F49/F62,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,3514 Kovarianz: = -0,3807  
F49/F63,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,3087 Kovarianz: = 0,2521

F49/F64,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,5007 Kovarianz: = -0,6279  
F49/F65,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3307 Kovarianz: = 0,3835  
F50/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3243 Kovarianz: = 0,1936  
F51/F65,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,4192 Kovarianz: = -0,5257  
F52/F57,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5184 Kovarianz: = 0,3067  
F52/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,4563 Kovarianz: = 0,2245  
F52/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,3578 Kovarianz: = -0,1714  
F53/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3078 Kovarianz: = -0,2854  
F53/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = 0,5104 Kovarianz: = 0,3570  
F53/F64,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,3056 Kovarianz: = -0,3404  
F57/F58,Paarsätze: 46  
Korrelation: = -0,3504 Kovarianz: = -0,1957  
F57/F59,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,5811 Kovarianz: = 0,3464  
F57/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,6082 Kovarianz: = -0,3721  
F57/F63,Paarsätze: 45  
Korrelation: = -0,4098 Kovarianz: = -0,2667  
F58/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3501 Kovarianz: = 0,1650  
F59/F61,Paarsätze: 43  
Korrelation: = -0,4378 Kovarianz: = -0,2261  
F59/F62,Paarsätze: 46  
Korrelation: = 0,3997 Kovarianz: = 0,2911  
F61/F63,Paarsätze: 43  
Korrelation: = 0,3575 Kovarianz: = 0,1925  
F61/F64,Paarsätze: 42  
Korrelation: = -0,3110 Kovarianz: = -0,2636  
F62/F64,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,4510 Kovarianz: = 0,5718  
F63/F65,Paarsätze: 44  
Korrelation: = 0,4527 Kovarianz: = 0,3946  
F64/F65,Paarsätze: 44  
Korrelation: = -0,6453 Kovarianz: = -0,8760

## Aufbereitung der Korrelationsanalyse zu Fragebogen II

Leit - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	Korrelations - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	r
Ich finde es interessant, wenn ich die Folgen meiner erhöhten Atemfrequenz mit Hilfe von Gleichgewichtsbetrachtungen erklären kann.	7	2,2	1,1	Die gewonnenen Kenntnisse können mir im Alltag helfen.	11	2,6	0,99	0,52
				Diese Chemiekennntnisse sind für mich bedeutsam.	13	2,7	0,95	0,72
				Der Chemieunterricht war logisch strukturiert, die Themen bauten für mich nachvollziehbar aufeinander auf.	17	2,4	0,99	0,45
				In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren.	30	2,7	0,83	0,56
				Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voranzubringen.	40	2,9	1,02	0,53
Die gewonnenen Kenntnisse können mir im Alltag helfen	11			Ich hatte Gelegenheit, eigene Interessen und Fragen in den Unterricht einzubringen.	43	2,5	0,83	0,53
				In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren	27	1,9	0,71	0,57
				Ich hatte das Gefühl objektiv und fair bewertet worden zu sein.	31	2,04	0,96	0,55
Diese Chemiekennntnisse sind für mich bedeutsam <sup>1</sup>	13			Der Unterricht war für mich logisch strukturiert, die Themen bauten sich für mich nachvollziehbar aufeinander auf.	17	2,4	0,99	0,56
				Es war gut, dass wir chemische Inhalte an Problemen erarbeitet haben, die mit meinem Körper zu tun haben.	19	2,1	0,84	0,51
<sup>2</sup>				In diesem Unterricht habe ich mich angestrengt, weil ich glaube, dass es wichtig ist, diese Inhalte zu verstehen.	24	2,61	0,87	0,56
				Der Inhalt hat mich so interessiert, dass ich mich außerhalb des Unterrichts damit beschäftigt habe.	26	3,5	0,8	0,53
				In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren.	30	2,71	0,83	0,52
				Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voranbringen zu können.	40	2,91	1,02	0,57
				Die Ergebnisse der Experimente regten mich um Weiterdenken an.	62	2,9	1,03	0,51

<sup>1</sup> Grau unterlegt sind die in der Arbeit verwendeten Korrelationen

<sup>2</sup> grau unterlegt sind die in der Arbeit verwendeten Korrelationen

Leit - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	Korrelations - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	r
Der Chemieunterricht war logisch strukturiert, die Themen bauten für mich sich nachvollziehbar auf.	17			Dieser Chemieunterricht hat Spaß gemacht.	28	3	1,02	0,53
				Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voranzubringen	40	2,9	1,02	0,51
				Mir hat die Arbeit in den Lernstationen genügend Freiraum gegeben, mein Wissen zu erweitern und vertiefen.	47	2,29	0,86	0,51
Es war gut, dass wir chemische Inhalte an Problemen erarbeitet haben, die mit meinem Körper zu tun haben	19			In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weiter geht und noch mehr erfahren	30	2,7	0,83	0,64
				Ich habe gern Zeit investiert, um mir aus dem Internet die nötigen Informationen zu beschaffen.	64	3	1,21	0,58
In diesem Unterricht wollte ich wissen, wie es weitergeht und noch mehr erfahren.	30			Ich hatte das Gefühl, den Unterricht durch meine Beiträge voran zubringen	40	2,9	1,02	0,67
				Ich hatte Gelegenheit, eigene Interessen und Fragen in den unterricht einzubringen	43	2,5	0,83	0,53
				Mir hat die Arbeit an den Lernstationen genügend Freiraum gegeben mein Wissen, zu erweitern und vertiefen	47	2,29	0,86	0,52
				Ich habe gern Zeit investiert, um mir aus dem Interne die nötigen Informationen zu beschaffen.	64	3,02	1,22	0,62
Meine Kenntnisse über das Tauchen wurden in keinen für mich neuen Zusammenhang gestellt.	1	4,2	0,847	Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	18	4,16	0,83	0,52
				In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt.	25	3,35	1,09	0,53
				Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir meistens egal.	29	4,1	0,85	0,41
				Mir fehlte die Information, was wir am Ende können sollten.	42	3,26	1,17	0,49
				Durch die Beiträge der anderen Schüler lernte ich kaum etwas.	49	3,64	1,04	0,50
Für mich gehörte das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ nicht in den Chemieunterricht.	5	3,89	1,047	In diesem Unterricht lernten wir nicht die Chemie, die für mich wichtig ist.	10	3,78	1,03	0,72
				Diese Kenntnisse sind nur für Mediziner wichtig.	12	4,04	0,93	0,52
				Ich habe Fragen zu diesem Thema; allerdings haben wir genau diese Inhalte nicht behandelt.	14			0,53
				Ich habe schon früh den Anschluss verloren.	16	4,2	0,97	0,54
				Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	18	4,16	0,83	0,75



Leit - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	Korrelations - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	r
				Ich war mit den Gedanken häufig woanders.	23	3,93	0,67	0,48
				In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt	25	3,35	1,09	0,49
				Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir egal.	29	4,07	0,85	0,70
				Mir fehlte die Information, was wir am Ende können sollten.	42	3,3	1,17	0,49
				Durch die Beiträge der anderen Schüler lernte ich kaum etwas.	49	3,64	1,04	0,51
In diesem Unterricht lernten wir nicht die Chemie, die für mich wichtig ist <sup>3</sup> .	10	3,78	1,03	Ich habe Fragen zu diesem Thema. Allerdings haben wir genau diese Inhalte nicht behandelt.	14	4,2	0,7	0,52
				Ich habe schon früh den Anschluss verloren.	16	4,2	0,97	0,75
				Ich fand da Thema Atmen unter Extrembedingungen uninteressant.	18	4,16	0,83	0,76
				In diesem Unterricht war ich mit meinen Gedanken häufig woanders.	23	3,93	0,67	0,52
				In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt.	25	3,35	1,09	0,68
				Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir meistens egal.	29	4,07	0,85	0,70
				Mir hätte die Lehrkraft sagen sollen, was wichtig ist.	37	3,6	0,88	0,48
				Mir fehlte die Information, was wir am Ende können sollten.	42	3,26	1,17	0,63
				Durch die Beiträge der Schüler lernte ich kaum etwas.	49	3,64	1,04	0,51
				Ich empfand das Anspruchsniveau der Aufgaben unangemessen.	61	3,91	0,71	0,48
Diese Kenntnisse sind nur für Mediziner wichtig.	12	4,04	0,932	Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	18	4,16	0,83	0,66
				Mir fehlte die Information, was wir am Ende wissen sollten.	42	3,26	1,17	0,55
				Durch die Beiträge der Schüler lernte ich kaum etwas.	49	3,64	1,04	0,61
Ich habe Fragen zu diesem Thema. Allerdings haben wir genau dies Inhalte nicht behandelt.	14	4,16	0,698	In diesem Unterricht war ich mit den Gedanken häufig woanders.	23	3,93	0,67	0,58
				Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir häufig egal.	29	4,07	0,85	0,58
Ich habe schon früh den Anschluss im Unterricht verloren.	16	4,2	0,97	Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	18	4,16	0,83	0,60

<sup>3</sup> grau unterlegt sind die in der Arbeit verwendeten Korrelationskoeffizienten

Leit - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	Korrelations - Item	Nr.	$\bar{x}$	s	r
				Dinge, die ich gut kann, nützen mir hier nichts.	38	3,41	1,15	0,51
				Mir fehlte die Information, was wir am Ende können sollten.	42	3,26	1,17	0,65
				Ich würde mir nicht zutrauen, im Chemieunterricht auch zu anderen Themen selbständig zu arbeiten.	44	3,96	0,86	0,61
Ich fand das Thema ‚Atmen unter Extrembedingungen‘ uninteressant.	18	4,16	0,833	In diesem Unterricht war ich mit meinen Gedanken häufig woanders.	23	3,93	0,67	0,50
				In diesem Unterricht habe ich mich nur wegen der Noten angestrengt.	25	3,35	1,09	0,54
				Der Chemieunterricht zu diesem Thema war mir meistens egal.	29	4,07	0,85	0,66
				Mir fehlte die Information, was ich können sollte.	43	2,5	0,83	0,6
				Durch die Beiträge der anderen Schüler lernte ich kaum etwas.	49	3,64	1,06	0,68

## Bestimmung der Mittelwerte und ihrer Streuungen zu Fragebogen I

TABELLE: CHEMIE8 Datensätze: 46

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*FELDNAME: f01 FELDTYP: N

SUMME: 123

ARITHMETISCHES MITTEL: 2.6739

1: 10 21 %

2: 10 21 %

3: 14 30 %

4: 9 19 %

5: 3 6 %

VARIANZ: 1.4371 STANDARDABWEICHUNG: 1.1988

MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f02 FELDTYP: N

SUMME: 178

ARITHMETISCHES MITTEL: 3.8696

2: 1 2 %

3: 14 30 %

4: 21 45 %

5: 10 21 %

VARIANZ: 0.5917 STANDARDABWEICHUNG: 0.7692

MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f03 FELDTYP: N**

**SUMME: 101**

**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.1957**

1: 13 28 %

2: 18 39 %

3: 9 19 %

4: 5 10 %

5: 1 2 %

VARIANZ: 1.0704 STANDARDABWEICHUNG: 1.0346

MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f04 FELDTYP: N

SUMME: 161

ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5000

2: 6 13 %

3: 19 41 %

4: 13 28 %

5: 8 17 %

VARIANZ: 0.8587 STANDARDABWEICHUNG: 0.9267

MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f05 FELDTYP: N

SUMME: 151

ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2826

1: 6 13 %

2: 5 10 %

3: 13 28 %

4: 14 30 %

5: 8 17 %

VARIANZ: 1.5506 STANDARDABWEICHUNG: 1.2452

MEDIAN: 3 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f06 FELDTYP: N

SUMME: 87

ARITHMETISCHES MITTEL: 1.8913

1: 13 28 %

2: 27 58 %

3: 4 8 %

4: 2 4 %

VARIANZ: 0.5317 STANDARDABWEICHUNG: 0.7292

MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f07 FELDTYP: N

SUMME: 93

ARITHMETISCHES MITTEL: 2.0217

1: 14 30 %

2: 20 43 %

3: 9 19 %

4: 3 6 %

VARIANZ: 0.7604 STANDARDABWEICHUNG: 0.8720

MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f08 FELDTYP: N**

**SUMME: 104**

**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2609**

1: 13 28 %

2: 13 28 %

3: 15 32 %

4: 5 10 %

VARIANZ: 0.9754 STANDARDABWEICHUNG: 0.9876

MEDIAN: 2 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f09 FELDTYP: N**

**SUMME: 171**

**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7174**

1: 1 2 %

2: 3 6 %

3: 15 32 %

4: 16 34 %

5: 11 23 %

VARIANZ: 0.9419 STANDARDABWEICHUNG: 0.9705

MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*

FELDNAME: f10 FELDTYP: N

SUMME: 127

ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7609

1: 4 8 %

2: 14 30 %

3: 18 39 %

4: 9 19 %

5: 1 2 %

VARIANZ: 0.8776 STANDARDABWEICHUNG: 0.9368

MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*FELDNAME: f11 FELDTYP: N

SUMME: 110

ARITHMETISCHES MITTEL: 2.3913

1: 6 13 %

2: 22 47 %

3: 14 30 %

4: 2 4 %

5: 2 4 %

VARIANZ: 0.8469 STANDARDABWEICHUNG: 0.9203

MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*

**FELDNAME: f12 FELDTYP: N**

**SUMME: 150**

**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2609**

0: 1 2 %

1: 3 6 %

2: 6 13 %

3: 14 30 %

4: 17 36 %

5: 5 10 %

VARIANZ: 1.3233 STANDARDABWEICHUNG: 1.1503

MEDIAN: 3 MODALWERT: 4

.....

FELDNAME: f13 FELDTYP: N  
SUMME: 154  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.3478  
1: 1 2 %  
2: 6 13 %  
3: 19 41 %  
4: 16 34 %  
5: 4 8 %  
VARIANZ: 0.7921 STANDARDABWEICHUNG: 0.8900  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f14 FELDTYP: N  
SUMME: 100  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.1739  
1: 10 21 %  
2: 18 39 %  
3: 18 39 %  
VARIANZ: 0.5784 STANDARDABWEICHUNG: 0.7606  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 3,2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f15 FELDTYP: N  
SUMME: 103  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2391  
1: 14 30 %  
2: 16 34 %  
3: 9 19 %  
4: 5 10 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.2689 STANDARDABWEICHUNG: 1.1265  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f16 FELDTYP: N  
SUMME: 172  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7391  
0: 1 2 %  
2: 4 8 %  
3: 7 15 %  
4: 27 58 %  
5: 7 15 %  
VARIANZ: 0.9319 STANDARDABWEICHUNG: 0.9654  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f17 FELDTYP: N**  
**SUMME: 160**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.4783**  
0: 1 2 %  
2: 5 10 %  
3: 18 39 %  
4: 14 30 %  
5: 8 17 %  
VARIANZ: 1.0756 STANDARDABWEICHUNG: 1.0371  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f18 FELDTYP: N**  
**SUMME: 98**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.1304**  
1: 21 45 %  
2: 9 19 %  
3: 8 17 %  
4: 5 10 %  
5: 3 6 %  
VARIANZ: 1.6352 STANDARDABWEICHUNG: 1.2787  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f19 FELDTYP: N  
SUMME: 165  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5870  
2: 4 8 %  
3: 13 28 %  
4: 27 58 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 0.5033 STANDARDABWEICHUNG: 0.7094  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f20 FELDTYP: N  
SUMME: 126  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7391  
1: 5 10 %  
2: 14 30 %  
3: 17 36 %  
4: 8 17 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.0189 STANDARDABWEICHUNG: 1.0094  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f21 FELDTYP: N  
SUMME: 211  
ARITHMETISCHES MITTEL: 4.5870  
2: 1 2 %  
3: 2 4 %  
4: 12 26 %  
5: 31 67 %  
VARIANZ: 0.4598 STANDARDABWEICHUNG: 0.6781  
MEDIAN: 5 MODALWERT: 5

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f22 FELDTYP: N  
SUMME: 74  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.6087  
1: 27 58 %  
2: 11 23 %  
3: 7 15 %  
4: 1 2 %  
VARIANZ: 0.6730 STANDARDABWEICHUNG: 0.8203  
MEDIAN: 1 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f23 FELDTYP: N  
SUMME: 86  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.8696  
1: 10 21 %  
2: 32 69 %  
3: 4 8 %  
VARIANZ: 0.2873 STANDARDABWEICHUNG: 0.5360  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f24 FELDTYP: N  
SUMME: 88  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.9130  
1: 19 41 %  
2: 13 28 %  
3: 13 28 %  
4: 1 2 %  
VARIANZ: 0.7750 STANDARDABWEICHUNG: 0.8804  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f25 FELDTYP: N  
SUMME: 128  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.7826  
0: 1 2 %  
1: 3 6 %  
2: 10 21 %  
3: 23 50 %  
4: 9 19 %  
VARIANZ: 0.8223 STANDARDABWEICHUNG: 0.9068  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f26 FELDTYP: N  
SUMME: 165  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5870  
2: 3 6 %  
3: 13 28 %  
4: 30 65 %  
VARIANZ: 0.3729 STANDARDABWEICHUNG: 0.6106  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f27 FELDTYP: N  
SUMME: 105  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.2826  
1: 8 17 %  
2: 20 43 %  
3: 15 32 %  
4: 3 6 %  
VARIANZ: 0.6810 STANDARDABWEICHUNG: 0.8252  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f28 FELDTYP: N  
SUMME: 174  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7826  
3: 10 21 %  
4: 36 78 %  
VARIANZ: 0.1701 STANDARDABWEICHUNG: 0.4125  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f29 FELDTYP: N  
SUMME: 172  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7391  
2: 1 2 %  
3: 10 21 %  
4: 35 76 %  
VARIANZ: 0.2363 STANDARDABWEICHUNG: 0.4861  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f30 FELDTYP: N  
SUMME: 119  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.5870  
1: 9 19 %  
2: 12 26 %  
3: 14 30 %  
4: 11 23 %  
VARIANZ: 1.1120 STANDARDABWEICHUNG: 1.0545  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f31 FELDTYP: N**  
**SUMME: 140**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.0435**  
0: 1 2 %  
1: 4 8 %  
2: 5 10 %  
3: 20 43 %  
4: 14 30 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.1285 STANDARDABWEICHUNG: 1.0623  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f32 FELDTYP: N  
SUMME: 164  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.5652  
0: 1 2 %  
2: 9 19 %  
3: 10 21 %  
4: 14 30 %  
5: 12 26 %  
VARIANZ: 1.4197 STANDARDABWEICHUNG: 1.1915  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f33 FELDTYP: N  
SUMME: 85  
ARITHMETISCHES MITTEL: 1.8478  
0: 1 2 %  
1: 20 43 %  
2: 14 30 %  
3: 7 15 %  
4: 4 8 %  
VARIANZ: 0.9986 STANDARDABWEICHUNG: 0.9993  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 1

