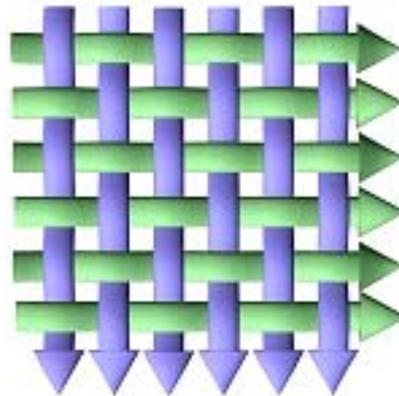


Technical Report 08005

ISSN 1612-1376

Simulativer Vergleich der SCM-Strategie Information Sharing mit konventionellen SCM-Strategien

Niklas Hering, Markus Witthaut, Gökhan Yüzgülec



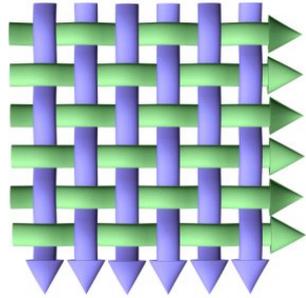
Sonderforschungsbereich 559
Modellierung großer Netze in der Logistik

Universität Dortmund
44221 Dortmund



Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer
Netze in der Logistik**



Technical Report 08005

ISSN 1612-1376

**Simulativer Vergleich der SCM-Strategie Information
Sharing mit konventionellen SCM-Strategien**

Teilprojekt A15:

Niklas Hering

Markut Witthaut

Gökhan Yüzgülec

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4

44227 Dortmund

Dortmund, 11.09.2008

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Simulationsmodell und Experimente	7
2.1	Versuchsaufbau	7
2.1.1	Netzwerk- und Produktstruktur	7
2.1.2	Simulationszeitraum	8
2.2	Experimente	8
2.2.1	Experiment Konventionelle Strategie	8
2.2.2	Experiment Information Sharing	8
2.3	Untersuchungsgegenstand	8
2.3.1	Variationsparameter	9
2.3.2	Feste Größen	9
2.3.3	Nicht-strategiebezogene Variationsparameter	10
2.3.4	Strategiebezogene Variationsparameter	10
2.4	Mächtigkeit des Modellierungsansatzes	11
2.5	Untersuchungshypothesen	11
3	Validierung des Modells	14
3.1	Allgemeines zur Verifikation und Validierung eines Modells	14
3.1.1	Verifikation	14
3.1.2	Validierung	14
3.2	Validierung des erstellten Modells	15
3.2.1	Modell- und Produktstruktur	15
3.2.2	Rahmenbedingungen des Modells	16
3.2.3	Simulationsergebnisse	16
4	Vorgehensweise bei der Modellierung und Simulation	18
4.1	Der Modellierungsprozess in der OMW	18
4.2	Experimentserien im OTD-Analyzer	19
4.3	Auslesen der Simulationsergebnisse im OTD-Analyzer	20
4.4	Aufbereiten der Simulationsergebnisse in MS-Excel	20
5	Simulationsergebnisse	23
5.1	Auswirkungen des Information Sharing auf die Bestände	23
5.2	Auswirkungen des Information Sharing auf die Auslastung	27
5.3	Auswirkungen des Information Sharing auf die Termintreue	31
5.4	Auswirkungen des Information Sharing auf alle Zielgrößen	36

6 Fazit.....40
7 Literatur.....41

Abbildungen

Abbildung 1: Netzwerk- und Produktstruktur des erstellten Modells	7
Abbildung 2: Netzwerk- und Produktstruktur des Validierungsmodells	16
Abbildung 3: Modellierungsumgebung OTD-Net	18
Abbildung 4: Experimentserien im OTD-Analyzer	19
Abbildung 5: Auslesen der Simulationsergebnisse im OTD-Analyzer	20
Abbildung 6: Speicherung der Simulationsergebnisse in MS-Excel	21
Abbildung 7: Berechnung und Darstellung der Simulationsergebnisse	22
Abbildung 8: Bestandsituation der Unternehmen mit KS	23
Abbildung 9: Bestandsituation der Unternehmen mit IS	24
Abbildung 10: Durchschnittl. Bestand BTS-Zulieferer 2 mit und ohne IS	25
Abbildung 11: Bestandssituationen BTS-Zulieferer 1 bei versch. Szenarien	27
Abbildung 12: Produktionsauslastung Werk (mit KS)	27
Abbildung 13: Produktionsauslastung Werk (mit IS)	28
Abbildung 14: Produktionsauslastung Werk Szenario EK 35 / L 98	29
Abbildung 15: Produktionsauslastung Werk Szenario EK 10 / L 98	29
Abbildung 16: Termintreue der SC bei verschiedenen Szenarien	31
Abbildung 17: Mittlere Termintreue bei versch. Bedarfsschwankungen	33
Abbildung 18: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 10	38
Abbildung 19: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 35	38
Abbildung 20: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 45	39

Tabellen

Tabelle 1: Berechnung der Einzelexperimente	11
Tabelle 2: Simulationsergebnisse der Validierung	17
Tabelle 3: Bestandsveränderungen durch den Einsatz des IS	25
Tabelle 4: Auswirkungen des IS bei einer verlängerten Lieferzeit	26
Tabelle 5: Vgl. der Termintreue bei einer verlängerten Lieferzeit	32
Tabelle 6: Vergleich beider Strategien bezüglich Termintreue	33
Tabelle 7: Vgl. der Termintreue versch. Szenarien	34
Tabelle 8: Verbesserung der Termintreue bei verschiedenen Szenarien	34
Tabelle 9: Vgl. der durchschnittl. Bestände bei versch. Szenarien	35
Tabelle 10: Senkung der durchschnittl. Bestände durch IS	36
Tabelle 13: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 10%)	36
Tabelle 14: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 35%)	37
Tabelle 15: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 45%)	37