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f34 FELDTYP: N  
SUMME: 151  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2826  
0: 2 4 %  
1: 1 2 %  
2: 7 15 %  
3: 13 28 %  
4: 18 39 %  
5: 5 10 %  
VARIANZ: 1.3767 STANDARDABWEICHUNG: 1.1733  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f35 FELDTYP: N  
SUMME: 171  
ARITHMETISCHES MITTEL: 3.7174  
0: 1 2 %  
2: 4 8 %  
3: 13 28 %  
4: 16 34 %  
5: 12 26 %  
VARIANZ: 1.1593 STANDARDABWEICHUNG: 1.0767  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4

\*\*\*\*\*  
FELDNAME: f36 FELDTYP: N  
SUMME: 110  
ARITHMETISCHES MITTEL: 2.3913  
0: 1 2 %  
1: 7 15 %  
2: 15 32 %  
3: 20 43 %  
4: 2 4 %  
5: 1 2 %  
VARIANZ: 0.8904 STANDARDABWEICHUNG: 0.9436  
MEDIAN: 2 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f37 FELDTYP: N**  
**SUMME: 123**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.6739**  
0: 1 2 %  
1: 4 8 %  
2: 17 36 %  
3: 13 28 %  
4: 9 19 %  
5: 2 4 %  
VARIANZ: 1.1763 STANDARDABWEICHUNG: 1.0846  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 2

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f38 FELDTYP: N**  
**SUMME: 131**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 2.8478**  
0: 1 2 %  
1: 4 8 %  
2: 9 19 %  
3: 22 47 %  
4: 7 15 %  
5: 3 6 %  
VARIANZ: 1.1290 STANDARDABWEICHUNG: 1.0626  
MEDIAN: 3 MODALWERT: 3

\*\*\*\*\*  
**FELDNAME: f39 FELDTYP: N**  
**SUMME: 148**  
**ARITHMETISCHES MITTEL: 3.2174**  
**0: 2 4 %**  
1: 4 8 %  
2: 8 17 %  
3: 8 17 %  
4: 16 34 %  
5: 8 17 %  
VARIANZ: 1.9093 STANDARDABWEICHUNG: 1.3818  
MEDIAN: 4 MODALWERT: 4





# T - Werte

TABELLE: CHEMIE Datensätze: 46

\*\*\*\*\*

Mittelwertsdifferenzen ab +/- 2.5

Nulleinträge wurden für Mittelwertsberechnung nicht berücksichtigt

berücksichtigt 21,8717

F01/F06,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 1,8913 T-Wert: 4,8002	F01/F08,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 2,2609 T-Wert: 2,5988
F01/F07,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 2,0217 T-Wert: 3,9778	F01/F18,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 2,1304 T-Wert: 2,5037
F01/F42,Paarsätze: 45	AM1: 2,6889 AM2: 2 T-Wert: 4,2178	F01/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 1,6087 T-Wert: 4,7743
F01/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 1,8444 T-Wert: 5,1326	F01/F23,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 1,8696 T-Wert: 3,7485
F01/A04,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,0227 T-Wert: 2,8480	F01/F24,Paarsätze: 46	AM1: 2,6739 AM2: 1,9130 T-Wert: 3,6423
		F01/F33,Paarsätze: 45	AM1: 2,6889 AM2: 1,8889 T-Wert: 3,9553
		F02/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 1,8889 T-Wert: 12,9749
F01/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 1,9556 T-Wert: 2,7298	F02/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,5111 T-Wert: 7,5438
F01/A19,Paarsätze: 44	AM1: 2,7045 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,0642	F02/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,2667 T-Wert: 7,8547
F01/A21,Paarsätze: 41	AM1: 2,7561 AM2: 1,9024 T-Wert: 3,3625	F02/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,8864 AM2: 2,2955 T-Wert: 8,2573
F01/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,5714 AM2: 1,9714 T-Wert: 2,6695	F02/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,0667 T-Wert: 3,7200
F01/A31,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 2,0444 T-Wert: 3,0582	F02/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,8636 AM2: 2,2727 T-Wert: 7,6181
F01/A36,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 2,1111 T-Wert: 2,7705	F02/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 1,8667 T-Wert: 12,2246
F01/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 1,8889 T-Wert: 3,8013	F02/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,8864 AM2: 2,5909 T-Wert: 7,3680
F01/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 1,8667 T-Wert: 4,1564	F02/A55,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,2222 T-Wert: 3,3648
F01/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 2 T-Wert: 3,1096	F02/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2 T-Wert: 11,0624
F01/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 2,0667 T-Wert: 3,5922	F02/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,0667 T-Wert: 11,0574
F02/F03,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,1957 T-Wert: 7,1785	F02/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,8222 T-Wert: 4,8720
F02/F06,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 1,8913 T-Wert: 10,7186	F02/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,9111 T-Wert: 4,7809
F02/F07,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,0217 T-Wert: 8,9699	F02/A64,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,0233 T-Wert: 3,7039
F02/F08,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,2609 T-Wert: 7,3519	F03/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,1957 AM2: 1,6087 T-Wert: 3,2232
F02/F10,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,7609 T-Wert: 5,9438	F04/F06,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 1,8913 T-Wert: 8,5939
F02/F11,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,3913 T-Wert: 7,6569	F04/F07,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,0217 T-Wert: 6,4771
F02/F12,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,3333 T-Wert: 2,6813	F04/F08,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,2609 T-Wert: 5,3077
F02/F13,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 3,3478 T-Wert: 2,9015	F04/F10,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,7609 T-Wert: 3,1307
F02/F14,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,1739 T-Wert: 10,0419	F04/F11,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,3913 T-Wert: 5,1887
F02/F15,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,2391 T-Wert: 7,4604	F04/F14,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,1739 T-Wert: 7,4529
F02/F18,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,1304 T-Wert: 7,3664	F04/F15,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,2391 T-Wert: 5,5406
F02/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,7391 T-Wert: 5,5764	F04/F18,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,1304 T-Wert: 5,4749
F02/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 1,6087 T-Wert: 12,8312	F04/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,7391 T-Wert: 3,4176
F02/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 1,8696 T-Wert: 15,0000	F04/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 1,6087 T-Wert: 9,3726
F02/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 1,9130 T-Wert: 11,3746	F04/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 1,8696 T-Wert: 10,1051
F02/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,8444 T-Wert: 5,4962	F04/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 1,9130 T-Wert: 7,9273
F02/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,2826 T-Wert: 8,8473	F04/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,4889 AM2: 2,8444 T-Wert: 3,2894
F02/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,5870 T-Wert: 6,3229	F04/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,2826 T-Wert: 7,4670
F02/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 3,1111 T-Wert: 4,0825	F04/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,5870 T-Wert: 4,0752
F02/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 1,8889 T-Wert: 10,1867	F04/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 1,8889 T-Wert: 7,7613
F02/F34,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,4318 T-Wert: 2,5224	F04/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,4444 T-Wert: 4,9254
F02/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,4444 T-Wert: 7,7631	F04/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,2083
F02/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,7333 T-Wert: 5,4024	F04/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,6332
F02/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,9111 T-Wert: 4,6456	F04/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,6606
F02/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,4667 T-Wert: 8,4774	F04/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2 T-Wert: 6,2480
F02/F41,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,4069	F04/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,8804
F02/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2 T-Wert: 8,6005	F04/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,4000 T-Wert: 6,3950
F02/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,7333 T-Wert: 6,0831	F04/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,3333 T-Wert: 4,7590
F02/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,4000 T-Wert: 8,5327	F04/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,5111 AM2: 2,2667 T-Wert: 4,8720
F02/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,3333 T-Wert: 6,4562	F04/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,8913 T-Wert: 2,9718
F02/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,8667 AM2: 2,2667 T-Wert: 6,5705	F04/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,2174 T-Wert: 5,4703
F02/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 3,1957 T-Wert: 3,5713	F04/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 3,2621 T-Wert: 5,5496
F02/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,8913 T-Wert: 5,2252	F04/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,5000 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,8540
F02/F51,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 3,2826 T-Wert: 2,6262	F04/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 1,8444 T-Wert: 7,7613
F02/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,2174 T-Wert: 8,0911	F04/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,4773 AM2: 2,0227 T-Wert: 6,2889
F02/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,3261 T-Wert: 7,9982	F04/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,2444 T-Wert: 5,1801
F02/F56,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 3,1304 T-Wert: 3,5282	F04/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 1,9556 T-Wert: 7,4690
F02/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,8696 AM2: 2,5870 T-Wert: 6,5502	F04/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,5556 T-Wert: 4,3833
F02/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 1,8444 T-Wert: 10,0629	F04/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,4545 AM2: 2,6591 T-Wert: 3,6638
F02/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,0227 T-Wert: 10,4342	F04/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,4222 T-Wert: 4,5976
F02/A06,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,5359	F04/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,4545 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,7695
F02/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,9524	F04/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,4390 AM2: 1,9024 T-Wert: 7,0413
F02/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 1,9556 T-Wert: 10,5675	F04/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,6444 T-Wert: 4,2466
F02/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,5556 T-Wert: 6,2539	F04/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,4571 AM2: 1,9714 T-Wert: 6,7059
F02/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,8864 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,8375	F04/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,4000 T-Wert: 4,7703
F02/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,4222 T-Wert: 7,5427	F04/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,7111 T-Wert: 3,6206
F02/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,8864 AM2: 2,0227 T-Wert: 9,9258	F04/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,0444 T-Wert: 6,8697
F02/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,9024 AM2: 1,9024 T-Wert: 9,4281	F04/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,4160
F02/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,6444 T-Wert: 6,1100	F04/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,1111 T-Wert: 6,4957
F02/A25,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,3333 T-Wert: 2,7837	F04/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,2000 T-Wert: 6,8191
F02/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,9429 AM2: 1,9714 T-Wert: 9,9952	F04/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 1,8889 T-Wert: 8,3588
F02/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,4000 T-Wert: 6,9346	F04/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,5111 T-Wert: 4,8905
F02/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,7111 T-Wert: 6,0829	F04/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,3555
F02/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,0444 T-Wert: 8,9670	F04/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,4773 AM2: 2,2955 T-Wert: 5,2264
F02/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,4667 T-Wert: 8,5975	F04/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,4773 AM2: 2,2727 T-Wert: 5,3097
F02/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,1111 T-Wert: 9,5014	F04/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 1,8667 T-Wert: 8,7455
F02/A38,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 3,3778 T-Wert: 2,7425	F04/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,4773 AM2: 2,5909 T-Wert: 4,3596
F02/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,2000 T-Wert: 9,0352	F04/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2 T-Wert: 7,7577
F02/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,8889 AM2: 2,9333 T-Wert: 4,2063	F04/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,0667 T-Wert: 7,2196
		F04/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,8222 T-Wert: 2,6521
		F04/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,4667 AM2: 2,9111 T-Wert: 2,5609
		F05/F06,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 1,8913 T-Wert: 7,2315



F05/F07,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,0217 T-Wert: 6,9385	F09/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,0356
F05/F08,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,2609 T-Wert: 6,3169	F09/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,4222 T-Wert: 5,0674
F05/F10,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,7609 T-Wert: 2,7770	F09/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,7273 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,5137
F05/F11,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,3913 T-Wert: 4,3644	F09/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,8537 AM2: 1,9024 T-Wert: 8,7314
F05/F14,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,1739 T-Wert: 5,4943	F09/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,6444 T-Wert: 4,9805
F05/F15,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,2391 T-Wert: 4,2528	F09/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,8000 AM2: 1,9714 T-Wert: 7,7131
F05/F18,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,1304 T-Wert: 5,3496	F09/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,4000 T-Wert: 5,7792
F05/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,7391 T-Wert: 2,7444	F09/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,1111 T-Wert: 4,6904
F05/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 1,6087 T-Wert: 8,5231	F09/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,0444 T-Wert: 7,3333
F05/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 1,8696 T-Wert: 6,5883	F09/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,4667 T-Wert: 6,3519
F05/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 1,9130 T-Wert: 6,3326	F09/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,1111 T-Wert: 8,7455
F05/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,2826 T-Wert: 4,8525	F09/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,2000 T-Wert: 7,8772
F05/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,3808	F09/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,8889 T-Wert: 10,6594
F05/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 1,8889 T-Wert: 6,2900	F09/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,5111 T-Wert: 5,8594
F05/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,4444 T-Wert: 3,9500	F09/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,8729
F05/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,4286	F09/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,7045 AM2: 2,2955 T-Wert: 6,3644
F05/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,4667 T-Wert: 3,5768	F09/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 3,0667 T-Wert: 3,2043
F05/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2 T-Wert: 7,7336	F09/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,7273 AM2: 2,2727 T-Wert: 5,8861
F05/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,7333 T-Wert: 2,6653	F09/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 1,8667 T-Wert: 11,0530
F05/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,4000 T-Wert: 3,9763	F09/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,7045 AM2: 2,5909 T-Wert: 6,0605
F05/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,3333 T-Wert: 4,9685	F09/A55,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 3,2222 T-Wert: 2,6232
F05/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,3111 AM2: 2,2667 T-Wert: 4,7935	F09/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2 T-Wert: 8,3528
F05/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,2174 T-Wert: 5,3325	F09/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,0667 T-Wert: 8,8854
F05/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,3261 T-Wert: 3,6921	F09/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,8222 T-Wert: 3,5345
F05/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,9210	F09/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,3685
F05/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8444 T-Wert: 7,5523	F10/F14,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 2,1739 T-Wert: 3,1763
F05/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,0227 T-Wert: 5,4657	F10/F18,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 2,1304 T-Wert: 2,9150
F05/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2444 T-Wert: 5,5087	F10/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 1,6087 T-Wert: 6,6972
F05/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,9556 T-Wert: 4,9078	F10/F23,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 1,8696 T-Wert: 5,1584
F05/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5556 T-Wert: 3,4260	F10/F24,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 1,9130 T-Wert: 5,0124
F05/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,3636 AM2: 2,6591 T-Wert: 3,4945	F10/F33,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 1,8889 T-Wert: 4,3074
F05/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4222 T-Wert: 4,4921	F10/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2 T-Wert: 4,6667
F05/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,2955 AM2: 2,0227 T-Wert: 5,8766	F10/A43,Paarsätze: 46	AM1: 2,7609 AM2: 2,2174 T-Wert: 2,7444
F05/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,3659 AM2: 1,9024 T-Wert: 5,9072	F10/A45,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 1,8444 T-Wert: 5,1788
F05/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,6444 T-Wert: 4,1385	F10/A47,Paarsätze: 44	AM1: 2,7955 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,7119
F05/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,4286 AM2: 1,9714 T-Wert: 7,1004	F10/A49,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,2444 T-Wert: 2,9839
F05/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4000 T-Wert: 4,1315	F10/A50,Paarsätze: 44	AM1: 2,8000 AM2: 1,9556 T-Wert: 3,6450
F05/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,7111 T-Wert: 3,5176	F10/A51,Paarsätze: 45	AM1: 2,7955 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,8183
F05/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,0444 T-Wert: 6,0715	F10/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,7805 AM2: 1,9024 T-Wert: 4,4465
F05/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4667 T-Wert: 4,5841	F10/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,8571 AM2: 1,9714 T-Wert: 4,4623
F05/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,1111 T-Wert: 5,3838	F10/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,0444 T-Wert: 4,2808
F05/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2000 T-Wert: 6,0831	F10/A61,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,1111 T-Wert: 3,6321
F05/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8889 T-Wert: 6,7327	F10/A62,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,2000 T-Wert: 3,6332
F05/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5111 T-Wert: 3,8881	F10/A63,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 1,8889 T-Wert: 5,2801
F05/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,6583	F10/A64,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,2667 T-Wert: 2,7428
F05/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,2955 T-Wert: 5,1597	F10/A65,Paarsätze: 44	AM1: 2,7955 AM2: 2,2955 T-Wert: 2,8477
F05/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,4379	F10/A66,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 1,8667 T-Wert: 5,0246
F05/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8667 T-Wert: 6,9914	F10/A67,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2 T-Wert: 3,7695
F05/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,3182 AM2: 2,5909 T-Wert: 2,8462	F10/A68,Paarsätze: 45	AM1: 2,8000 AM2: 2,0667 T-Wert: 4,3588
F05/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2 T-Wert: 5,6452	F11/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,3913 AM2: 1,6087 T-Wert: 4,8002
F05/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,0667 T-Wert: 7,0329	F11/F23,Paarsätze: 46	AM1: 2,3913 AM2: 1,8696 T-Wert: 3,2105
F08/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,2609 AM2: 1,6087 T-Wert: 3,4483	F11/F24,Paarsätze: 46	AM1: 2,3913 AM2: 1,9130 T-Wert: 2,8387
F08/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,2889 AM2: 1,8444 T-Wert: 2,5016	F11/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,3778 AM2: 1,8444 T-Wert: 2,6708
F09/F10,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,7609 T-Wert: 4,3062	F11/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,4571 AM2: 1,9714 T-Wert: 2,5260
F09/F11,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,3913 T-Wert: 5,7392	F11/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,3778 AM2: 1,8889 T-Wert: 2,7487
F09/F14,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,1739 T-Wert: 7,7941	F11/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,3778 AM2: 1,8667 T-Wert: 3,0820
F09/F15,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,2391 T-Wert: 5,8461	F12/F14,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,1556 T-Wert: 5,3860
F09/F18,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,1304 T-Wert: 6,4351	F12/F15,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2444 T-Wert: 4,7997
F09/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,7391 T-Wert: 4,9535	F12/F18,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,1556 T-Wert: 4,4343
F09/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 1,6087 T-Wert: 10,3255	F12/F20,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,7556 T-Wert: 2,5815
F09/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 1,8696 T-Wert: 12,0101	F12/F22,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,5778 T-Wert: 7,5631
F09/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 1,9130 T-Wert: 8,3200	F12/F23,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8667 T-Wert: 8,2491
F09/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,8444 T-Wert: 4,0376	F12/F24,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,9333 T-Wert: 6,2610
F09/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,2826 T-Wert: 7,4403	F12/F27,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2889 T-Wert: 5,2745
F09/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,6889 AM2: 2,5870 T-Wert: 4,9592	F12/F30,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5556 T-Wert: 3,1534
F09/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 3,1111 T-Wert: 2,5815	F12/F33,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 1,9091 T-Wert: 7,0257
F09/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 1,8889 T-Wert: 8,4814	F12/F36,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,4318 T-Wert: 4,1757
F09/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,4444 T-Wert: 5,5794	F12/F37,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,6818 T-Wert: 2,7542
F09/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,0104	F12/F40,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,4773 T-Wert: 3,7289
F09/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,7389	F12/F42,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2 T-Wert: 6,0816
F09/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,6135	F12/F44,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,7273 T-Wert: 2,6596
F09/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2 T-Wert: 7,5984	F12/F46,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,3864 T-Wert: 4,1481
F09/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,4341	F12/F47,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,2955 T-Wert: 4,5903
F09/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,4000 T-Wert: 7,6300	F12/F48,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,2501
F09/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,4835	F12/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2444 T-Wert: 4,7061
F09/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6889 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,7370	F12/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,3333 T-Wert: 4,5383
F09/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 3,1957 T-Wert: 2,6336	F12/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5778 T-Wert: 3,1370
F09/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,8913 T-Wert: 3,9945	F12/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 1,8409 T-Wert: 7,7828
F09/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,2174 T-Wert: 6,8360	F12/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,3721 AM2: 1,9767 T-Wert: 5,8523
F09/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,3261 T-Wert: 6,8740	F12/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,2273 T-Wert: 4,5520
F09/F56,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 3,1304 T-Wert: 2,7974	F12/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 1,9773 T-Wert: 5,3423
F09/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,7174 AM2: 2,5870 T-Wert: 4,8676	F12/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,5455 T-Wert: 3,5476
F09/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 1,8444 T-Wert: 10,0192	F12/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,3488 AM2: 2,6512 T-Wert: 3,0053
F09/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,7045 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,1069	F12/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,3864 T-Wert: 3,9585
F09/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,1755	F12/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,4186 AM2: 2,0233 T-Wert: 6,1679
F09/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 1,9556 T-Wert: 8,3145	F12/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,3659 AM2: 1,9024 T-Wert: 5,6276
F09/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,7111 AM2: 2,5556 T-Wert: 5,4228		

F12/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,6364 T-Wert: 3,4726	F16/F49,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 3,1778 T-Wert: 4,1667
F12/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,2647 AM2: 1,9706 T-Wert: 5,8629	F16/F50,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,8667 T-Wert: 6,2051
F12/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,3636 T-Wert: 3,9983	F16/F52,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 3,4318 T-Wert: 2,5505
F12/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,6818 T-Wert: 3,1731	F16/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,2444 T-Wert: 8,4827
F12/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,0227 T-Wert: 5,4400	F16/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,3333 T-Wert: 8,5112
F12/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,4545 T-Wert: 4,1153	F16/F56,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 3,1333 T-Wert: 3,4399
F12/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,1364 T-Wert: 5,9267	F16/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,6000 T-Wert: 6,2609
F12/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,1818 T-Wert: 5,8216	F16/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 1,8409 T-Wert: 10,5476
F12/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 1,8864 T-Wert: 7,0798	F16/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 2,0233 T-Wert: 9,1803
F12/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,5000 T-Wert: 3,8416	F16/A06,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 3,2273 T-Wert: 2,9411
F12/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,4003	F16/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,2273 T-Wert: 8,2573
F12/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,3721 AM2: 2,2791 T-Wert: 4,7958	F16/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 1,9545 T-Wert: 7,8891
F12/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,3953 AM2: 2,2093 T-Wert: 4,9687	F16/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,5455 T-Wert: 5,8766
F12/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 1,8636 T-Wert: 8,0007	F16/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,8372 AM2: 2,6512 T-Wert: 6,2020
F12/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,3721 AM2: 2,5814 T-Wert: 3,4791	F16/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,4318 T-Wert: 7,3140
F12/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,0227 T-Wert: 6,8080	F16/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,7907 AM2: 1,9767 T-Wert: 9,4854
F12/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,3864 AM2: 2,0682 T-Wert: 6,3553	F16/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,8250 AM2: 1,9000 T-Wert: 9,4755
F13/F14,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,1739 T-Wert: 9,2509	F16/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,6136 T-Wert: 6,5174
F13/F15,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,2391 T-Wert: 5,3657	F16/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,9706 AM2: 1,9412 T-Wert: 11,6633
F13/F18,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,1304 T-Wert: 5,4830	F16/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,3636 T-Wert: 6,9534
F13/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,7391 T-Wert: 3,1224	F16/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,7045 T-Wert: 6,1600
F13/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 1,6087 T-Wert: 9,7168	F16/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2 T-Wert: 9,3083
F13/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 1,8696 T-Wert: 8,9310	F16/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,4545 T-Wert: 8,8216
F13/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 1,9130 T-Wert: 8,8700	F16/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,1136 T-Wert: 9,0801
F13/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,8444 T-Wert: 3,1585	F16/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,2045 T-Wert: 8,5131
F13/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,2826 T-Wert: 5,8647	F16/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,9318 T-Wert: 4,3596
F13/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,8677	F16/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 1,8864 T-Wert: 12,1432
F13/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 1,8889 T-Wert: 7,7614	F16/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,5000 T-Wert: 7,0012
F13/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,4444 T-Wert: 5,2667	F16/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,2955 T-Wert: 7,7720
F13/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,2894	F16/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 3,2023 T-Wert: 7,4438
F13/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,6897	F16/A48,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 3,0909 T-Wert: 3,4383
F13/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2 T-Wert: 7,1159	F16/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 2,2791 T-Wert: 6,1832
F13/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,4821	F16/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 1,8636 T-Wert: 10,8585
F13/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,4000 T-Wert: 5,2569	F16/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 2,5581 T-Wert: 6,7987
F13/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,3333 T-Wert: 4,7935	F16/A55,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 3,2045 T-Wert: 3,1897
F13/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,3778 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,3843	F16/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 1,9545 T-Wert: 9,2422
F13/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,8913 T-Wert: 2,8109	F16/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,0455 T-Wert: 10,5987
F13/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,2174 T-Wert: 5,8654	F16/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,7727 T-Wert: 5,1597
F13/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,3261 T-Wert: 5,0474	F16/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,8182 AM2: 2,8864 T-Wert: 4,6962
F13/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,3478 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,9703	F16/A64,Paarsätze: 42	AM1: 3,8810 AM2: 3 T-Wert: 4,0281
F13/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8444 T-Wert: 8,1104	F17/F18,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,1556 T-Wert: 7,3209
F13/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,6054	F17/F20,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,5019
F13/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2444 T-Wert: 5,4373	F17/F22,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 1,6222 T-Wert: 10,4081
F13/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,9556 T-Wert: 5,9856	F17/F23,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 1,8889 T-Wert: 10,5848
F13/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5556 T-Wert: 3,6118	F17/F24,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 1,9111 T-Wert: 8,2828
F13/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,6591 T-Wert: 3,6779	F17/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,5682 AM2: 2,8409 T-Wert: 4,1521
F13/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4222 T-Wert: 5,1060	F17/F27,Paarsätze: 44	AM1: 3,5556 AM2: 2,2667 T-Wert: 7,0210
F13/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,3182 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,1230	F17/F30,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,5556 T-Wert: 5,1149
F13/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,2927 AM2: 1,9024 T-Wert: 6,3891	F17/F33,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,8864 T-Wert: 8,0084
F13/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,6444 T-Wert: 3,6854	F17/F35,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,4545 T-Wert: 5,4071
F13/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,3429 AM2: 1,9714 T-Wert: 7,9767	F17/F37,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,7273 T-Wert: 4,7526
F13/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4000 T-Wert: 4,5131	F17/F38,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,0581
F13/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,7111 T-Wert: 3,9281	F17/F40,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,5000 T-Wert: 4,7176
F13/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,0444 T-Wert: 6,9158	F17/F42,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2 T-Wert: 8,7941
F13/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,4365	F17/F44,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,7500 T-Wert: 3,9697
F13/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,1111 T-Wert: 5,8754	F17/F46,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,4091 T-Wert: 5,5763
F13/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2000 T-Wert: 6,2727	F17/F47,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,3409 T-Wert: 5,0845
F13/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8889 T-Wert: 8,7209	F17/F48,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,2500 T-Wert: 5,0588
F13/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,5111 T-Wert: 4,5019	F17/F50,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,8889 T-Wert: 3,5060
F13/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,5007	F17/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,2222 T-Wert: 5,8667
F13/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,3182 AM2: 2,2955 T-Wert: 5,3736	F17/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,0866
F13/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,3182 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,4531	F17/F56,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 3,0889 T-Wert: 2,5048
F13/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 1,8667 T-Wert: 7,5427	F17/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,5556 AM2: 2,5778 T-Wert: 5,8023
F13/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,3409 AM2: 2,5909 T-Wert: 3,9037	F17/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,7955 T-Wert: 10,5987
F13/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2 T-Wert: 6,7295	F17/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,5814 AM2: 2,0233 T-Wert: 8,0187
F13/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,3333 AM2: 2,0667 T-Wert: 7,9782	F17/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,2045 T-Wert: 6,9017
F14/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,1739 AM2: 1,6087 T-Wert: 3,6223	F17/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,9773 T-Wert: 7,1856
F15/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,2391 AM2: 1,6087 T-Wert: 2,7992	F17/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,5227 T-Wert: 5,3766
F16/F18,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,1556 T-Wert: 7,7300	F17/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,6047 AM2: 2,6279 T-Wert: 5,2535
F16/F20,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,7556 T-Wert: 6,1206	F17/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,4318 T-Wert: 5,7916
F16/F22,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 1,5778 T-Wert: 13,1603	F17/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,5581 AM2: 2 T-Wert: 8,5485
F16/F23,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 1,8889 T-Wert: 13,0028	F17/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,5750 AM2: 1,9000 T-Wert: 7,5544
F16/F24,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 1,9333 T-Wert: 11,2637	F17/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,6364 T-Wert: 4,9026
F16/F25,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,8409 T-Wert: 6,3400	F17/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,5143 AM2: 1,9714 T-Wert: 7,3682
F16/F27,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,2889 T-Wert: 8,7686	F17/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,4091 T-Wert: 5,0376
F16/F30,Paarsätze: 45	AM1: 3,8222 AM2: 2,5778 T-Wert: 6,3519	F17/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,6818 T-Wert: 5,4767
F16/F31,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,1136 T-Wert: 3,7723	F17/A33,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,0227 T-Wert: 7,7828
F16/F33,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 1,9091 T-Wert: 10,6537	F17/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,5000 T-Wert: 7,3743
F16/F36,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4545 T-Wert: 8,2328	F17/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,0909 T-Wert: 6,6598
F16/F37,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,7500 T-Wert: 5,3938	F17/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,1591 T-Wert: 7,4225
F16/F38,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,9091 T-Wert: 5,5144	F17/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,5458
F16/F40,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4773 T-Wert: 9,0283	F17/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,8864 T-Wert: 9,3718
F16/F41,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,2045 T-Wert: 3,5273	F17/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,5000 T-Wert: 5,6201
F16/F42,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,0227 T-Wert: 9,8857	F17/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,4254
F16/F44,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,7273 T-Wert: 6,7431	F17/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,6047 AM2: 2,2558 T-Wert: 6,6872
F16/F46,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4091 T-Wert: 8,1696	F17/A48,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 3,0455 T-Wert: 2,7064
F16/F47,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,3636 T-Wert: 7,2402	F17/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,5814 AM2: 2,2558 T-Wert: 6,1692
F16/F48,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,2955 T-Wert: 8,2484		

F17/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,8636 T-Wert: 9,8689	F21/F25,Paarsätze: 45	AM1: 4,6000 AM2: 2,8444 T-Wert: 9,9465
F17/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,5581 AM2: 2,6279 T-Wert: 4,3467	F21/F26,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,5870 T-Wert: 6,4952
F17/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 1,9773 T-Wert: 7,7144	F21/F27,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,2826 T-Wert: 12,5991
F17/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,0455 T-Wert: 8,9959	F21/F28,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,7826 T-Wert: 6,0974
F17/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,8409 T-Wert: 3,0271	F21/F29,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,7391 T-Wert: 6,1944
F17/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,5682 AM2: 2,8864 T-Wert: 3,2467		
F19/F20,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,7391 T-Wert: 4,2149	F21/F30,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 9,9388
F19/F22,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 1,6087 T-Wert: 11,5918	F21/F31,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,1111 T-Wert: 8,2491
F19/F23,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 1,8696 T-Wert: 13,3872	F21/F32,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,6444 T-Wert: 4,8131
F19/F24,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 1,9130 T-Wert: 8,6343	F21/F33,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 1,8889 T-Wert: 14,8301
F19/F25,Paarsätze: 45	AM1: 3,5778 AM2: 2,8444 T-Wert: 4,4406	F21/F34,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 3,4318 T-Wert: 8,7505
F19/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,2826 T-Wert: 7,3520	F21/F35,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,8000 T-Wert: 4,5022
F19/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 5,0312	F21/F36,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4444 T-Wert: 10,6832
F19/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 3,1111 T-Wert: 2,7026	F21/F37,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,7333 T-Wert: 8,8595
F19/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 1,8889 T-Wert: 9,4743	F21/F38,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,9111 T-Wert: 8,0983
F19/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4444 T-Wert: 6,3511	F21/F39,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 3,3636 T-Wert: 6,6231
F19/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,2066	F21/F40,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4667 T-Wert: 10,9134
F19/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,7601	F21/F41,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,2444 T-Wert: 9,0525
F19/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,8357	F21/F42,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2 T-Wert: 12,9275
F19/F41,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 3,2444 T-Wert: 2,6094	F21/F43,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,6444 T-Wert: 6,4292
F19/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2 T-Wert: 8,6193	F21/F44,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,7333 T-Wert: 8,9670
F19/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,4733	F21/F45,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 3,9091 T-Wert: 4,0126
F19/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4000 T-Wert: 7,4736	F21/F46,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4000 T-Wert: 12,7392
F19/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,9370	F21/F47,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,3333 T-Wert: 9,0792
F19/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,6281	F21/F48,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,2667 T-Wert: 9,4561
F19/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 3,1957 T-Wert: 2,6262	F21/F49,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,1957 T-Wert: 8,0191
F19/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,8913 T-Wert: 3,8609	F21/F50,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,8913 T-Wert: 9,0089
F19/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,2174 T-Wert: 7,3288	F21/F51,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,2826 T-Wert: 6,3389
F19/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,3261 T-Wert: 6,3889	F21/F52,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,4444 T-Wert: 6,4811
F19/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 5,0312	F21/F53,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,2174 T-Wert: 11,5850
F19/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8444 T-Wert: 12,1662	F21/F54,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,8444 T-Wert: 4,2813
F19/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 8,0142	F21/F55,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,3261 T-Wert: 10,4454
F19/A06,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 3,2444 T-Wert: 6,2708	F21/F56,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 3,1304 T-Wert: 7,4494
F19/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2444 T-Wert: 7,3245	F21/F57,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 10,7571
F19/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,9556 T-Wert: 9,0225	F21/F59,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 4,0435 T-Wert: 4,8514
F19/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,5556 T-Wert: 6,0389	F21/A02,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,9778 T-Wert: 3,3314
F19/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,5903	F21/A03,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 1,8444 T-Wert: 17,9683
F19/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4222 T-Wert: 5,7731	F21/A04,Paarsätze: 44	AM1: 4,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 14,9184
F19/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,0227 T-Wert: 10,2393	F21/A05,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,8889 T-Wert: 3,4851
F19/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,6585 AM2: 1,9024 T-Wert: 9,2586	F21/A06,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,2444 T-Wert: 9,5170
F19/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,6444 T-Wert: 5,4319	F21/A07,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,2444 T-Wert: 12,4502
F19/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,5143 AM2: 1,9714 T-Wert: 8,9070	F21/A08,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 1,9556 T-Wert: 13,5432
F19/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4000 T-Wert: 6,0887	F21/A10,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 3,7500 T-Wert: 4,0212
F19/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,7111 T-Wert: 5,5067	F21/A11,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,5556 T-Wert: 11,3945
F19/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,0444 T-Wert: 8,9023	F21/A12,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 4,0889 T-Wert: 2,7049
F19/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4667 T-Wert: 7,1093	F21/A13,Paarsätze: 44	AM1: 4,5909 AM2: 2,6591 T-Wert: 11,8917
F19/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,1111 T-Wert: 7,6547	F21/A14,Paarsätze: 44	AM1: 4,5909 AM2: 4,1591 T-Wert: 2,9071
F19/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2000 T-Wert: 8,0333	F21/A15,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,3333 T-Wert: 5,6383
F19/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,9333 T-Wert: 3,3213	F21/A17,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4222 T-Wert: 11,6824
F19/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8889 T-Wert: 10,5174	F21/A19,Paarsätze: 44	AM1: 4,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 16,8809
F19/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,5111 T-Wert: 6,9411	F21/A21,Paarsätze: 41	AM1: 4,6341 AM2: 1,9024 T-Wert: 13,6533
F19/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2667 T-Wert: 6,7295	F21/A23,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,9111 T-Wert: 4,8889
F19/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,2955 T-Wert: 6,9009	F21/A24,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,6444 T-Wert: 10,9096
F19/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 3,0667 T-Wert: 2,6708	F21/A25,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,3333 T-Wert: 6,3519
F19/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,4511	F21/A26,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,5556 T-Wert: 6,4269
F19/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8667 T-Wert: 11,6577	F21/A27,Paarsätze: 35	AM1: 4,5429 AM2: 1,9714 T-Wert: 14,4571
F19/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,5909 T-Wert: 5,4557	F21/A28,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4000 T-Wert: 10,8098
F19/A55,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 3,2222 T-Wert: 2,7484	F21/A29,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 4,0444 T-Wert: 3,2173
F19/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2 T-Wert: 9,3411	F21/A30,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,7111 T-Wert: 11,7095
F19/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,0667 T-Wert: 9,4288	F21/A31,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,0444 T-Wert: 13,5975
F19/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,8222 T-Wert: 3,6527	F21/A32,Paarsätze: 4	AM1: 5 AM2: 2,7500 T-Wert: 4,0704
F19/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,4399	F21/A34,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,4667 T-Wert: 13,9333
F19/A64,Paarsätze: 43	AM1: 3,6047 AM2: 3,0233 T-Wert: 2,7925	F21/A35,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,8000 T-Wert: 3,8315
F20/F22,Paarsätze: 46	AM1: 2,7391 AM2: 1,6087 T-Wert: 5,5105	F21/A36,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,1111 T-Wert: 15,1680
F20/F23,Paarsätze: 46	AM1: 2,7391 AM2: 1,8696 T-Wert: 5,1731	F21/A37,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 3,6364 T-Wert: 5,6220
F20/F24,Paarsätze: 46	AM1: 2,7391 AM2: 1,9130 T-Wert: 4,6981	F21/A38,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,3778 T-Wert: 6,4409
F20/F27,Paarsätze: 46	AM1: 2,7391 AM2: 2,2826 T-Wert: 2,5400	F21/A39,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,2000 T-Wert: 16,0337
F20/F33,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 1,8889 T-Wert: 3,8013	F21/A40,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,9333 T-Wert: 8,6290
F20/F42,Paarsätze: 45	AM1: 2,7111 AM2: 2 T-Wert: 4,9946	F21/A42,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 1,8889 T-Wert: 19,8166
F20/F53,Paarsätze: 46	AM1: 2,7391 AM2: 2,2174 T-Wert: 2,5697	F21/A43,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,5111 T-Wert: 13,0171
F20/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 1,8444 T-Wert: 5,4490	F21/A44,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,9333 T-Wert: 4,1667
F20/A04,Paarsätze: 44	AM1: 2,7727 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,2536	F21/A45,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,2667 T-Wert: 10,6223
F20/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 1,9556 T-Wert: 3,3223	F21/A46,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,9556 T-Wert: 3,7757
F20/A19,Paarsätze: 44	AM1: 2,7955 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,5887	F21/A47,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 2,2955 T-Wert: 13,5458
F20/A21,Paarsätze: 41	AM1: 2,8049 AM2: 1,9024 T-Wert: 4,1513	F21/A48,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,0667 T-Wert: 7,2874
F20/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,8857 AM2: 1,9714 T-Wert: 3,9244	F21/A49,Paarsätze: 44	AM1: 4,5909 AM2: 3,6591 T-Wert: 4,5723
F20/A31,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2,0444 T-Wert: 3,5896	F21/A50,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,5778 T-Wert: 5,5000
F20/A36,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2,1111 T-Wert: 3,5572	F21/A51,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 2,2727 T-Wert: 11,3854
F20/A39,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2,2000 T-Wert: 3,1538	F21/A52,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 1,8667 T-Wert: 19,5465
F20/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 1,8889 T-Wert: 4,7981	F21/A53,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,9778 T-Wert: 3,5663
F20/A45,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2,2667 T-Wert: 3,0257	F21/A54,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 2,5909 T-Wert: 11,0711
F20/A47,Paarsätze: 44	AM1: 2,8182 AM2: 2,2955 T-Wert: 2,7885	F21/A55,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 3,2222 T-Wert: 8,4089
F20/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 1,8667 T-Wert: 5,1909	F21/A57,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2 T-Wert: 17,7184
F20/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2 T-Wert: 3,6951	F21/A58,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 4 T-Wert: 4,1806
F20/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,7778 AM2: 2,0667 T-Wert: 3,9981	F21/A59,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,0667 T-Wert: 19,1628
F21/F22,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 1,6087 T-Wert: 17,1628	F21/A60,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,8222 T-Wert: 8,3145
F21/F23,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 1,8696 T-Wert: 21,1823	F21/A61,Paarsätze: 42	AM1: 4,5476 AM2: 3,9048 T-Wert: 3,5987
F21/F24,Paarsätze: 46	AM1: 4,5870 AM2: 1,9130 T-Wert: 14,5800	F21/A62,Paarsätze: 45	AM1: 4,5778 AM2: 2,9111 T-Wert: 8,6424