1 Einleitung

Der Verringerung des Bull-Whip-Effekts dient unter anderem das Konzept des Information Sharing (IS), welches in dem vorliegenden Bericht anhand einer Simulationsstudie näher untersucht wird. IS geht davon aus, dass den Lieferanten vor allem Nachfragedaten des Kunden zur Verfügung gestellt werden. Obwohl mehrere Studien zu diesem Thema existieren, wurde noch nicht ausführlich auf das Konzept des IS unter Variation der Lastzustände, Transportzeiten und Kapazitäten eingegangen. Außerdem sollte der Fokus auch auf die nachgelagerten Stufen der SC gerichtet werden und so beispielsweise die Termintreue der SC als zusätzliche Zielgröße herangezogen werden. Um allgemeingültige Aussagen bezüglich dieser Strategie treffen zu können, braucht es weiterhin einen direkten Vergleich zwischen der traditionellen Kunden-Lieferanten-Beziehung (ohne Informationsaustausch) und dem Information Sharing seinerseits. Das Ziel dieses Berichts besteht darin, die Auswirkungen des Information Sharing am Beispiel einer Supply Chain zu untersuchen und zu bewerten. Dazu ist eine fünfstufige, lineare Logistikkette, bestehend aus einem Werk und vier Zulieferern, zu modellieren und mehrere Simulationsexperimente mit dieser durchzuführen. Die Simulationsexperimente dienen der Bekräftigung bzw. der Widerlegung der zuvor getroffenen Untersuchungshypothesen.

Um nachhaltige Aussagen über die Auswirkungen des Information Sharing treffen zu können, sind unterschiedliche Szenarien, nämlich konventionelle Strategie (kein Informationsaustausch zwischen den beteiligten Partnern in der SC) und Information Sharing, miteinander zu vergleichen. Mögliche Auswirkungen im Hinblick auf die Zielgrößen Bestände, Auslastungsgrad und Termintreue eines Unternehmens der SC sind zu überprüfen und zu dokumentieren. Eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse einzelner Variationsparameter hilft darüber hinaus, die jeweiligen Einflussfaktoren zu ermitteln und zu gewichten.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 beschreibt ausführlich das im Zusammenhang mit der Arbeit erstellte Modell und die Untersuchungsszenarien sowie die damit verknüpften Mess-, Ziel- und Festgrößen. Auf Basis der Szenarien wird anschließend die Mächtigkeit des Modellierungsansatzes bestimmt. Ferner werden die verschiedenen Parametrisierungen der Simulation dargelegt sowie die Untersuchungshypothesen aufgestellt. Anschließend erfolgt in Kapitel 3 die Validierung des Modells. Zunächst wird der Begriff der Validierung erläutert und das Validierungsmodell beschrieben. Schließlich folgt eine Dokumentation der erhaltenen Validierungsergebnisse. Kapitel 4 erklärt anschaulich die Vorgehensweise bei der Modellbildung, Simulation und der daran anschließenden Analyse. Kapitel 5 beschäftigt sich sodann mit der Darstellung und Erläuterung der Simulationsergebnisse des erstellten Modells. Diese werden ausführlich illustriert, interpretiert und bewertet. In Kapitel 6 folgt ein Fazit.

2 Simulationsmodell und Experimente

Dieses Kapitel beschreibt den grundsätzlichen Aufbau des erstellten Simulationsmodells, den Untersuchungsgegenstand sowie die verschiedenen Variationsparameter. Auf Grundlage dieser wird im Weiteren die Mächtigkeit des Modellierungsansatzes bestimmt und die Untersuchungshypothesen aufgestellt.

2.1 Versuchsaufbau

2.1.1 Netzwerk- und Produktstruktur

Das Modell beschreibt eine mehrstufige, lineare Lieferkette aus der Automobilindustrie. Sie besteht aus einem Händler, einem Werk, einem Zulieferer mit Kundenauftragsfertigung (BTO: engl. Built-to-order) und drei Zulieferern mit Lagerfertigung (BTS: engl. Built-to-stock). Das Werk stellt Fahrzeuge entsprechend dem Marktbedarf her. Der Marktbedarf wird vom Händler an das Werk in Form von Bestellungen weitergeleitet. Der Händler ist in diesem Modell also die Quelle des Informationsflusses und gleichzeitig die Senke des Materialflusses.

Die Struktur des Modells ist absichtlich einfach gewählt, um das grundlegende Verhalten der Akteure der Supply Chain gezielt analysieren zu können. Gute Verständlichkeit, allgemeine Aussagefähigkeit und Übertragbarkeit auf andere Wertschöpfungsnetzwerke sind somit gewährleistet.

Abbildung 1 zeigt die Netzwerk- und Produktstruktur des Modells. Im oberen Teil der Abbildung ist die Struktur des Wertschöpfungsnetzwerkes dargestellt. Der untere Teil der Abbildung zeigt hingegen die dem Modell zugrunde liegende Produktstruktur, dargestellt als Gozinto-Graphen¹.