F21/A63,Paarsätze: 44	AM1: 4,5682 AM2: 4,0909 T-Wert: 2,8744	F28/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4000 T-Wert: 11,0995
F21/A64,Paarsätze: 43	AM1: 4,5581 AM2: 3,0233 T-Wert: 7,0047	F28/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,3333 T-Wert: 8,6859
F21/A65,Paarsätze: 43	AM1: 4,5581 AM2: 3,5814 T-Wert: 4,8022	F28/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,2667 T-Wert: 8,3554
F25/F27,Paarsätze: 45	AM1: 2,8444 AM2: 2,2889 T-Wert: 3,5614	F28/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 3,1957 T-Wert: 4,7323
F25/F33,Paarsätze: 44	AM1: 2,8636 AM2: 1,9091 T-Wert: 4,5916	F28/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 2,8913 T-Wert: 6,8329
F25/F42,Paarsätze: 44	AM1: 2,8636 AM2: 2 T-Wert: 5,0923	F28/F52,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,4444 T-Wert: 2,6708
F25/F47,Paarsätze: 44	AM1: 2,8636 AM2: 2,3409 T-Wert: 2,5619	F28/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 2,2174 T-Wert: 9,4713
F25/F48,Paarsätze: 44	AM1: 2,8636 AM2: 2,2955 T-Wert: 2,5927	F28/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,7778 AM2: 2,3261 T-Wert: 8,5033
F25/F53,Paarsätze: 45	AM1: 2,8444 AM2: 2,2222 T-Wert: 3,1702	F28/F56,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 3,1304 T-Wert: 3,7751
F25/A03,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 1,8409 T-Wert: 5,3750	F28/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 2,5870 T-Wert: 9,0637
F25/A04,Paarsätze: 43	AM1: 2,8605 AM2: 2,0465 T-Wert: 3,6755	F28/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 1,8444 T-Wert: 12,4347
F25/A07,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,2727 T-Wert: 2,7524	F28/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,0227 T-Wert: 10,8332
F25/A08,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 1,9545 T-Wert: 3,8416	F28/A06,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,4905
F25/A19,Paarsätze: 43	AM1: 2,8372 AM2: 2 T-Wert: 4,4707	F28/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,2444 T-Wert: 8,6241
F25/A21,Paarsätze: 40	AM1: 2,8500 AM2: 1,8750 T-Wert: 4,4513	F28/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 1,9556 T-Wert: 9,4114
F25/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,8857 AM2: 1,9714 T-Wert: 4,6473	F28/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,5556 T-Wert: 7,4736
F25/A31,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,8723	F28/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,6591 T-Wert: 7,0276
F25/A36,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,1136 T-Wert: 3,4383	F28/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4222 T-Wert: 8,7645
F25/A39,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,2045 T-Wert: 3,4156	F28/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,0227 T-Wert: 12,4983
F25/A42,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 1,9091 T-Wert: 4,9777	F28/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,7561 AM2: 1,9024 T-Wert: 11,2912
F25/A45,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,2955 T-Wert: 2,7853	F28/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,6444 T-Wert: 7,7689
F25/A47,Paarsätze: 43	AM1: 2,8372 AM2: 2,3023 T-Wert: 2,5324	F28/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,8000 AM2: 1,9714 T-Wert: 12,9717
F25/A51,Paarsätze: 43	AM1: 2,8837 AM2: 2,2791 T-Wert: 2,5111	F28/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4000 T-Wert: 7,5438
F25/A52,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 1,8636 T-Wert: 5,2953	F28/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,7111 T-Wert: 7,9559
F25/A57,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2 T-Wert: 4,2648	F28/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,0444 T-Wert: 10,7005
F25/A59,Paarsätze: 44	AM1: 2,8409 AM2: 2,0682 T-Wert: 4,3732	F28/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4667 T-Wert: 11,3919
F26/F27,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,2826 T-Wert: 9,8182	F28/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,1111 T-Wert: 10,1695
F26/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 5,7150	F28/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,2000 T-Wert: 11,4164
F26/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 3,1111 T-Wert: 3,0820	F28/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,9333 T-Wert: 5,2593
F26/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 1,8889 T-Wert: 10,4959	F28/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 1,8889 T-Wert: 13,0686
F26/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4444 T-Wert: 7,4353	F28/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,5111 T-Wert: 9,4477
F26/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,7333 T-Wert: 5,6192	F28/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,2667 T-Wert: 10,6135
F26/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,9111 T-Wert: 4,2880	F28/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,7955 AM2: 2,2955 T-Wert: 9,8362
F26/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4667 T-Wert: 8,2577	F28/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 3,0667 T-Wert: 4,5521
F26/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2 T-Wert: 10,0365	F28/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,2727 T-Wert: 8,1262
F26/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,7333 T-Wert: 6,3079	F28/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 1,8667 T-Wert: 14,9482
F26/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,4000 T-Wert: 7,9483	F28/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,5909 T-Wert: 5,9664
F26/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,3333 T-Wert: 7,2466	F28/A55,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 3,2222 T-Wert: 3,5614
F26/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6222 AM2: 2,2667 T-Wert: 7,1131	F28/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2 T-Wert: 12,1020
F26/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 3,1957 T-Wert: 2,9783	F28/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,0667 T-Wert: 13,0578
F26/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,8913 T-Wert: 4,6287	F28/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,8222 T-Wert: 4,6456
F26/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,2174 T-Wert: 7,4347	F28/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,9111 T-Wert: 5,5505
F26/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,3261 T-Wert: 7,0447	F28/A64,Paarsätze: 43	AM1: 3,7907 AM2: 3,0233 T-Wert: 3,7552
F26/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,5870 AM2: 2,5870 T-Wert: 7,1151	F29/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 2,5870 T-Wert: 7,0599
F26/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8444 T-Wert: 10,2937	F29/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 3,1111 T-Wert: 4,3250
F26/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 9,4613	F29/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 1,8889 T-Wert: 12,4667
F26/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,9190	F29/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4444 T-Wert: 9,0525
F26/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,9556 T-Wert: 7,6995	F29/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,7333 T-Wert: 6,6393
F26/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,5556 T-Wert: 5,4962	F29/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,9111 T-Wert: 5,4365
F26/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,0563	F29/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4667 T-Wert: 9,6627
F26/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4222 T-Wert: 7,1469	F29/F41,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,4905
F26/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 10,0751	F29/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2 T-Wert: 12,1020
F26/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,5610 AM2: 1,9024 T-Wert: 9,0939	F29/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,7333 T-Wert: 7,6687
F26/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,6444 T-Wert: 5,8355	F29/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,4000 T-Wert: 8,6979
F26/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,6000 AM2: 1,9714 T-Wert: 10,0806	F29/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,3333 T-Wert: 8,4099
F26/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4000 T-Wert: 5,9330	F29/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,7778 AM2: 2,2667 T-Wert: 7,9902
F26/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,7111 T-Wert: 6,0033	F29/F49,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 3,1957 T-Wert: 4,5095
F26/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,0444 T-Wert: 8,9023	F29/F50,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 2,8913 T-Wert: 5,5105
F26/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,4667 T-Wert: 8,6545	F29/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 2,2174 T-Wert: 9,7352
F26/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,1111 T-Wert: 7,8727	F29/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 2,3261 T-Wert: 8,2677
F26/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2000 T-Wert: 8,6427	F29/F56,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 3,1304 T-Wert: 3,5083
F26/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,9333 T-Wert: 3,6667	F29/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,7391 AM2: 2,5870 T-Wert: 7,3372
F26/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8889 T-Wert: 10,3180	F29/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 1,8444 T-Wert: 11,9345
F26/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,5111 T-Wert: 6,7999	F29/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,7500 AM2: 2,0227 T-Wert: 11,1056
F26/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,2667 T-Wert: 8,4678	F29/A06,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,2718
F26/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,6364 AM2: 2,2955 T-Wert: 8,3322	F29/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,4444 T-Wert: 8,3606
F26/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 3,0667 T-Wert: 3,0499	F29/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 1,9556 T-Wert: 9,3861
F26/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,5909 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,8968	F29/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,7556 AM2: 2,5556 T-Wert: 6,7493
F26/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 1,8667 T-Wert: 11,6577	F29/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,7500 AM2: 2,6591 T-Wert: 6,9439
F26/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,5909 T-Wert: 5,0124	F29/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,7556 AM2: 2,4222 T-Wert: 8,2967
F26/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2 T-Wert: 9,3411	F29/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,7500 AM2: 2,0227 T-Wert: 11,3626
F26/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,0667 T-Wert: 10,2647	F29/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,6444 T-Wert: 7,6874
F26/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,8222 T-Wert: 3,6951	F29/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,7714 AM2: 1,9714 T-Wert: 12,5978
F26/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,6000 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,9923	F29/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,4000 T-Wert: 7,2165
F26/A64,Paarsätze: 43	AM1: 3,6047 AM2: 3,0233 T-Wert: 2,8685	F29/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,7111 T-Wert: 7,0986
F27/F33,Paarsätze: 45	AM1: 2,2889 AM2: 1,8889 T-Wert: 2,5194	F29/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,0444 T-Wert: 10,5174
F27/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,2667 AM2: 1,8667 T-Wert: 2,5727	F29/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,4667 T-Wert: 9,8358
F28/F30,Paarsätze: 46	AM1: 3,7826 AM2: 2,5870 T-Wert: 6,9906	F29/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,1111 T-Wert: 9,6422
F28/F31,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,1111 T-Wert: 4,3913	F29/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,2000 T-Wert: 9,9719
F28/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 1,8889 T-Wert: 12,1824	F29/A40,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,9333 T-Wert: 4,6482
F28/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4444 T-Wert: 9,3942	F29/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 1,8889 T-Wert: 13,4663
F28/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,7333 T-Wert: 7,3477	F29/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,5111 T-Wert: 8,2257
F28/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,9111 T-Wert: 5,8667	F29/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,2667 T-Wert: 9,5310
F28/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4667 T-Wert: 10,3709	F29/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,7500 AM2: 2,2955 T-Wert: 9,1320
F28/F41,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,5614	F29/A48,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 3,0667 T-Wert: 3,9923
F28/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2 T-Wert: 12,0499	F29/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,7500 AM2: 2,2727 T-Wert: 7,7619
F28/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,7333 T-Wert: 9,0660	F29/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 1,8667 T-Wert: 12,7570