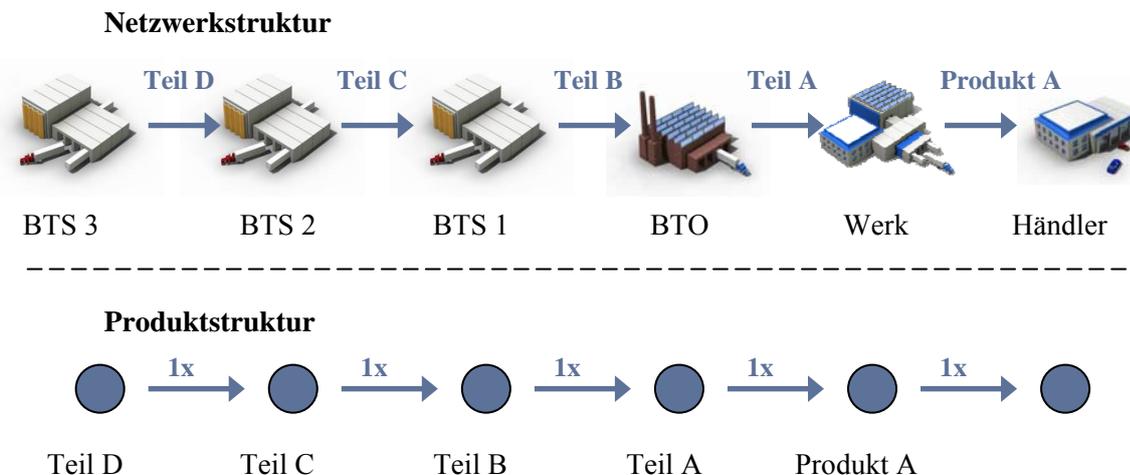


Abbildung 1: Netzwerk- und Produktstruktur des erstellten Modells

Die Produktstruktur ist ebenso möglichst einfach gewählt. Dadurch sind die Zusammenhänge leichter ersichtlich und analysierbar – eine anschließende Normierung der Simulationsergebnisse ist somit nicht notwendig. Dies ist insbesondere auch bei der Validierung des Modells von Vorteil. So kann beispielsweise der Bullwhip-Effekt leichter erkannt werden.

Zwischen den Akteuren des Netzwerkes wird jeweils nur ein Produkt bzw. ein Teil ausgetauscht. Jedes Teil geht nur einmal in das jeweils andere ein. Der BTS Zulieferer 3 stellt die Quelle des Materialflusses im Wertschöpfungsnetzwerkes dar, der Händler dagegen die Senke des

¹ Ein Gozinto-Graph stellt Teile-Ganzes-Beziehungen durch gewichtete Kanten dar. Die Knoten repräsentieren Einzelteile, Baugruppen oder Produkte während die Kanten beschreiben, welche Knoten als Teile in andere Knoten eingehen. Das Kantengewicht gibt dabei die Menge der benötigten Teile an und wird auch als Direktbedarfskoeffizient bezeichnet. [Vgl. Tem99, S. 108]

Materialflusses. BTS-Zulieferer 3 produziert Einheiten des Teiles D auf Lager und schickt sie bei Bedarf (auf Bestellung) zu BTS-Zulieferer 2. Dieser Zulieferer wiederum produziert Einheiten des Teiles C auf Lager und schickt die Menge an bestellten Einheiten an BTS-Zulieferer 1. BTS-Zulieferer 1 geht mit Produkt B analog vor, nur mit der Ausnahme, dass dessen Senke bezüglich des Materialflusses der BTO-Zulieferer ist. Der BTO-Zulieferer arbeitet eng mit dem Werk zusammen. Er produziert Teil A lediglich auf Auftrag des Werks und ist somit kein Lagerfertiger, sondern ein Kundenauftragsfertiger. Das Werk seinerseits fertigt wiederum lediglich auf Auftrag des Händlers. Dieser stellt die Schnittstelle zum Endkunden dar und reicht dessen Bestellungen einmal im Monat an das Werk weiter.

Ziel eines jeden Unternehmens der Supply Chain ist eine möglichst gleichmäßige Auslastung der Produktionskapazität (nahe Volllast), die Minimierung der Bestände an Teilen und Fertigprodukten sowie eine Sicherstellung einer möglichst hohen Liefertermintreue.

2.1.2 Simulationszeitraum

Der Simulationszeitraum umfasst ein Jahr. Die Simulation berücksichtigt zusätzlich Zeiträume für den Vor- und den Nachlauf, welche jedoch bei den Datenbankausgaben nicht berücksichtigt werden. Die Datenbankausgaben beginnen also am 01.01.2007 und enden am 31.12.2007.

2.2 Experimente

In der vorliegenden Arbeit werden zwei verschiedene Experimente durchgeführt, die zugleich zwei unterschiedlichen Strategien entsprechen: „Konventionelle Strategie“ und „Information Sharing“. Der oben beschriebene Versuchsaufbau bleibt für beide Strategien erhalten. Jedoch unterscheiden sich die Experimente durch einige Modellierungsänderungen, welche im Folgenden kurz erläutert sind.

2.2.1 Experiment Konventionelle Strategie

Bei diesem Experiment wird von autonomen Akteuren bezüglich der Planung in der Wertschöpfungskette ausgegangen. Somit werden zwischen allen Beteiligten in der SC keinerlei Informationen, ausgenommen von den jeweiligen Aufträgen bzw. Bestellungen, ausgetauscht. Sowohl die jeweiligen Bedarfsprognosen und Produktionsprogramme als auch deren jeweilige Frequenz und Planungshorizonte, werden selbstständig und ohne Informationen der jeweiligen Zulieferern und Kunden angefertigt. Das Produktionsprogramm des betreffenden Akteurs wird also gemäß dessen Bedarfsprognose gesteuert.

2.2.2 Experiment Information Sharing

Beim Experiment Information Sharing werden planungsrelevante, unternehmensinterne Informationen an alle Unternehmen des Logistiknetzwerkes weitergegeben. Ziel ist es dabei, den gesamten Wertschöpfungsprozess entlang der Supply Chain zu optimieren und effizienter zu gestalten. So können die jeweiligen Unternehmen ihre internen Prozesse entsprechend den Informationen ihrer Zulieferer und Kunden optimal planen und gestalten.

2.3 Untersuchungsgegenstand

Ziel der Experimente ist die Untersuchung der Auswirkungen der zwei unterschiedlichen SCM-Strategien (Konventionelle Strategie, Information Sharing) und verschiedener Parametrisierungen dieser auf die einzelnen Unternehmen des Wertschöpfungsnetzwerks. Hierbei werden insbesondere auch unterschiedliche Verlaufsformen des Endkundenbedarfs betrachtet. Somit wird die Sensitivität einzelner Parameter gegen Änderungen der Last überprüft. Ein weiterer Variationsbereich für eine Sensitivitätsanalyse ist das Verhältnis der verfügbaren Produktionskapazität zum durch den Endkunden induzierten Kapazitätsbedarf. Daher werden Experimente bei nahezu Volllast (Endkundenbedarf = 98% und 95%) und bei entspannter Lastsituation (Endkundenbedarf = 80%) durchgeführt.

Zur Bewertung der Effekte der SCM-Strategien werden in den einzelnen Simulationsexperimenten bei den betrachteten Unternehmen folgende Größen bestimmt:

- **Auslastung:**

Auslastung der Produktionskapazität der jeweiligen Engpassressource der einzelnen Unternehmen. Hierbei wird die durchschnittliche Auslastung bestimmt.

- **Bestände an Fertigwaren und Teile:**

Es werden die durchschnittlichen Warenein- und -ausgangsbestände erhoben. Work-in-Progress-Bestände werden nicht betrachtet.

- **Liefertermintreue:**

Erfüllungsgrad der Bestellungen beim Endkunden (im vorliegenden Modell Händler). Hierzu wird der Zeitpunkt des Eintreffens der bestellten Produkte A im Wareneingang beim Händler herangezogen. Die Liefertermintreue ist ein Wert zwischen 0 (es wurde keine Lieferung pünktlich geliefert) und 1 (es wurden alle Lieferungen pünktlich geliefert). Im Folgenden wird die Termintreue jedoch in Prozent umgerechnet und prozentual dargestellt.

Durch Serienexperimente werden die Auswirkungen der Parameter auf die definierten Zielgrößen der einzelnen Unternehmen (Maximierung der Kapazitätsauslastung, Minimierung der Bestände) sowie Zielgrößen der gesamten Supply Chain (Maximierung der Liefertreue) untersucht. Die Simulationsergebnisse dienen damit dem Vergleich der beiden zu untersuchenden Strategien.

2.3.1 Variationsparameter

Im betrachteten Wertschöpfungsnetzwerk gibt es feste Größen und Variationsparameter. Die Variationsparameter können weiterhin in strategiebezogene und nicht-strategiebezogene Parameter unterschieden werden.

2.3.2 Feste Größen

Diese Größen werden in den Experimenten nicht variiert:

- **Netzwerkstruktur:** Die Anzahl der Unternehmen in der Supply Chain sowie die Lieferbeziehungen sind in allen Experimenten identisch.
- **Lagerkapazitäten:** Es stehen immer ausreichende Ressourcen für die Lagerung (Lagerplatz) und den Umschlag (Ein- und Auslagerung) zur Verfügung.
- **Transportkapazitäten:** Es sind immer ausreichend viele Transportressourcen vorhanden.
- **Produktionsgrößen:** Stücklisten und Kapazitätsbedarfe sind ebenfalls für alle Experimente konstant.
- **Lieferfrequenz:** Die Lieferungen von Stufe zu Stufe erfolgen bei Bedarf täglich.
- **Störungsanfälligkeit:** Es treten keine Störungen auf.
- **Informationshorizont (= Planungshorizont):** Dieser Parameter beschreibt, für welchen Zeitraum der jeweilige Kunde die Bedarfsinformationen an seinen Lieferanten weitergibt. In allen Experimenten ist der Informationshorizont eine Woche.
- **Informationsaggregation:** Alle Akteure der Supply Chain aggregieren ihren Bedarf wochengenau.
- **Planungsfrequenz (= Informationsfrequenz):** Das Werk und der BTO-Zulieferer planen täglich, die restlichen Zulieferer planen wöchentlich.
- **Zeit für die Informationsübermittlung:** Die Zeit für die Informationsübermittlung umfasst 12 h.
- **Fixierungshorizont:** Der Fixierungshorizont für das Einplanen der Aufträge beträgt 7 Tage.

2.3.3 Nicht-strategiebezogene Variationsparameter

Die nicht-strategiebezogenen Variationsparameter sind die Lastsituation (Verhältnis Endkundenbedarf zu Kapazität), der Endkundenbedarf und die Lieferzeiten zwischen den Unternehmen der Supply Chain. Im Folgenden werden die Variationsparameter beschrieben:

Endkundenbedarf:

- **EK:** Endkundenbedarf ist konstant (Ausgangssituation)
- **EK 10:** Der Endkundenbedarf schwankt monatlich um +/- 10% (gleichverteilt)
- **EK 25:** Der Endkundenbedarf schwankt monatlich um +/- 25% (gleichverteilt)
- **EK 35:** Der Endkundenbedarf schwankt monatlich um +/- 35% (gleichverteilt)
- **EK 45:** Der Endkundenbedarf schwankt monatlich um +/- 45% (gleichverteilt)

Lastsituation:

- **L 95:** Ausgangssituation (Endkundenbedarf = 95% der Produktionskapazität)
- **L 98:** Grenzlast (Endkundenbedarf = 98% der Produktionskapazität)
- **L 80:** Unterlast (Endkundenbedarf = 80% der Produktionskapazität)

Lieferzeit (Die Lieferzeit setzt sich aus der Wartezeit nach Transportaufforderung und der Transportzeit zusammen):

- **LZ 1:** Ausgangssituation (Wartezeit nach Transportaufforderung beim Werk und BTO-Zulieferer jeweils 4 h und Transportzeiten jeweils 12 h; Wartezeit nach Transportaufforderung bei den BTS-Zulieferern 12 h und Transportzeiten jeweils 12 h). Falls im Folgenden bei der Bezeichnung der Szenarien keine Lieferzeit erwähnt ist, so wird grundsätzlich von dieser Ausgangssituation ausgegangen.
- **LZ 2:** Lange Lieferzeiten (wie Ausgangssituation, jedoch betragen die Transportzeiten in den Distributionskanälen zwischen BTS-Zulieferer 3 und BTS-Zulieferer 2 sowie BTS-Zulieferer 2 und BTS-Zulieferer 1 jeweils anstatt 12 h nun 1 Monat).