F29/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,7500 AM2: 2,5909 T-Wert: 6,5509	F32/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,2200
F29/A55,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 3,2222 T-Wert: 3,2796	F32/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,7059 AM2: 1,9706 T-Wert: 8,3871
F29/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2 T-Wert: 10,2937	F32/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,4091 T-Wert: 5,2009
F29/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,0667 T-Wert: 11,8022	F32/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,7273 T-Wert: 4,8403
F29/A60,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,8222 T-Wert: 4,8131	F32/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,0682 T-Wert: 6,8558
F29/A62,Paarsätze: 45	AM1: 3,7556 AM2: 2,9111 T-Wert: 4,9691	F32/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,4545 T-Wert: 6,7169
F29/A64,Paarsätze: 43	AM1: 3,7907 AM2: 3,0233 T-Wert: 3,9182	F32/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,1136 T-Wert: 6,4063
F30/F33,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 1,8889 T-Wert: 3,0934	F32/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,1591 T-Wert: 7,1880
F30/F42,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 2 T-Wert: 3,4069	F32/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,5078
F30/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 1,8444 T-Wert: 4,4263	F32/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 1,8864 T-Wert: 8,4662
F30/A04,Paarsätze: 44	AM1: 2,5909 AM2: 2,0227 T-Wert: 2,9894	F32/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,5000 T-Wert: 5,0680
F30/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 1,9556 T-Wert: 2,9938	F32/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,2955 T-Wert: 5,8902
F30/A19,Paarsätze: 44	AM1: 2,6364 AM2: 2,0227 T-Wert: 3,1897	F32/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,6744 AM2: 2,3023 T-Wert: 5,6496
F30/A21,Paarsätze: 41	AM1: 2,6341 AM2: 1,9024 T-Wert: 4,0569	F32/A48,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 3,0909 T-Wert: 2,7619
F30/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,8571 AM2: 1,9714 T-Wert: 4,9148	F32/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,6744 AM2: 2,2558 T-Wert: 6,3347
F30/A31,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 2,0444 T-Wert: 3,3679	F32/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 1,8409 T-Wert: 9,4690
F30/A36,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 2,1111 T-Wert: 2,7026	F32/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,7209 AM2: 2,6047 T-Wert: 5,0433
F30/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 1,8889 T-Wert: 4,2813	F32/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 1,9545 T-Wert: 8,2665
F30/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 1,8667 T-Wert: 4,0825	F32/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,0455 T-Wert: 8,2820
F30/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 2 T-Wert: 3,0885	F32/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,8636 T-Wert: 3,9201
F30/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,6222 AM2: 2,0667 T-Wert: 3,2928	F32/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,2944
F31/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 1,8889 T-Wert: 7,2007	F32/A64,Paarsätze: 42	AM1: 3,6905 AM2: 3,0714 T-Wert: 2,5651
F31/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4444 T-Wert: 4,0678	F34/F36,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4773 T-Wert: 3,9151
F31/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,7333 T-Wert: 2,6094	F34/F37,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,7500 T-Wert: 2,6166
F31/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4667 T-Wert: 3,5922	F34/F40,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4773 T-Wert: 4,2814
F31/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2 T-Wert: 6,0900	F34/F42,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2 T-Wert: 5,9027
F31/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4000 T-Wert: 3,8736	F34/F44,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,7273 T-Wert: 2,8480
F31/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,3333 T-Wert: 4,0968	F34/F46,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4091 T-Wert: 4,8870
F31/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,2667 T-Wert: 4,1054	F34/F47,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,3636 T-Wert: 3,8710
F31/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,2444 T-Wert: 4,5192	F34/F48,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,2955 T-Wert: 4,1419
F31/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,3333 T-Wert: 3,7843	F34/F53,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,6299
F31/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,6000 T-Wert: 3,2047	F34/F55,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,3636 T-Wert: 4,2501
F31/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 1,8409 T-Wert: 6,7969	F34/F57,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,5682 T-Wert: 3,6559
F31/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,1628 AM2: 2,0465 T-Wert: 5,2281	F34/A03,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 1,8605 T-Wert: 7,4981
F31/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,5415	F34/A04,Paarsätze: 42	AM1: 3,4762 AM2: 2,0476 T-Wert: 5,9080
F31/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 1,9773 T-Wert: 5,5268	F34/A07,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,2791 T-Wert: 4,5372
F31/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,5682 T-Wert: 3,2105	F34/A08,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2 T-Wert: 6,3621
F31/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,1628 AM2: 2,6744 T-Wert: 2,8794	F34/A11,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,5814 T-Wert: 3,7851
F31/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,4091 T-Wert: 4,4616	F34/A13,Paarsätze: 42	AM1: 3,4524 AM2: 2,6667 T-Wert: 3,5778
F31/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,1395 AM2: 2,0465 T-Wert: 6,2688	F34/A17,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,3721 T-Wert: 4,5204
F31/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,1250 AM2: 1,9250 T-Wert: 5,6587	F34/A19,Paarsätze: 42	AM1: 3,4762 AM2: 2,0476 T-Wert: 7,3051
F31/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,6591 T-Wert: 2,7087	F34/A21,Paarsätze: 39	AM1: 3,5385 AM2: 1,8462 T-Wert: 7,0037
F31/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,2059 AM2: 1,9706 T-Wert: 6,9790	F34/A24,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,6512 T-Wert: 3,8838
F31/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,4091 T-Wert: 3,6933	F34/A27,Paarsätze: 33	AM1: 3,4848 AM2: 1,9697 T-Wert: 6,4651
F31/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,7273 T-Wert: 2,7144	F34/A28,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,3953 T-Wert: 4,1926
F31/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,0682 T-Wert: 6,2889	F34/A30,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,7209 T-Wert: 3,5045
<b>F31/A34,Paarsätze: 44</b>	<b>AM1: 3,1591 AM2: 2,4545 T-Wert: 4,1552</b>	F34/A31,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,0698 T-Wert: 5,7615
F31/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,1136 T-Wert: 6,1227	F34/A34,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,4651 T-Wert: 4,8694
F31/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,1591 T-Wert: 6,7989	F34/A36,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,0930 T-Wert: 6,7824
F31/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 1,8864 T-Wert: 8,7942	F34/A39,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,1395 T-Wert: 6,8874
F31/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,5000 T-Wert: 4,8686	F34/A42,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 1,8837 T-Wert: 7,7882
F31/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,2955 T-Wert: 4,8273	F34/A43,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,4884 T-Wert: 4,4799
F31/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,1163 AM2: 2,3023 T-Wert: 5,2432	F34/A45,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,3023 T-Wert: 4,3126
F31/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,2093 AM2: 2,2558 T-Wert: 4,4799	F34/A47,Paarsätze: 42	AM1: 3,4286 AM2: 2,2619 T-Wert: 5,0468
F31/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 1,8409 T-Wert: 8,2203	F34/A51,Paarsätze: 42	AM1: 3,4524 AM2: 2,2857 T-Wert: 4,2984
F31/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 1,9545 T-Wert: 8,0734	F34/A52,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 1,8605 T-Wert: 7,9123
F31/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,0455 T-Wert: 8,4086	F34/A54,Paarsätze: 42	AM1: 3,4286 AM2: 2,5952 T-Wert: 4,6567
F32/F33,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 1,8889 T-Wert: 8,7288	F34/A57,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 1,9767 T-Wert: 8,0318
F32/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,4444 T-Wert: 5,5905	F34/A59,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,0233 T-Wert: 7,7922
F32/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,1877	F34/A60,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,8372 T-Wert: 7,2029
F32/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,9111 T-Wert: 3,1519	F34/A62,Paarsätze: 43	AM1: 3,4419 AM2: 2,8837 T-Wert: 2,5190
F32/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,4667 T-Wert: 4,7194	F35/F36,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4444 T-Wert: 6,0776
F32/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2 T-Wert: 7,8801	F35/F37,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,7333 T-Wert: 3,9837
F32/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,7333 T-Wert: 4,0570	F35/F38,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,9111 T-Wert: 4,1588
F32/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,4000 T-Wert: 5,3612	F35/F40,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4667 T-Wert: 6,6427
F32/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,5093	F35/F41,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,2444 T-Wert: 3,2928
F32/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,4755	F35/F42,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2 T-Wert: 7,9519
F32/F50,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,9333 T-Wert: 3,2756	F35/F44,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,7333 T-Wert: 5,0376
F32/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,2444 T-Wert: 5,9607	F35/F46,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,4000 T-Wert: 6,8529
F32/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,0279	F35/F47,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,8140
F32/F56,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 3,1333 T-Wert: 2,8737	F35/F48,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,2667 T-Wert: 6,2320
F32/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,6444 AM2: 2,6000 T-Wert: 4,5976	F35/F49,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,2222 T-Wert: 2,8251
F32/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 1,8409 T-Wert: 9,0870	F35/F50,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,9333 T-Wert: 3,9500
F32/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,6744 AM2: 2,0465 T-Wert: 7,7393	F35/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,8067
F32/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,0399	F35/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,3333 T-Wert: 6,7575
F32/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 1,9773 T-Wert: 6,6046	F35/F56,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 3,1333 T-Wert: 3,4099
F32/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,5682 T-Wert: 4,6417	F35/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,8000 AM2: 2,6000 T-Wert: 4,8361
F32/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,6744 AM2: 2,6744 T-Wert: 4,3320	F35/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 1,8409 T-Wert: 10,6537
F32/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,6818 AM2: 2,4091 T-Wert: 5,7456	F35/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,7674 AM2: 2,0465 T-Wert: 7,6766
F32/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,6512 AM2: 2,0465 T-Wert: 7,8198	F35/A06,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 3,2500 T-Wert: 2,7465
F32/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,6750 AM2: 1,9250 T-Wert: 6,3506	F35/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,0147
		F35/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 1,9773 T-Wert: 7,3895
		F35/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,5682 T-Wert: 5,2547
		F35/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,7442 AM2: 2,6744 T-Wert: 4,8228
		F35/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,4091 T-Wert: 5,7447
		F35/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 2,0465 T-Wert: 9,7747
		F35/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,7750 AM2: 1,9250 T-Wert: 8,2169
		F35/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,7727 AM2: 2,6591 T-Wert: 5,8752



F43/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,4091 T-Wert: 6,0556	F49/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,1957 AM2: 2,5870 T-Wert: 3,2517
F43/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,7273 T-Wert: 5,3670	F49/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 1,8444 T-Wert: 7,5438
F43/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,0682 T-Wert: 8,1242	F49/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,2045 AM2: 2,0227 T-Wert: 5,8858
F43/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,4545 T-Wert: 6,3356	F49/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,0256
F43/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,1136 T-Wert: 7,3505	F49/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 1,9556 T-Wert: 5,3930
F43/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,1591 T-Wert: 8,4406	F49/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,5556 T-Wert: 3,5572
F43/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,2450	F49/A13,Paarsätze: 44	AM1: 3,2500 AM2: 2,6591 T-Wert: 3,3763
F43/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 1,8864 T-Wert: 9,2318	F49/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,4222 T-Wert: 4,5749
F43/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,5000 T-Wert: 5,7887	F49/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,2045 AM2: 2,0227 T-Wert: 6,3254
F43/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,2955 T-Wert: 5,5703	F49/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,2195 AM2: 1,9024 T-Wert: 6,6439
F43/A47,Paarsätze: 43	AM1: 3,6279 AM2: 2,3023 T-Wert: 6,8822	F49/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,6444 T-Wert: 3,5606
F43/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,5814 AM2: 2,2558 T-Wert: 6,4966	F49/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,3714 AM2: 1,9714 T-Wert: 8,6332
F43/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 1,8409 T-Wert: 9,7022	F49/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,4000 T-Wert: 4,2466
F43/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,6047 AM2: 2,6047 T-Wert: 4,8177	F49/A30,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,7111 T-Wert: 2,9274
F43/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 1,9545 T-Wert: 9,2188	F49/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,0444 T-Wert: 6,2578
F43/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,0455 T-Wert: 8,7941	F49/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,4667 T-Wert: 5,1108
F43/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,8636 T-Wert: 3,5560	F49/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,1111 T-Wert: 5,8249
F43/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,6136 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,6429	F49/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,2000 T-Wert: 5,5798
F43/A64,Paarsätze: 42	AM1: 3,6190 AM2: 3,0714 T-Wert: 2,6029	F49/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 1,8889 T-Wert: 7,4507
F44/F47,Paarsätze: 45	AM1: 2,7333 AM2: 2,3333 T-Wert: 2,9013	F49/A44,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,5111 T-Wert: 3,9981
F44/F48,Paarsätze: 45	AM1: 2,7333 AM2: 2,2667 T-Wert: 2,9274	F49/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2,2667 T-Wert: 5,2592
F44/F53,Paarsätze: 45	AM1: 2,7333 AM2: 2,2444 T-Wert: 3,1296	F49/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,2273 AM2: 2,2955 T-Wert: 4,5723
F44/A03,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 1,8409 T-Wert: 4,5415	F49/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,2500 AM2: 2,2727 T-Wert: 4,7286
F44/A04,Paarsätze: 43	AM1: 2,6977 AM2: 2,0465 T-Wert: 3,3724	F49/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 1,8667 T-Wert: 8,0933
F44/A08,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 1,9773 T-Wert: 3,5560	F49/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,2273 AM2: 2,5909 T-Wert: 2,9824
F44/A19,Paarsätze: 43	AM1: 2,6977 AM2: 2,0465 T-Wert: 3,6623	F49/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,2222 AM2: 2 T-Wert: 6,1778
F44/A21,Paarsätze: 40	AM1: 2,6750 AM2: 1,9250 T-Wert: 4,1574	F50/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,0667 T-Wert: 6,4619
F44/A27,Paarsätze: 34	AM1: 2,7353 AM2: 1,9706 T-Wert: 4,1990	F50/F53,Paarsätze: 46	AM1: 2,8913 AM2: 2,2174 T-Wert: 3,8480
F44/A31,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,0682 T-Wert: 3,8608	F50/F55,Paarsätze: 46	AM1: 2,8913 AM2: 2,3261 T-Wert: 3,3028
F44/A36,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,1136 T-Wert: 3,2872	F50/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 1,8444 T-Wert: 6,1459
F44/A39,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,1591 T-Wert: 3,4976	F50/A04,Paarsätze: 44	AM1: 2,8864 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,8273
F44/A42,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 1,8864 T-Wert: 5,3380	F50/A07,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,2444 T-Wert: 3,8476
F44/A45,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,2955 T-Wert: 2,8384	F50/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 1,9556 T-Wert: 4,3097
F44/A47,Paarsätze: 43	AM1: 2,7209 AM2: 2,3023 T-Wert: 2,5254	F50/A19,Paarsätze: 44	AM1: 2,8636 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,5964
F44/A52,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 1,8409 T-Wert: 5,7179	F50/A21,Paarsätze: 41	AM1: 2,8780 AM2: 1,9024 T-Wert: 5,5763
F44/A57,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 1,9545 T-Wert: 4,6199	F50/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,0286 AM2: 1,9714 T-Wert: 5,8395
F44/A59,Paarsätze: 44	AM1: 2,7273 AM2: 2,0455 T-Wert: 4,3442	F50/A28,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,4000 T-Wert: 2,6232
F45/F46,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,3636 T-Wert: 7,2983	F50/A31,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,0444 T-Wert: 5,1570
F45/F47,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,3182 T-Wert: 6,5038	F50/A34,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,4667 T-Wert: 2,8338
F45/F48,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,5280	F50/A36,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,1111 T-Wert: 4,0968
F45/F49,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 3,2273 T-Wert: 3,7371	F50/A39,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,2000 T-Wert: 3,8606
F45/F50,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,9091 T-Wert: 4,9986	F50/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 1,8889 T-Wert: 6,2225
F45/F51,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 3,2273 T-Wert: 2,9994	F50/A45,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,2667 T-Wert: 3,7757
F45/F53,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,2727 T-Wert: 7,2504	F50/A47,Paarsätze: 44	AM1: 2,8864 AM2: 2,2955 T-Wert: 3,3763
F45/F55,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,3409 T-Wert: 7,2380	F50/A51,Paarsätze: 44	AM1: 2,8864 AM2: 2,2727 T-Wert: 2,7445
F45/F56,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 3,1364 T-Wert: 3,8697	F50/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 1,8667 T-Wert: 6,1795
F45/F57,Paarsätze: 44	AM1: 3,9091 AM2: 2,5682 T-Wert: 5,9507	F50/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2 T-Wert: 4,4733
F45/A03,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 1,8372 T-Wert: 10,4811	F50/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,8889 AM2: 2,0667 T-Wert: 4,9893
F45/A04,Paarsätze: 42	AM1: 3,9048 AM2: 2,0476 T-Wert: 8,6692	F51/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,2174 T-Wert: 3,6678
F45/A06,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,2326 T-Wert: 3,1387	F51/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,3261 T-Wert: 3,1071
F45/A07,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,2326 T-Wert: 6,9146	F51/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,2826 AM2: 2,5870 T-Wert: 2,6869
F45/A08,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 1,9535 T-Wert: 8,1275	F51/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 1,8444 T-Wert: 5,4278
F45/A11,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,5581 T-Wert: 5,7294	F51/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,2955 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,8615
F45/A13,Paarsätze: 42	AM1: 3,9048 AM2: 2,6667 T-Wert: 5,4860	F51/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,2444 T-Wert: 3,5689
F45/A17,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,3721 T-Wert: 6,5557	F51/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 1,9556 T-Wert: 4,6114
F45/A19,Paarsätze: 42	AM1: 3,9048 AM2: 2,0238 T-Wert: 9,0631	F51/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,5556 T-Wert: 6,2026
F45/A21,Paarsätze: 39	AM1: 3,9231 AM2: 1,9231 T-Wert: 8,8348	F51/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,4222 T-Wert: 3,2677
F45/A24,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,6512 T-Wert: 6,4832	F51/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,2273 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,7056
F45/A25,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,3256 T-Wert: 3,1935	F51/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,2439 AM2: 1,9024 T-Wert: 4,2525
F45/A27,Paarsätze: 33	AM1: 3,8788 AM2: 1,9697 T-Wert: 10,0805	F51/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,6444 T-Wert: 2,5788
F45/A28,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,3953 T-Wert: 5,9793	F51/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,3429 AM2: 1,9714 T-Wert: 5,4887
F45/A30,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,6977 T-Wert: 5,7102	F51/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,4000 T-Wert: 3,2599
F45/A31,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,0698 T-Wert: 7,8811	F51/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,0444 T-Wert: 4,4752
F45/A34,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,4186 T-Wert: 8,1560	F51/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,4667 T-Wert: 3,8804
F45/A36,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,1163 T-Wert: 7,6318	F51/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,1111 T-Wert: 4,0028
F45/A38,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,3721 T-Wert: 2,9835	F51/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,2000 T-Wert: 4,3058
F45/A39,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,1395 T-Wert: 8,7682	F51/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 1,8889 T-Wert: 5,5786
F45/A40,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,8837 T-Wert: 4,2351	F51/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,5111 T-Wert: 2,8655
F45/A42,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 1,8837 T-Wert: 10,2317	F51/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,2667 T-Wert: 3,4784
F45/A43,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,4651 T-Wert: 6,8304	F51/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,2273 AM2: 2,2955 T-Wert: 3,2629
F45/A45,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,2791 T-Wert: 6,7029	F51/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,2273 AM2: 2,2727 T-Wert: 3,3085
F45/A47,Paarsätze: 42	AM1: 3,9048 AM2: 2,2619 T-Wert: 7,5476	F51/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 1,8667 T-Wert: 5,7135
F45/A48,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,0930 T-Wert: 3,6755	F51/A54,Paarsätze: 44	AM1: 3,2500 AM2: 2,5909 T-Wert: 3,0231
F45/A51,Paarsätze: 42	AM1: 3,8810 AM2: 2,2619 T-Wert: 6,3319	F51/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2 T-Wert: 4,8339
F45/A52,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 1,8372 T-Wert: 11,9644	F51/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,2444 AM2: 2,0667 T-Wert: 4,9733
F45/A54,Paarsätze: 42	AM1: 3,9286 AM2: 2,6429 T-Wert: 6,8879	F52/F53,Paarsätze: 45	AM1: 3,4444 AM2: 2,1778 T-Wert: 7,2682
F45/A55,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 3,2093 T-Wert: 3,8126	F52/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,4444 AM2: 2,3333 T-Wert: 5,5916
F45/A57,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 1,9302 T-Wert: 10,2996	F52/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,4444 AM2: 2,6000 T-Wert: 6,0345
F45/A59,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,0233 T-Wert: 10,1784	F52/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 1,8636 T-Wert: 9,4613
F45/A60,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,8605 T-Wert: 5,6788	F52/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,4186 AM2: 2,0465 T-Wert: 7,3388
F45/A62,Paarsätze: 43	AM1: 3,9070 AM2: 2,9302 T-Wert: 3,9297	F52/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,2273 T-Wert: 7,3874
F45/A64,Paarsätze: 41	AM1: 3,9268 AM2: 3,0488 T-Wert: 3,4375	F52/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 1,9318 T-Wert: 6,1221
F46/A03,Paarsätze: 44	AM1: 2,3864 AM2: 1,8409 T-Wert: 2,8674	F52/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,5455 T-Wert: 4,5415
F46/A42,Paarsätze: 44	AM1: 2,3864 AM2: 1,8864 T-Wert: 2,9533	F52/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,4884 AM2: 2,6279 T-Wert: 5,3776
F46/A52,Paarsätze: 44	AM1: 2,3864 AM2: 1,8409 T-Wert: 3,5806	F52/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4318 T-Wert: 4,9324
F47/A52,Paarsätze: 44	AM1: 2,3636 AM2: 1,8409 T-Wert: 2,8785	F52/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,4186 AM2: 2,0233 T-Wert: 7,4261
F49/F53,Paarsätze: 46	AM1: 3,1957 AM2: 2,2174 T-Wert: 5,0175	F52/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,5000 AM2: 1,9000 T-Wert: 8,3685
F49/F55,Paarsätze: 46	AM1: 3,1957 AM2: 2,3261 T-Wert: 4,3420		