2.3.4 Strategiebezogene Variationsparameter

1. Konventionelle Strategie

- **Endkundenbedarfsinformation:** Der Endkundenbedarf ist keinem der Unternehmen der Supply Chain bekannt. Alle Akteure planen nach Bedarfsprognosen der zurückliegenden Perioden.
- **Materialbedarfsinformation:** Die Unternehmen verfügen über keine Informationen bezüglich der Materialbedarfe ihres Kunden. Sie planen aufgrund von Prognosen.
- **Planungszeitpunkte:** Die Planungszeitpunkte der BTS-Zulieferer erfolgen wöchentlich jeweils montags (parallel). Die Planungsinformationen des jeweiligen Kunden können damit keine Berücksichtigung finden.
- **Wartezeit nach Transportaufforderung:** siehe Kapitel 2.3.3, Variationsparameter LZ 1.
- **Meldung der erwartenden Ankunftszeit:** Die erwartende Ankunftszeit der bestellten Teile wird dem jeweiligen Kunden nicht mitgeteilt.

2. Information Sharing

- **Endkundenbedarfsinformation:** Der Endkundenbedarf (hier: Bedarf des Händlers) wird allen Unternehmen der Supply Chain umgehend mitgeteilt.
- **Materialbedarfsinformation:** Die Unternehmen geben jeweils wöchentlich die prognostizierten Materialbedarfe an ihre Zulieferer weiter.

- **Planungszeitpunkte:** Die Planungszeitpunkte der BTS-Zulieferer erfolgen wöchentlich an aufeinanderfolgenden Tagen (sequentiell). Hierbei kann das jeweilige Unternehmen die aktuellen Planungsinformationen des jeweiligen Kunden berücksichtigen.
- **Wartezeit nach Transportaufforderung:** Die Wartezeit nach Transportaufforderung wird beim Werk und BTO-Zulieferer von 4 h auf 2 h sowie bei den BTS-Zulieferern jeweils von 12 h auf 4 h gesenkt. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Informationsübermittlung der jeweiligen Unternehmen in der Supply Chain eine effizientere Bereitstellung der jeweiligen Güter erfolgen kann.
- **Meldung der erwartenden Ankunftszeit:** Die zu erwartende Ankunftszeit der bestellten Teile wird dem jeweiligen Kunden übermittelt.

2.4 Mächtigkeit des Modellierungsansatzes

Auf Basis der Variationsparameter wird im Folgenden die Mächtigkeit des Modellierungsansatzes bestimmt. Wie in Kapitel 2.3.3 Nicht-strategiebezogene Variationsparameter erläutert, werden 10 verschiedene Szenarien gebildet und miteinander kombiniert. Außerdem werden diese Szenarienkombinationen jeweils für beide Strategien (Konventionelle Strategie, Information Sharing) durchsimuliert.

ID	Anzahl Szenarien	Kombinationen	Gesamtanzahl Einzelexperimente
EK, EK 10, EK 25, EK 35 EK 45	5	$5 \times 3 \times 2 \times 2 =$	60
L 80, L 95, L 98	3		
LZ 1, LZ 2	2		
Konventionelle Strategie, Information Sharing	2		

Tabelle 1: Berechnung der Einzelexperimente

Wie aus **Tabelle 1** ersichtlich ist, lassen sich die beiden Strategien und die jeweiligen Szenarien so zu insgesamt 60 Einzelexperimenten kombinieren. Die Mächtigkeit des Simulationsansatzes beläuft sich demnach ebenfalls auf 60 Einzelexperimente.

2.5 Untersuchungshypothesen

Die Simulationsexperimente dienen der Bekräftigung bzw. Widerlegung von Aussagen über die Auswirkungen der beiden SCM-Strategien bzw. deren Parametrisierungen auf die beschriebene Supply Chain. Im Folgenden werden die Grundhypothesen formuliert sowie die Experimentkonfigurationen erläutert.

Es lassen sich im Zusammenhang mit den beiden zu untersuchenden Strategien folgende *Grundhypothesen* formulieren:

- Die Strategie des Information Sharing zeigt nur dann Vorteile gegenüber der Konventionellen Strategie, wenn Unternehmen der Supply Chain ihre Kapazitätsgrenze nahezu ganz ausschöpfen (95% - 100%). Bei einer Auslastung der Kapazität von beispielsweise 80%, wird es keine bzw. kaum Verbesserungen der Zielgrößen Bestände, Auslastung und Termintreue geben.
- Weiterhin wirkt sich die Strategie des Information Sharing lediglich dann aus, wenn der Endkundenbedarf eine starke Fluktuation aufweist. Ein nahezu konstanter Endkundenbedarf dagegen lässt das Information Sharing überflüssig erscheinen – die Konventionelle Strategie erzielt eine gleiche Effektivität.

- Sind diese beiden Eingangsvoraussetzungen jedoch gegeben, wirkt sich die Strategie des Information Sharing wie folgt auf die Zielgrößen aus:
 - Bei einem stark schwankenden Endkundenbedarf lassen sich durch das Information Sharing die Termintreue sowie die Auslastung erhöhen. Durch die zur Verfügung gestellten Informationen des jeweiligen Kunden, ist es den Unternehmen der Supply Chain möglich ihre Auslastung dem Endkundenbedarf anzupassen und ihr Produktionsprogramm gezielt zu glätten – unvorhersehbare Bedarfsspitzen werden weitestgehend vermieden. Dies wirkt sich zugleich auch auf die Termintreue des gesamten Netzwerkes aus.

Auch die Bestände der Unternehmen können gesenkt werden, da diese durch die Information des Endkundenbedarfes ihre Lagerhaltung an verfügbaren Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie an Bauteilen auf den zukünftigen Bedarf abstimmen können. Unnötige Sicherheitsbestände können somit reduziert werden.

- Information Sharing wirkt sich bei einer hohen Auslastung der Produktionskapazitäten der Unternehmen signifikant auf die Termintreue aus. Die Unternehmen haben einerseits die Möglichkeit den Liefertermin der Güter an ihre Kunden genauer zu bestimmen, andererseits lässt sich das Produktionsprogramm besser glätten. Beides führt zu einer weitestgehenden Vermeidung von Rückständen und damit zu einer Verbesserung der Termintreue der Unternehmen.

Entsprechend wie bei einem starken Endkundenbedarf, lassen sich auch bei einer hohen Auslastung der Unternehmen die Lagerbestände durch das Information Sharing reduzieren.

- Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass bei einer verlängerten Lieferzeit der BTS-Zulieferer 2 und 3 sich das Information Sharing positiv auf die Termintreue auswirkt. Ein potentieller Terminverzug kann so umgehend dem jeweiligen Kunden mitgeteilt werden. Dieser kann sich darauf einstellen und gegebenenfalls Anpassungen seines Produktionsprogramms vornehmen (z.B. andere Aufträge vorziehen) bzw. auf Sicherheitsbestände zurückgreifen.

Bei langen Lieferzeiten müssen die davon betroffenen Kunden in der Supply Chain große Sicherheitsbestände vorhalten, um bei eventuellen Lieferengpässen trotzdem ihre Produktionskapazitäten voll ausschöpfen zu können. Insbesondere aus monetären Gründen (Anlagen- und Produktionsstillstände führen zu hohen Kosten), zeigt sich das Information Sharing als Erfolgsfaktor. Die Produktionskapazitäten können somit aufgrund von Lieferinformationen der benötigten Bauteile, besser gesteuert und letztendlich ausgelastet werden.

Im Folgenden werden die einzelnen *Untersuchungshypothesen bezüglich der strategiebezogenen Variationsparameter* aufgestellt:

- Hypothesen zur Endkundenbedarfsinformation:

Eine Übermittlung des Endkundenbedarfs an alle Unternehmen der Supply Chain bringt Verbesserungen bezüglich der Termintreue, eine gleichmäßigere Auslastung sowie geringe Bestände bei den Unternehmen. Diese können die zukünftigen Bedarfe nun gezielt abschätzen.

- Hypothesen zur Materialbedarfsinformation:

Eine Bereitstellung der Materialbedarfsinformationen macht die unternehmensinternen Materialbedarfsprognosen überflüssig und gewährleistet eine präzisere Prognose und damit zugleich eine geringere Bevorratung mit Verbrauchsmaterialien (Senkung der Bestände in der Supply Chain).

- Hypothesen zum Planungszeitpunkt:

Durch die sequentielle Planung der Akteure können Informationen der aktuellen Woche verarbeitet werden. Dies wirkt sich wiederum auf die Termintreue, auf die Bestände und auf die Auslastung der Unternehmen aus.

- Hypothesen zur Wartezeit nach Transportaufforderung:

Eine Verringerung der Wartezeit nach Transportaufforderung verbessert die Verfügbarkeit von Verbrauchsmaterialien bei Rückständen in der Supply Chain. Dadurch kann die Termintreue des gesamten Netzwerks geringfügig verbessert werden.

3 Validierung des Modells

Um die Ergebnisse einer Simulation nutzen zu können, müssen sie auf die Wirklichkeit übertragbar sein. Dies wiederum setzt voraus, dass die softwaretechnische Umsetzung der Simulation fehlerfrei ist und dass das erstellte Modell die Realität hinreichend genau abbildet. Diese beiden Voraussetzungen werden mittels Verifikation und Validierung gewährleistet. Das Kapitel erläutert zunächst die Begriffe der Verifikation und der Validierung im Zusammenhang mit der Modellbildung. Anschließend werden sowohl die Vorgehensweise als auch die Ergebnisse der Validierung des erstellten Modells dargestellt.

3.1 Allgemeines zur Verifikation und Validierung eines Modells

Jedes Modell muss vor seiner Anwendung zunächst daraufhin geprüft werden, ob es das zugrunde gelegte reale System adäquat abbildet. Dabei besteht prinzipiell das Problem, dass sich die Richtigkeit eines Modells nicht beweisen lässt [vgl. Bos94]. Es lässt sich lediglich feststellen, ob eine korrekte Überführung des konzeptuellen Modells in ein Computermodell stattgefunden hat (Verifikation) und ob das Modell für den Zweck, für den es konstruiert und angewandt wird, aussagekräftig ist (Validierung).

Grundsätzlich geht es bei einer Verifikation und Validierung nicht darum, ein Modell entweder abzulehnen oder zu akzeptieren. Vielfach führen fehlgeschlagene Versuche zu einer Weiterentwicklung und Verbesserung des Modells. Nur für den Fall, dass Nachbesserungen unmöglich sind, wird das Modell verworfen. „Validierung ist ein iterativer Prozess, in dem mit unterschiedlichen Tests das Modell einer kritischen Prüfung unterzogen wird“ [GWi06].

3.1.1 Verifikation

Aufgabe der Verifikation ist der Nachweis der korrekten Implementierung. Hierbei wird also nicht das Simulationsmodell an sich, sondern die Implementierung der Modellierungs- sowie Simulatorumgebung verifiziert. Um verfälschten Simulationsergebnissen vorzubeugen, dürfen die Modellierungsumgebung und der Simulator keine Fehler enthalten. „Bei der Verifikation geht es primär um die innere Stimmigkeit und Fehlerfreiheit innerhalb des Modells“ [Mar04].