F52/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,6364 T-Wert: 4,4471	F57/A27,Paarsätze: 35	AM1: 2,6857 AM2: 1,9714 T-Wert: 3,3314
F52/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,5294 AM2: 1,9412 T-Wert: 9,2313	F57/A31,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 2,0444 T-Wert: 2,7428
F52/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,3864 T-Wert: 4,6892	F57/A42,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 1,8889 T-Wert: 3,6321
F52/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,7045 T-Wert: 5,0252	F57/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 1,8667 T-Wert: 3,9981
F52/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,0455 T-Wert: 7,7987	F57/A57,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 2 T-Wert: 2,9759
F52/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4773 T-Wert: 5,9300	F57/A59,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 2,0667 T-Wert: 3,3434
F52/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,1136 T-Wert: 6,3553	F58/A02,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,9778 T-Wert: 2,6687
F52/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,1818 T-Wert: 7,1667	F58/A03,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 1,8444 T-Wert: 13,2274
F52/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,9091 T-Wert: 3,3516	F58/A04,Paarsätze: 44	AM1: 4,4545 AM2: 2,0227 T-Wert: 11,9325
F52/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 1,8636 T-Wert: 9,1095	F58/A05,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,8889 T-Wert: 2,5895
F52/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,4773 T-Wert: 5,8100	F58/A06,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,2444 T-Wert: 6,4409
F52/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,2727 T-Wert: 6,7896	F58/A07,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,2444 T-Wert: 10,2493
F52/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,2955 T-Wert: 6,5779	F58/A08,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 1,9556 T-Wert: 10,5748
F52/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,4186 AM2: 2,3023 T-Wert: 4,7259	F58/A10,Paarsätze: 44	AM1: 4,4545 AM2: 3,7500 T-Wert: 3,3629
F52/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 1,8864 T-Wert: 8,5150	F58/A11,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,5556 T-Wert: 9,5057
F52/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,4186 AM2: 2,5814 T-Wert: 3,6295	F58/A13,Paarsätze: 44	AM1: 4,5227 AM2: 2,6591 T-Wert: 9,6346
F52/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2 T-Wert: 6,9359	F58/A15,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,3333 T-Wert: 4,6520
F52/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,0682 T-Wert: 9,2502	F58/A17,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,4222 T-Wert: 10,0122
F52/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,7955 T-Wert: 2,5387	F58/A19,Paarsätze: 44	AM1: 4,4318 AM2: 2,0227 T-Wert: 11,2601
F52/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,4318 AM2: 2,9091 T-Wert: 2,7064	F58/A21,Paarsätze: 41	AM1: 4,4878 AM2: 1,9024 T-Wert: 11,7131
F54/F55,Paarsätze: 45	AM1: 3,8444 AM2: 2,3333 T-Wert: 7,1184	F58/A23,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,9111 T-Wert: 3,2173
F54/F56,Paarsätze: 45	AM1: 3,8444 AM2: 3,1333 T-Wert: 4,2880	F58/A24,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,6444 T-Wert: 9,1331
F54/F57,Paarsätze: 45	AM1: 3,8444 AM2: 2,6000 T-Wert: 6,4391	F58/A25,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,3333 T-Wert: 5,0848
F54/A03,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 1,8636 T-Wert: 10,2372	F58/A26,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,5556 T-Wert: 6,0033
F54/A04,Paarsätze: 43	AM1: 3,8372 AM2: 2,0465 T-Wert: 9,1803	F58/A27,Paarsätze: 35	AM1: 4,5429 AM2: 1,9714 T-Wert: 12,2942
F54/A06,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,2500 T-Wert: 3,2105	F58/A28,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,4000 T-Wert: 8,9108
F54/A07,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,2273 T-Wert: 7,8348	F58/A30,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,7111 T-Wert: 9,4743
F54/A08,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 1,9318 T-Wert: 8,6707	F58/A31,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,0444 T-Wert: 11,7478
F54/A11,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,5455 T-Wert: 6,3416	F58/A32,Paarsätze: 4	AM1: 4,7500 AM2: 2,7500 T-Wert: 4,2426
F54/A13,Paarsätze: 43	AM1: 3,8140 AM2: 2,6279 T-Wert: 6,2020	F58/A34,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,4667 T-Wert: 13,2742
F54/A17,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4318 T-Wert: 6,8328	F58/A35,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,8000 T-Wert: 3,0521
F54/A19,Paarsätze: 43	AM1: 3,8372 AM2: 2,0233 T-Wert: 9,6360	F58/A36,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,1111 T-Wert: 11,4785
F54/A21,Paarsätze: 40	AM1: 3,8250 AM2: 1,9000 T-Wert: 8,4587	F58/A37,Paarsätze: 44	AM1: 4,4318 AM2: 3,6364 T-Wert: 4,1130
F54/A24,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,6364 T-Wert: 6,4166	F58/A38,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,3778 T-Wert: 4,6290
F54/A25,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,3409 T-Wert: 2,7087	F58/A39,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,2000 T-Wert: 12,3145
F54/A27,Paarsätze: 34	AM1: 3,9118 AM2: 1,9412 T-Wert: 10,1599	F58/A40,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,9333 T-Wert: 7,7689
F54/A28,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,3864 T-Wert: 6,2889	F58/A42,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 1,8889 T-Wert: 14,1542
F54/A30,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,7045 T-Wert: 6,1474	F58/A43,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,5111 T-Wert: 10,1098
F54/A31,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,0455 T-Wert: 8,1764	F58/A44,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,9333 T-Wert: 2,7842
F54/A34,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4773 T-Wert: 7,4359	F58/A45,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,2667 T-Wert: 10,9500
F54/A36,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,1136 T-Wert: 8,1659	F58/A47,Paarsätze: 44	AM1: 4,4545 AM2: 2,2955 T-Wert: 10,2597
F54/A38,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,3636 T-Wert: 2,5861	F58/A48,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,0667 T-Wert: 7,9207
F54/A39,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,1818 T-Wert: 9,2188	F58/A49,Paarsätze: 44	AM1: 4,4318 AM2: 3,6591 T-Wert: 3,6755
F54/A40,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,9091 T-Wert: 4,8308	F58/A50,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,5778 T-Wert: 4,0376
F54/A42,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 1,8636 T-Wert: 11,6813	F58/A51,Paarsätze: 44	AM1: 4,4318 AM2: 2,2727 T-Wert: 8,4792
F54/A43,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,4773 T-Wert: 7,8229	F58/A52,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 1,8667 T-Wert: 13,6566
F54/A45,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,2727 T-Wert: 7,5965	F58/A53,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,9778 T-Wert: 2,9887
F54/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,2955 T-Wert: 8,0055	F58/A54,Paarsätze: 44	AM1: 4,4318 AM2: 2,5909 T-Wert: 8,2580
F54/A48,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,0909 T-Wert: 4,0875	F58/A55,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 3,2222 T-Wert: 6,9556
F54/A51,Paarsätze: 43	AM1: 3,8372 AM2: 2,3023 T-Wert: 8,4142	F58/A61,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2 T-Wert: 11,9424
F54/A52,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 1,8864 T-Wert: 11,6652	F58/A62,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,8222 T-Wert: 5,9777
F54/A54,Paarsätze: 43	AM1: 3,8372 AM2: 2,5814 T-Wert: 5,6814	F58/A64,Paarsätze: 43	AM1: 4,4524 AM2: 3,9048 T-Wert: 2,8889
F54/A55,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 3,2045 T-Wert: 2,9476	F59/A03,Paarsätze: 45	AM1: 4,4444 AM2: 2,9111 T-Wert: 6,6412
F54/A57,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2 T-Wert: 10,2291	F59/A04,Paarsätze: 44	AM1: 4,4651 AM2: 3,0233 T-Wert: 5,1438
F54/A59,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,0682 T-Wert: 9,5488	F59/A06,Paarsätze: 45	AM1: 4,6651 AM2: 3,5814 T-Wert: 5,4478
F54/A60,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,7955 T-Wert: 4,5432	F59/A07,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 1,8444 T-Wert: 11,4719
F54/A62,Paarsätze: 44	AM1: 3,8409 AM2: 2,9091 T-Wert: 4,8308	F59/A08,Paarsätze: 45	AM1: 4,0682 AM2: 2,0227 T-Wert: 8,9811
F54/A64,Paarsätze: 42	AM1: 3,8333 AM2: 2,9762 T-Wert: 3,6029	F59/A10,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,2444 T-Wert: 4,5749
F55/A52,Paarsätze: 45	AM1: 2,3556 AM2: 1,8667 T-Wert: 2,7049	F59/A11,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,2444 T-Wert: 7,9519
F56/F57,Paarsätze: 46	AM1: 3,1304 AM2: 2,5870 T-Wert: 2,6463	F59/A12,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,5556 T-Wert: 7,5523
F56/A03,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 1,8444 T-Wert: 6,8191	F59/A13,Paarsätze: 44	AM1: 4,0682 AM2: 2,6591 T-Wert: 7,3136
F56/A04,Paarsätze: 44	AM1: 3,1136 AM2: 2,0227 T-Wert: 4,9547	F59/A15,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,3333 T-Wert: 2,9402
F56/A07,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,2444 T-Wert: 4,1313	F59/A17,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,4222 T-Wert: 7,9516
F56/A08,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 1,9556 T-Wert: 4,8945	F59/A19,Paarsätze: 44	AM1: 4,0455 AM2: 2,0227 T-Wert: 10,4726
F56/A11,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,5556 T-Wert: 2,7483	F59/A21,Paarsätze: 41	AM1: 4,0732 AM2: 1,9024 T-Wert: 10,1070
F56/A17,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4222 T-Wert: 3,3964	F59/A24,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,6444 T-Wert: 7,0291
F56/A19,Paarsätze: 44	AM1: 3,1136 AM2: 2,0227 T-Wert: 5,7901	F59/A25,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,3333 T-Wert: 3,6071
F56/A21,Paarsätze: 41	AM1: 3,0732 AM2: 1,9024 T-Wert: 4,8875	F59/A26,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,5556 T-Wert: 2,5851
F56/A24,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,6444 T-Wert: 2,5829	F59/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,9714 AM2: 1,9714 T-Wert: 9,0869
F56/A27,Paarsätze: 35	AM1: 3,2286 AM2: 1,9714 T-Wert: 5,4868	F59/A28,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,4000 T-Wert: 6,8891
F56/A28,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4000 T-Wert: 3,2061	F59/A30,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,7111 T-Wert: 7,1144
F56/A31,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,0444 T-Wert: 4,8720	F59/A31,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,0444 T-Wert: 8,8893
F56/A34,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,4667 T-Wert: 3,2460	F59/A34,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,4667 T-Wert: 8,6122
F56/A36,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,1111 T-Wert: 4,8590	F59/A36,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,1111 T-Wert: 9,5829
F56/A39,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,2000 T-Wert: 4,8038	F59/A38,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,3778 T-Wert: 3,6667
F56/A42,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 1,8889 T-Wert: 6,5322	F59/A39,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,2000 T-Wert: 10,6644
F56/A43,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,5111 T-Wert: 2,7405	F59/A40,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,9333 T-Wert: 5,6662
F56/A45,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,2667 T-Wert: 4,1054	F59/A42,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 1,8889 T-Wert: 11,6824
F56/A47,Paarsätze: 44	AM1: 3,1136 AM2: 2,2955 T-Wert: 4,2494	F59/A43,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,5111 T-Wert: 8,3554
F56/A51,Paarsätze: 44	AM1: 3,1591 AM2: 2,2727 T-Wert: 3,9221	F59/A45,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,2667 T-Wert: 7,4657
F56/A52,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 1,8667 T-Wert: 6,1875	F59/A47,Paarsätze: 44	AM1: 4,0455 AM2: 2,2955 T-Wert: 8,1983
F56/A57,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2 T-Wert: 5,1985	F59/A48,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,0667 T-Wert: 4,8411
F56/A59,Paarsätze: 45	AM1: 3,1111 AM2: 2,0667 T-Wert: 5,4962	F59/A51,Paarsätze: 44	AM1: 4,0682 AM2: 2,2727 T-Wert: 8,1764
F57/A03,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 1,8444 T-Wert: 3,7817	F59/A52,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 1,8667 T-Wert: 12,9705
F57/A04,Paarsätze: 44	AM1: 2,5682 AM2: 2,0227 T-Wert: 2,5759	F59/A54,Paarsätze: 44	AM1: 4,0455 AM2: 2,5909 T-Wert: 7,1319
F57/A08,Paarsätze: 45	AM1: 2,5778 AM2: 1,9556 T-Wert: 2,5803		
F57/A19,Paarsätze: 44	AM1: 2,5682 AM2: 2,0227 T-Wert: 2,7469		
F57/A21,Paarsätze: 41	AM1: 2,6098 AM2: 1,9024 T-Wert: 3,4698		



F59/A55,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 3,2222 T-Wert: 4,5733
F59/A57,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2 T-Wert: 10,7586
F59/A59,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,0667 T-Wert: 11,7364
F59/A60,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,8222 T-Wert: 4,9553
F59/A62,Paarsätze: 45	AM1: 4,0444 AM2: 2,9111 T-Wert: 5,6755
F59/A64,Paarsätze: 43	AM1: 4,0233 AM2: 3,0233 T-Wert: 4,1184

## Faktorenanalyse zu Fragebogen 1 zum Chemieunterricht

### Erklärte Gesamtvarianz

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	11,130	18,864	18,864	11,130	18,864	18,864
2	5,135	8,703	27,567	5,135	8,703	27,567
3	4,591	7,782	35,349	4,591	7,782	35,349
4	3,533	5,989	41,338	3,533	5,989	41,338
5	2,880	4,881	46,219	2,880	4,881	46,219
6	2,789	4,728	50,947	2,789	4,728	50,947
7	2,579	4,371	55,317	2,579	4,371	55,317
8	2,466	4,180	59,498	2,466	4,180	59,498
9	2,133	3,616	63,114	2,133	3,616	63,114
10	1,921	3,257	66,370	1,921	3,257	66,370
11	1,581	2,679	69,049	1,581	2,679	69,049
12	1,493	2,531	71,580	1,493	2,531	71,580
13	1,393	2,361	73,941	1,393	2,361	73,941
14	1,366	2,315	76,256	1,366	2,315	76,256
15	1,298	2,200	78,456	1,298	2,200	78,456
16	1,148	1,945	80,402	1,148	1,945	80,402
17	1,103	1,869	82,271	1,103	1,869	82,271
18	1,023	1,734	84,005	1,023	1,734	84,005
19	,925	1,568	85,573			
20	,864	1,464	87,037			
21	,799	1,355	88,392			
22	,727	1,232	89,623			
23	,690	1,170	90,793			
24	,624	1,058	91,852			
25	,545	,924	92,776			
26	,473	,802	93,578			
27	,456	,772	94,350			
28	,405	,686	95,036			
29	,393	,666	95,703			
30	,379	,643	96,346			
31	,324	,549	96,895			
32	,266	,451	97,346			
33	,258	,438	97,784			
34	,229	,387	98,171			
35	,207	,350	98,521			
36	,158	,268	98,789			
37	,137	,233	99,022			
38	,134	,227	99,249			
39	,106	,179	99,428			
40	9,401E-02	,159	99,587			
41	8,242E-02	,140	99,727			
42	5,310E-02	9,000E-02	99,817			
43	4,794E-02	8,126E-02	99,898			
44	3,875E-02	6,569E-02	99,964			
45	2,125E-02	3,601E-02	100,000			
46	8,572E-16	1,453E-15	100,000			
47	5,242E-16	8,885E-16	100,000			
48	4,760E-16	8,067E-16	100,000			
49	3,839E-16	6,506E-16	100,000			
50	3,198E-16	5,420E-16	100,000			
51	2,068E-16	3,506E-16	100,000			
52	1,378E-16	2,335E-16	100,000			
53	2,486E-17	4,213E-17	100,000			
54	-1,22E-16	-2,061E-16	100,000			
55	-1,35E-16	-2,283E-16	100,000			
56	-2,98E-16	-5,059E-16	100,000			
57	-4,23E-16	-7,175E-16	100,000			
58	-4,94E-16	-8,373E-16	100,000			
59	-1,08E-15	-1,837E-15	100,000			