Eine Verifikation lässt sich zum Beispiel mit Testläufen mit vorab bekannten Sollergebnissen oder mit einem formalen Korrektheitsnachweis durchführen. Dabei steigt der Aufwand der Verifikation gleichsam mit der Komplexität des Modells. [Vgl. Tem04, S. A2-56]

Da im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit die Modellierung und Simulation jedoch innerhalb einer hinreichend getesteten und bewährten Modellierungsumgebung (OTD-Net) stattfindet, bedarf es an dieser Stelle keiner neuen Verifikation der softwaretechnischen Umsetzung. Zudem wird innerhalb der verwendeten Software, mit Hilfe eines integrierten Assistenzsystems, bereits auf Implementierungsfehler bei der Erstellung des Modells geprüft, so dass eine erneute Verifikation an dieser Stelle nicht notwendig ist.

3.1.2 Validierung

Im Gegensatz zur Verifikation, welche nur dann erfolgen muss, wenn ein neues Modellierungs- und Simulationstool implementiert und verwendet wird, sollte die Validierung fester Bestandteil jedes Simulationsprojektes sein. So muss jedes Simulationsmodell validiert werden, um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität sicherzustellen. Robinson bezeichnet Validierung als den „Versuch der Begründung, dass die Anwendung eines Modells sinnvoll ist“ [Rob97].

Die Validierung eines Modells wird erreicht, wenn die mit dem Modell erzielten Ergebnisse mit einer Reihe von realen Situationen übereinstimmen oder korrespondieren. Grundsätzlich wird bei der Validierung das erstellte Simulationsmodell daraufhin überprüft, ob eine hinreichende Übereinstimmung mit dem untersuchten System vorliegt – sich also die Simulationsergebnisse auf die Realität übertragen lassen. Untersuchungsgegenstand sind sowohl die verwendeten Daten und die strukturellen Beziehungen als auch das Gesamtverhalten des Systems (Abbildung der dynamischen

Prozesse). Die erhaltenen Daten müssen so beispielsweise in realistischen Wertebereichen liegen. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass die Verteilungen der Zufallsvariablen mit den Zufallsverteilungen des nachgebildeten Systems übereinstimmen. [Vgl. Tem04, S. A2-56]

Grundsätzlich kann die Validierung jedoch immer nur eine begrenzte Sicherheit für ein Modell geben. Der Anspruch der wirklichen Übereinstimmung mit der Realität wird dagegen nie erreicht [vgl. AGB06].

3.2 Validierung des erstellten Modells

Zur Validierung werden in der Praxis verschiedene objektive und subjektive Verfahren eingesetzt, von denen einige in [Tem04, S. A2-56] genannt sind. Meist ist eine Validierung nur durch den praktischen Einsatz des Modells und dem Vergleich der erzielten Ergebnisse mit anderen Daten möglich. Diese Vorgehensweise wird auch in dieser Arbeit gewählt. Als Vergleichsdaten dienen jene der Studie „The Bullwhip Effect – Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality and Information Sharing“ von Chatfield, Kim, Harrison, Hayya ([Cha04]). Diese Studie wurde deshalb als Validierungsgrundlage gewählt, da die Netzwerk- und die Produktstruktur beider Modelle sehr ähnlich sind. Außerdem wurden die Simulationsergebnisse von Chatfield et al. ihrerseits mit denen der beiden Studien von Chen et al. ([Che00]) und Dejonckheere et al. ([Dej04]) validiert, so dass an dieser Stelle eine ausreichende Vergleichsbasis vorliegt.

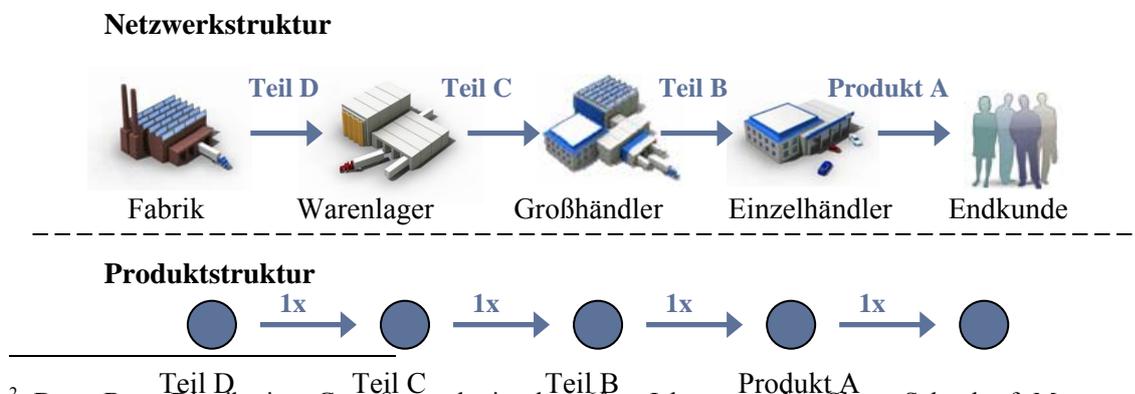
3.2.1 Modell- und Produktstruktur

Das Ausgangsmodell dieser Arbeit muss an die Struktur des Modells von Chatfield et al. angepasst werden. Dazu wird zuallererst die Netzwerkstruktur des Modells geändert. Der Händler sowie das Werk sind zwar weiterhin Bestandteil des Modells, um die Funktionalität weiterhin gewährleisten zu können, werden jedoch für die Datenbankausgaben nicht aktiviert. Sie geben lediglich die Kundenbestellungen an die Supply Chain weiter. Somit entsteht eine vierstufige Supply Chain bestehend aus vier Zulieferern – ein Zulieferer mit Kundenauftragsfertigung (BTO), der die Kundennachfrage direkt befriedigt, sowie drei weiteren Zulieferern mit Lagerfertigung, die ihr Produktionsprogramm aufgrund von Bedarfsprognosen anpassen. Die Quelle des Wertschöpfungsnetzwerkes ist der BTS-Zulieferer 3, die Senke stellt der Kunde dar.