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Komponentenmatrix a

	Komponente																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VAR00001	475	.182	-.176	-.561	-.329	-.160	-6,38E-02	-4,15E-02	1,787E-02	-.142	-.193	4,222E-02	3,519E-03	-.228	4,998E-02	3,683E-02	9,551E-02	-.229
VAR00002	-324	-4,24E-02	-1,47E-03	.378	.192	.454	-5,78E-02	-.176	-.110	-.239	-4,65E-02	-6,41E-02	-.163	.229	.217	-6,50E-02	.185	.107
VAR00003	497	.198	9,497E-02	4,461E-02	-.305	-.402	7,644E-02	.304	.187	4,279E-02	6,459E-02	7,313E-02	1,010E-02	-7,49E-02	-.170	-.216	.160	.121
VAR00004	-335	1,636E-02	.370	.310	.220	6,971E-02	.296	.288	.349	8,575E-02	-.146	.154	1,368E-02	-1,16E-02	-.182	-.225	-2,05E-02	-.169
VAR00005	581	.364	-.209	-.289	-.170	-9,62E-02	-.126	-8,64E-02	2,864E-02	-.124	6,708E-02	-.124	-5,11E-02	.104	-.162	-.129	.139	.175
VAR00006	400	-1,74E-03	.241	-.452	-5,96E-02	-.160	.241	-.197	9,800E-03	-.230	8,426E-02	.108	.209	-.213	-8,78E-02	-.240	-.142	-.104
VAR00007	684	-.134	-4,08E-02	-.243	-.205	-9,76E-02	-.165	5,794E-02	8,441E-02	-.126	-.112	-2,42E-02	-.185	-.200	6,175E-02	-.282	1,300E-02	
VAR00008	694	.327	-.234	-.133	5,491E-02	-7,69E-02	-8,28E-02	.122	9,974E-02	-.125	-.125	.146	-.120	-.284	1,864E-02	.121	2,668E-02	-.127
VAR00009	-410	9,554E-03	-4,79E-02	-.284	-7,27E-02	.150	.444	.280	5,749E-03	.137	.116	.234	.151	7,867E-02	-.287	-.166	.166	6,326E-02
VAR00010	490	9,256E-02	-.445	5,020E-02	-.165	.232	-.170	-.231	-6,32E-02	.298	-9,92E-02	.298	1,973E-02	-2,00E-02	6,989E-02	-9,55E-03	-.254	4,048E-02
VAR00011	426	7,263E-02	-.344	.329	8,214E-02	-.195	-.139	-3,05E-02	2,531E-02	-.159	-.104	.239	.226	-.108	-.200	.176	7,477E-02	-2,18E-02
VAR00012	-207	-5,19E-02	.295	-.659	.162	-.120	-.260	-5,37E-02	2,793E-02	-.153	.153	3,163E-02	-.236	-6,44E-02	-8,44E-02	.138	7,477E-02	3,322E-02
VAR00013	329	.240	.119	.322	-.402	.191	-.322	.128	.255	-.183	-.130	-2,23E-02	.351	-2,22E-02	-5,14E-02	-.116E-02	-2,94E-02	-.191
VAR00014	208	6,414E-02	.225	.292	-.587	-.161	-6,59E-02	.139	.278	-3,56E-02	4,885E-02	4,486E-02	6,183E-02	.165	1,222E-02	-7,34E-02	-.143	.359
VAR00015	391	-.379	.267	-2,31E-02	.220	-4,01E-02	-.510	-.127	-1,29E-02	.242	8,210E-02	.118	.109	-5,99E-02	.114	-.186	3,602E-02	1,373E-02
VAR00016	369	-5,55E-02	1,743E-02	-3,17E-02	8,168E-02	.222	-.420	.244	3,586E-02	-.154	-2,51E-02	-1,60E-02	.416	2,205E-02	.169	.426	-8,50E-02	1,373E-02
VAR00017	6,775E-02	.575	-.236	9,889E-02	.219	.212	1,004E-02	-9,98E-02	-2,111	5,631E-02	5,645E-02	5,117E-02	.395	-.238	.112	-.221	.187	1,840E-02
VAR00018	443	.384	-.162	-.263	.299	.254	.230	.218	-3,20E-02	-.114	6,354E-02	-.329	.180	2,874E-02	-.115	-.221	-.215	7,740E-03
VAR00019	-280	.371	.337	-.237	-.157	.304	1,44	-4,02E-02	-.179	.242	7,428E-02	.240	.107	-3,37E-02	-1,95E-02	-.101	1,277E-02	6,884E-02
VAR00020	377	.203	-.347	-.219	.139	.159	3,035E-02	.478	8,668E-02	-4,84E-02	4,886E-02	-9,04E-02	4,10E-02	.127	1,89	9,840E-02	-2,74E-02	-3,31E-02
VAR00021	-568	.331	-.181	-4,71E-02	-.293	.431	6,750E-02	-.180	5,073E-02	-9,72E-02	-2,63E-02	4,486E-02	1,146E-02	.113	9,709E-02	-2,75E-02	-5,60E-02	
VAR00022	318	3,635E-02	-3,38E-02	.301	-.129	-.253	.350	-.458	-.131	.218	3,354E-02	-.101	.193	.298	-.125	1,93	2,365E-02	1,453E-02
VAR00023	-1,35E-02	4,350E-02	.218	-4,61E-02	.230	.107	3,34	.240	-4,73	-3,60	-1,58	-9,78E-02	.114	-.151	.186	.164	1,453E-02	.260
VAR00024	527	-.254	-8,34E-02	-6,40E-03	.304	.214	9,711E-02	-.246	.296	-3,50E-02	3,978E-02	-2,71E-02	9,305E-02	.350	.174	-6,28E-02	3,009E-02	-.169
VAR00025	230	.451	8,064E-02	-.108	.151	-.324	-.271	.155	.115	-.189	3,978E-02	4,529E-02	1,481E-02	.211	-.772E-02	-.164	.141	-6,22E-02
VAR00026	460	.354	.217	.376	.111	9,268E-02	-.183	-.134	-.149	.294	-1,42	4,529E-02	9,305E-02	.350	.174	-.772E-02	3,009E-02	-.169
VAR00027	348	7,748E-02	.243	-.156	.408	-.119	3,87	6,450E-03	3,73	-1,71	-5,31E-02	6,080E-02	-3,72E-02	-1,02E-02	-2,35E-02	1,58	-7,71E-02	-2,18E-03
VAR00028	437	.229	3,353E-02	.465	.294	9,315E-02	8,957E-02	-.183	.107	-1,92E-02	8,957E-02	-6,85E-02	-6,70E-02	-.254	-9,01E-02	.150	-5,77E-02	-7,75E-02
VAR00029	377	.302	.330	.111	-.272	-.244	-.447	-.176	-.236	-4,79E-02	-2,74E-02	-2,61E-02	5,338E-02	.177	6,447E-03	-5,76E-02	1,922E-02	2,767E-02
VAR00030	416	.227	-5,31E-02	4,311E-03	-9,62E-02	-.240	.212	-2,72E-02	-2,00	-.338	-.330	.350	6,09E-02	.412	6,447E-03	-5,76E-02	1,922E-02	2,767E-02
VAR00031	556	7,054E-02	3,083E-02	-4,92E-02	-.307	.431	-3,96E-02	-.262	.102	3,924E-02	-.307	.155	-.234	7,752E-02	-.119	-.510E-02	-5,10E-02	1,76
VAR00032	146	.513	.416	-.178	.151	-7,84E-02	-.114	-.239	-.120	.256	-.217	2,218E-02	1,78	9,090E-02	-.141	-.231	-6,24E-02	6,594E-02
VAR00033	322	-3,32E-02	.361	-.176	4,519E-02	.272	-9,71E-04	-.418	.461	.123	4,100E-02	-7,91E-02	.185	3,142E-02	8,461E-02	9,492E-02	4,889E-02	-6,18E-02
VAR00034	-251	.445	4,86	-9,53E-02	-.137	.334	-7,93E-02	.236	.197	7,014E-02	-.147	9,909E-02	-.131	5,697E-02	-1,12E-02	-1,21E-02	7,741E-02	5,782E-02
VAR00035	-135	.208	.795	-4,88E-02	-8,17E-02	-7,24E-02	-2,39E-02	.132	2,183E-02	-.203	-2,15E-02	2,632E-02	-6,70E-02	-.121	-5,31E-03	-6,06E-02	-.175	-9,82E-02
VAR00036	611	-.274	.264	-2,45E-03	-6,69E-02	-.132	-5,90E-02	-.140	-.114	.257	-.209	-.225	-3,04E-02	-4,69E-02	-.105	-.260	-.166	-.176
VAR00037	790	.195	-1,62	2,934E-02	-3,01E-02	.160	-5,90E-02	-.140	-8,78E-02	.243	-9,55E-02	-1,89E-02	8,839E-02	-.196	-.114	-.105	8,477E-03	8,473E-02
VAR00038	473	3,428E-02	.280	3,233E-02	.325	.263	.245	.372	.146	5,381E-02	-.267	.140	-5,20E-02	8,514E-02	.105	.167	8,727E-03	8,473E-02
VAR00039	-9,55E-02	.579	.191	.209	-.112	8,805E-02	.285	.159	-8,82E-02	-.237	.282	-6,96E-02	-7,59E-02	4,51E-02	-2,23E-03	-.229	2,29	1,82
VAR00040	460	-.294	.366	.402	-8,48E-03	.229	-6,79E-02	6,986E-02	7,742E-02	-.275	2,005E-02	-2,47E-02	3,723E-02	-.111	-9,95E-02	5,509E-02	2,36	.135
VAR00041	-137	.541	.476	-3,51E-02	-.287	-9,82E-02	1,818E-02	-.151	-3,12E-02	.191	6,933E-02	2,704E-03	-.205	-1,03E-02	1,08	4,958E-02	.183	-3,36E-02
VAR00042	.702	.284	-4,81E-02	-.338	1,894E-02	9,589E-02	.137	.108	-.218	-.101	-.139	-.154	8,388E-03	4,218E-02	-7,92E-02	-.105	-.138	3,809E-02
VAR00043	-180	.269	.562	1,44	-3,75	-9,88E-02	.143	-.286	-1,38	-.104	9,081E-02	-1,74E-02	9,282E-02	-.174	8,594E-03	.318	-.235	-9,40E-02
VAR00044	699	-317	.243	.258	.104	-2,77E-02	.158	-4,58E-02	1,36	-.186	8,718E-03	7,187E-02	-8,81E-02	5,632E-02	-8,64E-02	2,246E-02	1,80	2,853E-02
VAR00045	-201	.218	.586	.109	.171	-.205	-.210	-4,22E-02	-.462	-8,49E-02	9,081E-02	-1,74E-02	-1,12	4,955E-02	.107	.167	.130	2,853E-02
VAR00046	490	-.136	.264	.233	-2,78E-02	.341	.459	7,790E-02	8,893E-02	-.168	9,081E-02	-1,74E-02	9,282E-02	-.174	8,594E-03	.318	-.235	1,72
VAR00047	746	-.204	.171	-.126	5,613E-02	-.179	6,758E-02	1,833E-02	-.153	.131	9,001E-03	7,966E-02	-8,81E-02	5,632E-02	-8,64E-02	-4,67E-02	7,359E-02	.211
VAR00048	695	-.277	.233	-3,03E-02	-6,18E-02	-3,47E-02	-6,04E-02	.141	.109	.123	9,001E-03	7,966E-02	-1,72E-02	.311	.146	.104	7,359E-02	.211
VAR00049	.270	.431	5,088E-02	2,754E-02	.327	-.139	6,705E-03	7,121E-02	-.174	.413	9,000E-02	.250	-1,72E-02	.168	-.287	.167	.130	2,853E-02
VAR00050	568	-3,42E-02	1,528E-02	.329	-.304	-3,65E-02	.310	6,648E-02	-.237	.108	9,000E-02	.250	1,709E-02	-.141	6,465E-02	2,246E-02	7,359E-02	1,72
VAR00051	-347	.391	-.286	.299	2,175E-02	3,771E-02	-.202	.188	6,428E-03	.265	-.187	-.325	1,709E-02	-.164	-2,24E-02	-3,97E-02	2,86	-2,57E-02
VAR00052	.540	.364	-.153	.268	-.247	-.139	7,790E-02	8,893E-02	.156	.168	9,000E-02	.250	1,709E-02	-.141	6,465E-02	2,246E-02	7,359E-02	1,72
VAR00053	490	-.240	.121	-.238	-.211	-.126	9,262E-02	7,401E-02	-.285	2,279E-02	.176	-.327	9,114E-02	.236	-1,66	4,356E-02	9,763E-02	-9,78E-02
VAR00054	4,947E-02	.138	2,160E-02	3,630E-02	.397	-.462	-4,85E-03											

### **3.10      Faktorenanalyse zu Fragebogen 2 zum Chemieunterricht**

*at men*  
*At men*

**Total Variance Explained**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	16,071	25,922	25,922	16,071	25,922	25,922
2	4,854	7,829	33,751	4,854	7,829	33,751
3	3,730	6,017	39,768	3,730	6,017	39,768
4	3,115	5,024	44,792	3,115	5,024	44,792
5	2,717	4,382	49,174	2,717	4,382	49,174
6	2,535	4,089	53,263	2,535	4,089	53,263
7	2,351	3,793	57,055	2,351	3,793	57,055
8	2,197	3,544	60,599	2,197	3,544	60,599
9	1,958	3,159	63,758	1,958	3,159	63,758
10	1,828	2,948	66,706	1,828	2,948	66,706
11	1,770	2,855	69,561	1,770	2,855	69,561
12	1,594	2,571	72,132	1,594	2,571	72,132
13	1,484	2,393	74,525	1,484	2,393	74,525
14	1,339	2,160	76,685	1,339	2,160	76,685
15	1,245	2,008	78,693	1,245	2,008	78,693
16	1,232	1,987	80,680	1,232	1,987	80,680
17	1,145	1,846	82,526	1,145	1,846	82,526
18	1,034	1,667	84,194	1,034	1,667	84,194
19	,994	1,603	85,797			
20	,893	1,441	87,238			
21	,844	1,361	88,598			
22	,753	1,215	89,814			
23	,665	1,073	90,887			
24	,573	,924	91,811			
25	,536	,865	92,676			
26	,498	,804	93,480			
27	,451	,727	94,207			
28	,440	,710	94,917			
29	,394	,636	95,553			
30	,368	,594	96,147			
31	,340	,548	96,695			
32	,329	,531	97,226			
33	,303	,489	97,715			
34	,246	,397	98,112			
35	,195	,314	98,427			
36	,181	,293	98,719			
37	,166	,267	98,986			
38	,162	,261	99,248			
39	,125	,201	99,448			
40	,108	,175	99,623			
41	6,805E-02	,110	99,733			
42	5,845E-02	9,427E-02	99,827			
43	5,214E-02	8,409E-02	99,911			
44	4,190E-02	6,758E-02	99,979			
45	1,310E-02	2,112E-02	100,000			
46	1,268E-15	2,045E-15	100,000			
47	7,127E-16	1,149E-15	100,000			
48	5,534E-16	8,926E-16	100,000			
49	4,075E-16	6,573E-16	100,000			
50	3,007E-16	4,850E-16	100,000			
51	2,344E-16	3,781E-16	100,000			
52	1,756E-16	2,833E-16	100,000			
53	1,187E-16	1,914E-16	100,000			
54	5,025E-17	8,105E-17	100,000			

Component Matrix<sup>a</sup>

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
VAR00001								
VAR00002								
VAR00003								
VAR00004								
VAR00005								
VAR00006								
VAR00007	9							
VAR00008								
VAR00009		1						
VAR00010								
VAR00011	4							
VAR00012								
VAR00013	3							
VAR00014								
VAR00015								
VAR00016								
VAR00017	1							
VAR00018								
VAR00019	10							
VAR00020								
VAR00021								
VAR00023								
VAR00024	16							
VAR00025								
VAR00026	12	5						
VAR00027								
VAR00028	7							
VAR00029								
VAR00030	2							
VAR00031	6							
VAR00032	6,170E-02							
VAR00034		7						
VAR00035								
VAR00036								
VAR00037								
VAR00038								
VAR00039	8							
VAR00040	14	3						
VAR00041	17							
VAR00042								
VAR00043	11							
VAR00044								
VAR00045								
VAR00046								
VAR00047	13							
VAR00048		6						
VAR00049								
VAR00050								
VAR00051								
VAR00052			2					
VAR00053								
VAR00054								
VAR00055	4,469E-02							
VAR00057			1					
VAR00058								
VAR00059	15							
VAR00060	-1,41E-02							
VAR00061		4						
VAR00062	5							
VAR00063								
VAR00064								
VAR00065								

#### **4. Anhang Abbildungen zu Kapitel 3.4**

**Der Lernzyklus ‚Mangel und Überfluss‘**

**B 1-6**

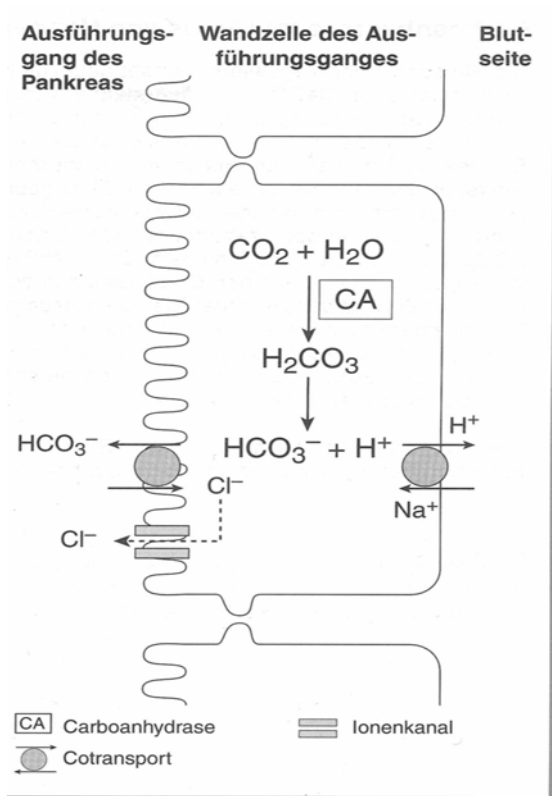


Abbildung 1: Wirkungsweise der Carboanhydrase in der Bauchspeicheldrüse (aus Rikus 1998 S.47)

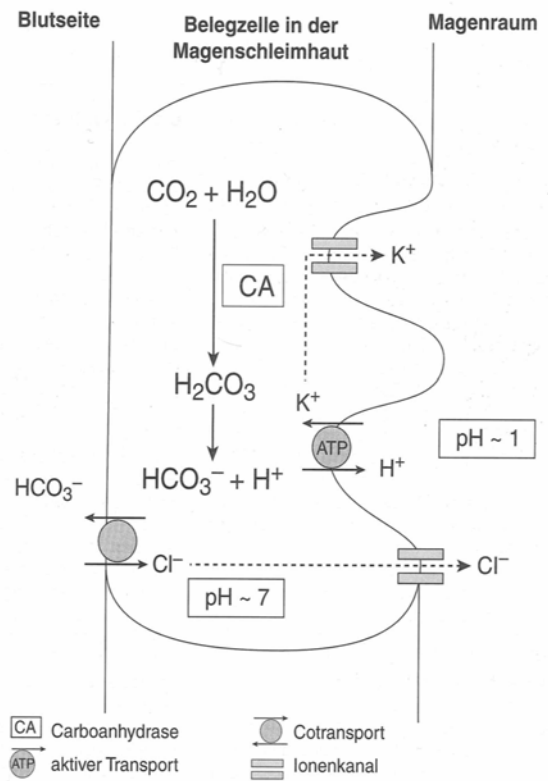


Abbildung 3: Wirkungsweise der Carboanhydrase im Magen (aus Rikus 1998 S. 46)

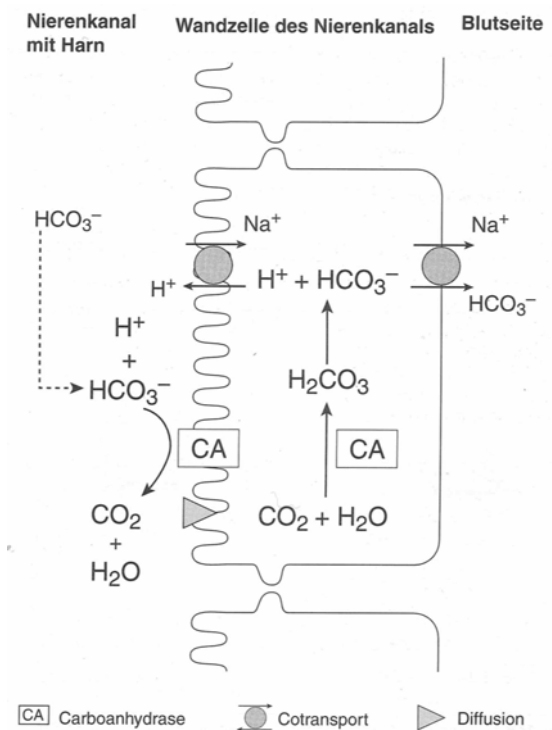


Abbildung 2: Wirkungsweise der Carboanhydrase in der Niere (aus Rikus 1998 S.46)



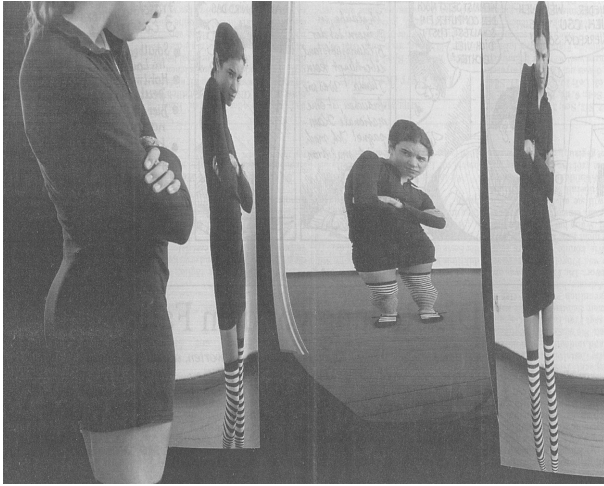


Abbildung 4: Traumgewicht - Albtraumgewicht (aus Süddeutsche Zeitung 2001 S.VII)



Abbildung 7: Ich und mein Selbstmodell (aus GEO 2003 S.71)



Abbildung 5: Tiefpunkt Traumgewicht (aus FR 2001 S.22)



Abbildung 8: Schönheitsideal von gestern (aus Luczak 1999 S.46)



Abbildung 6: Luca- Schülerin und Model (aus Stern 2002 S.306)



Abbildung 9: Magersucht (aus Luczak 1990 S.73)



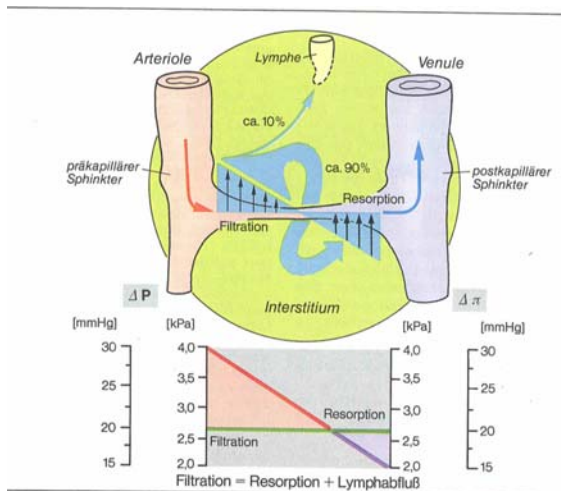


Abbildung 10: Flüssigkeitsaustausch an den Kapillaren (aus Sibernagl 1979 S. 145)

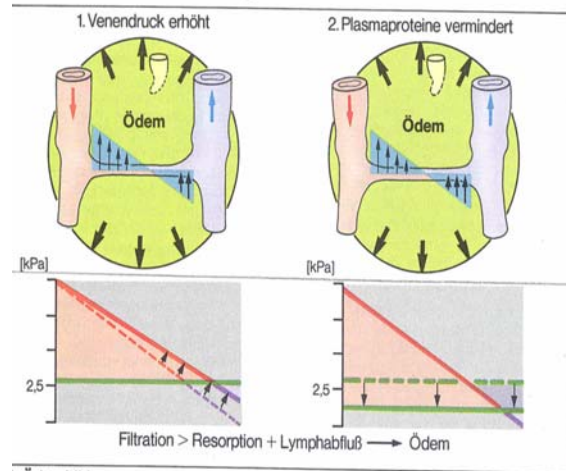


Abbildung 13: Ödembildung (aus Sibernagl 1979 S. 145)

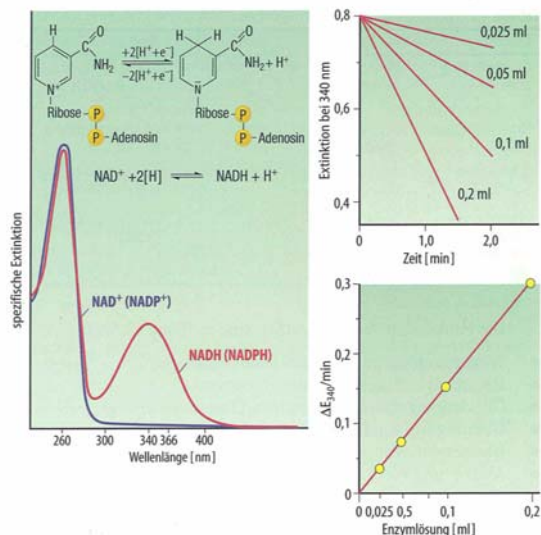


Abb.4.1 Links UV-Absorption von NADH (NADPH) bzw. NAD<sup>+</sup> (NADP<sup>+</sup>). Rechts Aktivitätsbestimmung einer NADH-abhängigen Dehydrogenase. Die Extinktion bei 340 nm fällt bei der Oxidation des reduzierten Coenzym ab und ist proportional der eingesetzten Enzymmenge

Abbildung 11: Absorption von NADH bzw. NAD<sup>+</sup> (aus Löffler 2000 S. 62)

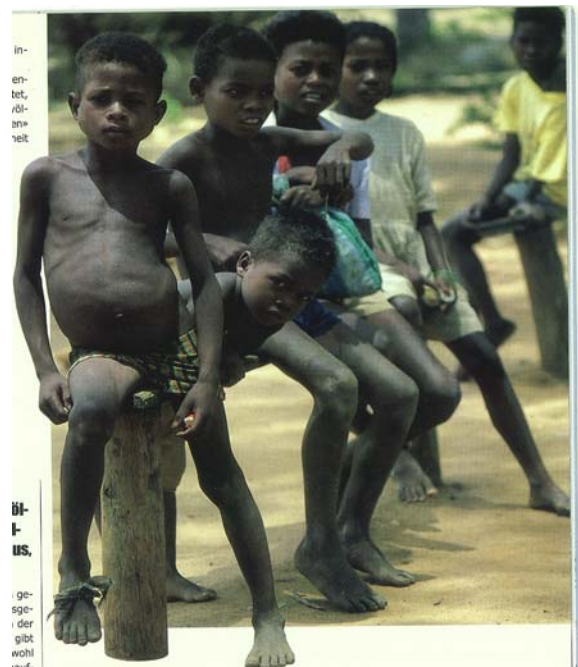


Abbildung 14: Aszites – Hungerbäuche (aus Klett 1998 S.5)

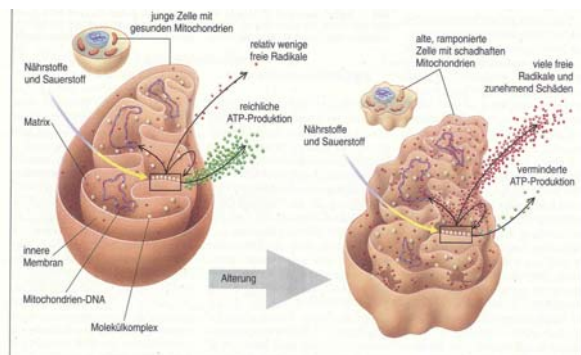


Abbildung 12: Bildung freier Radikale in den Mitochondrien (aus Weindruch 1996 S. 78)

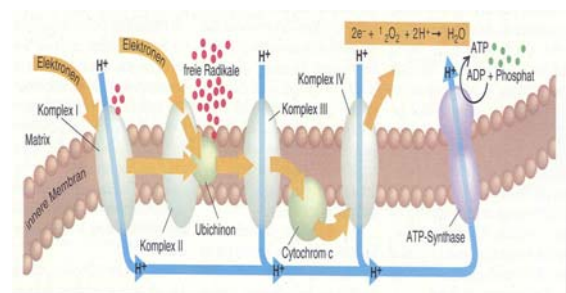


Abbildung 15: Bildung freier Radikale an der Mitochondrieninnenmembran (aus Weindruch 1999 S.78)

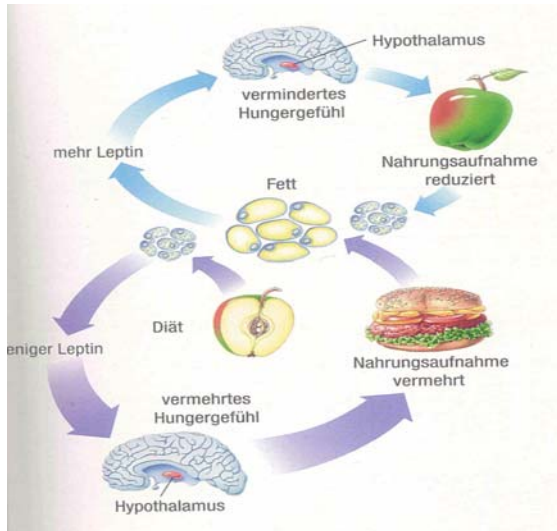


Abbildung 16: Jo-Jo –Effekt bei Diäten (aus Luczak 1999 S. 49)

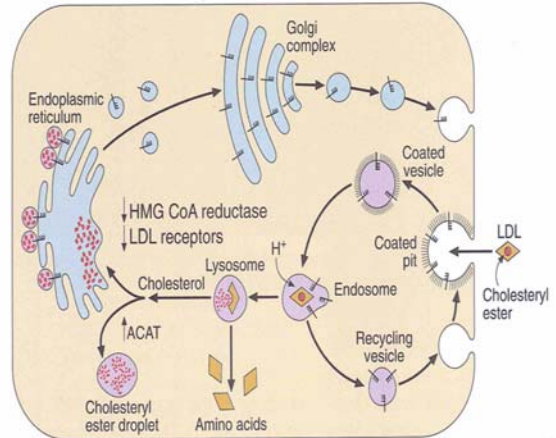


Fig. 3 The LDL receptor pathway.

Abbildung 19: Der LDL-Rezeptor (aus Gaw et al. 1999 S. 121)

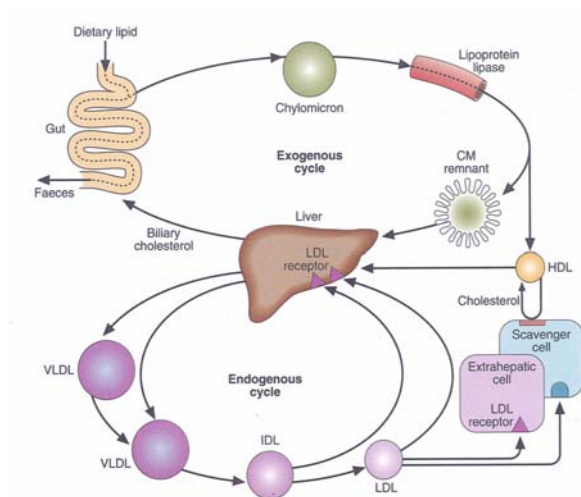


Abbildung 17: Der exogene und endogene Cholesterinkreislauf (aus Gaw et al. 1999 S. 121)

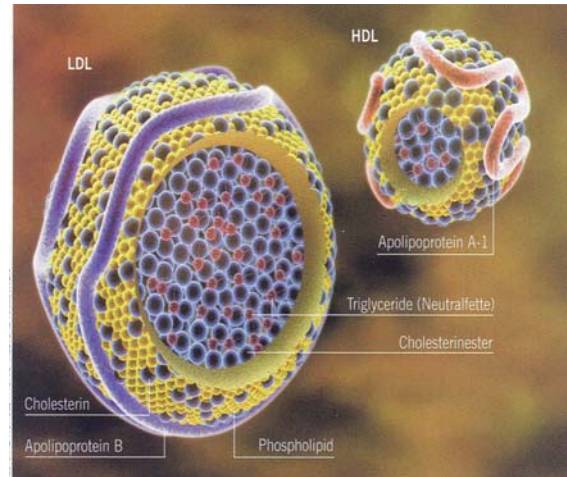


Abbildung 20: LDL- und HDL – Lipoproteine (aus Libby2002 S. 51)

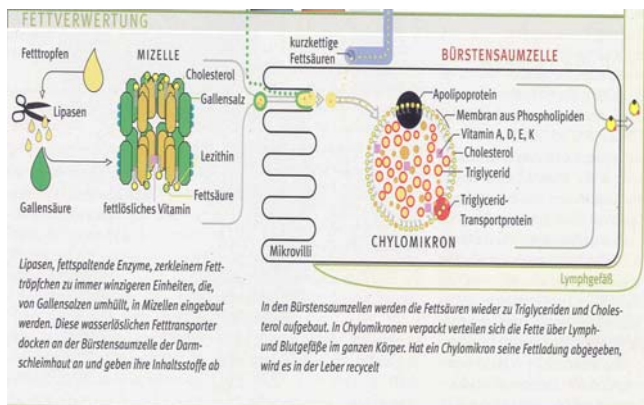


Abbildung 18: Micellen und Chylomikrone in den Bürstensaumzellen des Dünndarms (aus Stollorz 2001 S. 85)





Abbildung 21: Der Olivenbaum (aus Gasser 1998/ 99 S.13)

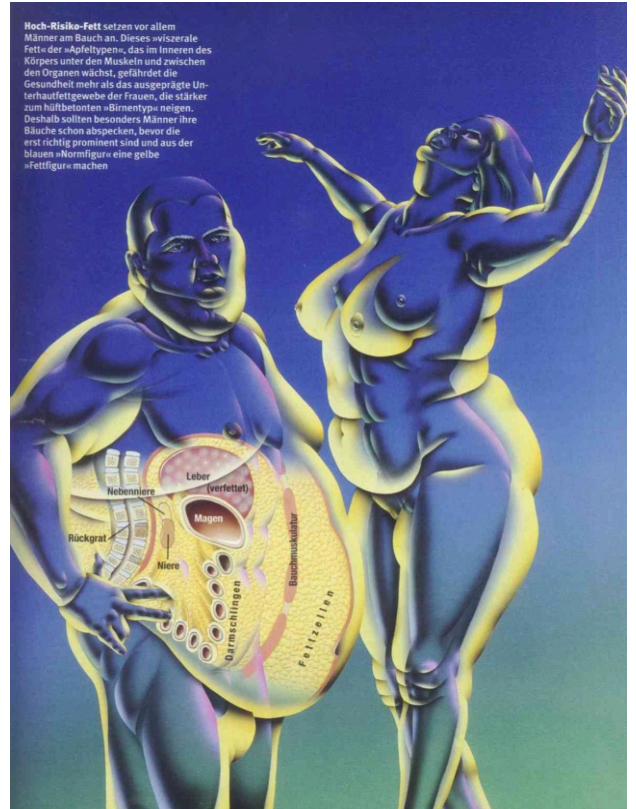


Abbildung 22: Die fette und süße Verführung aus (Luczak 1990 S.71)



Abbildung 23: Das Hoch- Risiko- Fett (aus Luczak 1999 S. 43)



Abbildung 24: Körperfett- Fluch und Segen (aus Geo 1999 Titelblatt)

## 5. Anhang Internetadressen zu den Kapiteln 3.3 und 3.4

Alle Ausdrücke der Internetadressen liegen auf einer dem Anhang beigefügten CD vor. Die Reihenfolge der Ausdrücke entspricht der Folge im Internetadressenverzeichnis.

1. Anorexia nervosa (Magersucht). [www.medicine-wordwide.de/krankheiten/psychische\\_krankheiten/anorexia.html](http://www.medicine-wordwide.de/krankheiten/psychische_krankheiten/anorexia.html) (letzter Zugriff: 27.02.2002).
2. Adipositas. [www.dr.-walser.ch/index.html?adipositas.htm](http://www.dr.-walser.ch/index.html?adipositas.htm) (letzter Zugriff: 20.06.2003)
3. Barotrauma: [www.tauchdokter.de/inausohr.html](http://www.tauchdokter.de/inausohr.html) (letzter Zugriff: 20.06.2003)
4. Barotrauma. [www.tauchdokter.de/baro.html](http://www.tauchdokter.de/baro.html) (letzter Zugriff: 20.06.2003)
5. Barotrauma des Ohrs. [www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm](http://www.cabana.net/Snoopy/barotrau.htm) (letzter Zugriff: 25.04.2000).
6. Blatzheim, U. Die Bläschenerkrankung. [www.netcologne.de/kfc/deko.htm](http://www.netcologne.de/kfc/deko.htm) (letzter Zugriff: 25.04.2000).
7. Dekompression. [Home.t-online.de/mfalldorf/mediz03.htm](http://Home.t-online.de/mfalldorf/mediz03.htm) (letzter Zugriff: 18.04.2000).
8. Fasten hungern verhungern. [amor.rz.hu-berlin.de/~h0444wkz/fasten.htm](http://amor.rz.hu-berlin.de/~h0444wkz/fasten.htm) (letzter Zugriff: 27.02.2002).
9. Frölich, J.C. Lipobay.  
[wysiwyg://42http://www.yavivo.de/Arzneim...toffwechsel/Fettstoffwechsel/Lipobay.html](http://wysiwyg://42http://www.yavivo.de/Arzneim...toffwechsel/Fettstoffwechsel/Lipobay.html)  
(letzter Zugriff: 27.09.2001).
10. HBO-Informationen für Patienten. [www.hbo.de/patinfo.htm](http://www.hbo.de/patinfo.htm) (letzter Zugriff: 24.03.2000).
11. Hoffmann, G. Tauchmedizin. [www.netcologne.de/kfc/awmf.htm](http://www.netcologne.de/kfc/awmf.htm) (letzter Zugriff: 20.06.2003).
12. Hyperventilation. [www.hyperventilation.html](http://www.hyperventilation.html) (letzter Zugriff : 20.06.2003).
13. Informationen zu Lipobay®. [www.zeiss-apotheke.de/Lipobay.htm](http://www.zeiss-apotheke.de/Lipobay.htm) (letzter Zugriff: 20.06.2003).
14. Mertens, P. Eiweißmangel im Alter birgt ungeahnte Risiken. [www.statt-zeitung.de/medizinheute/diet/focus/Eiweissmangel/eiweissmabgel.html](http://www.statt-zeitung.de/medizinheute/diet/focus/Eiweissmangel/eiweissmabgel.html) (letzter Zugriff: 23.06.2003).
15. Muggenthaler, K-H. Dekompressionskrankheit.  
[www.anr.de/anr\\_online/richtlinien/dekomp.html](http://www.anr.de/anr_online/richtlinien/dekomp.html) (25.04.2000).
16. Multilevel 1.6. Dekompression in Theorie und Praxis.  
[cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm](http://cave.lawo.de/jbohnert/multilevel/dekompression.htm) (letzter Zugriff: 23.06.2003).
17. Rachow, P. (1999). Tieftauchen – Pro und Contra (Teil I). [http://de\\_tieft.html](http://de_tieft.html) (letzter Zugriff: 22.04.2000).
18. Xenical-Was ist dran an der “Fett-weg-Pille“? (1998). <http://www.hrz.uni-giessen.de/nutriinfo/xenical.htm> (letzter Zugriff: 27.03.2001).