Wie auch bei Chatfield et al. werden, in Anlehnung an das „Beer Distribution Game²“ (kurz „Beer Game“), die Akteure im Folgenden Einzelhändler (BTO), Großhändler (BTS 1), Warenlager (BTS 2) und Fabrik (BTS 3) bezeichnet.

Im Gegensatz zur angepassten Netzwerkstruktur, kann die Produktstruktur des Ausgangsmodells beibehalten werden. In jedes zu produzierende Teil geht immer nur ein Teil der Vorstufe der Supply Chain ein. Nachfolgende

Abbildung 2 zeigt die beschriebene Netzwerk- und Produktstruktur des angepassten Modells.



² Das „Beer Distribution Game“ wurde in den 60er Jahren an der Sloan School of Management des Massachusetts Institute of Technology von Jay W. Forrester entwickelt. Für mehr Informationen siehe [MiG01].

Abbildung 2: Netzwerk- und Produktstruktur des Validierungsmodells

3.2.2 Rahmenbedingungen des Modells

- **Bestellungen und Planungsparameter**

Wie auch im Beer Game werden im Modell keine Daten zwischen den Akteuren der SC ausgetauscht. Die Zulieferer der Supply Chain sind also „blind“, was die Vorgänge der restlichen Akteure angeht. Jeder Akteur gibt einmal pro Woche seine Bestellung an den jeweiligen Zulieferer downstream. Die Weitergabe der jeweiligen Bestellungen erfolgt sequentiell – jeder Akteur gibt seine Bestellung nacheinander an den jeweiligen Zulieferer weiter. Das Produktionsprogramm der Zulieferer richtet sich also nach deren eigenen Bedarfsprognose (vgl. Kapitel 2.2.1 Experiment Konventionelle Strategie).

- **Transporte**

Im Modell werden keine Transportwege und -zeiten berücksichtigt.

- **Endkundenbedarf**

Die Kundenbestellungen werden durch eine normalverteilte Zufallsfunktion mit dem Erwartungswert μ und der Varianz σ^2 abgebildet. Für die Normalverteilung wird die Notation $N(\mu, \sigma^2)$ verwendet. Es wird eine Nachfrage mit dem Erwartungswert 50 und einer Standardabweichung von 20 angenommen:

Nachfrage $\sim N(50, 20^2)$.

- **Durchlaufzeiten**

Die Durchlaufzeiten sind gleichverteilt mit einem durchschnittlichen Wert von 4 Tagen bei allen Akteuren des Netzwerkes.

- **Lieferrückstände**

Es können Lieferrückstände im Netzwerk auftreten, welche in der Folgewoche zuzüglich zur regulären Bestellung des Kunden erfüllt werden müssen.

- **Lagerhaltungspolitik**

Im Modell werden keine Sicherheitsbestände berücksichtigt.

- **Bedarfsprognose**

Die Prognosen werden mit Hilfe der Methode des gleitenden Mittelwertes erhoben. Dabei werden jeweils die letzten 15 Wochen als Prognosegrundlage herangezogen.

- **Simulationszeitraum**

Um eine verlässliche Datengrundlage zu erhalten, wird die Simulation für 5.110 Tage durchgeführt. Dies entspricht ungefähr dem Simulationszeitraum von Chatfield et al. mit 5.200 Perioden.

3.2.3 Simulationsergebnisse

Um die Simulationsergebnisse der Validierung mit denen der Studie von Chatfield et al. vergleichen zu können, wird die Darstellung sowie die Berechnung der Ergebnisse analog gewählt. Ein sog. „Varianzenquotient“ dient als Vergleichskennzahl der jeweiligen Simulationsergebnisse. Der Quotient setzt sich aus der Standardabweichung der Bestellungen des jeweiligen Akteurs der Supply Chain und der Standardabweichung des Endkundenbedarfs zusammen:

$$\text{Varianzenquotient} = \left(\frac{\text{Standardabweichung \{Bestellungen Akteur n\}}}{\text{Standardabweichung \{Endkundenbedarf\}}} \right)^2$$

Tabelle 2 zeigt den Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen des vorliegenden Validierungsmodells und jenen der Studie von Chatfield et al.:

Akteur \ Strategie	OTD-Net		Chatfield et al.	
	Standardabweichung	Varianzenquotient	Standardabweichung	Varianzenquotient
Endkunde	<i>20,00</i>		<i>19,99</i>	
Einzelhändler	<i>27,86</i>	1,94	<i>27,55</i>	1,90
Großhändler	<i>40,50</i>	4,10	<i>40,01</i>	4,01
Warenlager	<i>61,06</i>	9,32	<i>60,27</i>	9,09
Fabrik	<i>97,32</i>	23,68	<i>93,13</i>	21,70

Tabelle 2: Simulationsergebnisse der Validierung

OTD-Net vs. Chatfield et al. [Cha04]: Standardabweichung und Varianzenquotient (kursiv, fett); Kundenbedarf $\sim N(50,20^2)$; Gleitender Mittelwert (15 Wochen); Simulationszeitraum 5.110 Tage.

Die Werte der ersten Spalte (kursiv) geben die Standardabweichungen der Bestellungen des jeweiligen Akteurs der Supply Chain an; die Werte der zweiten Spalte (fett) zeigen den entsprechenden Varianzenquotienten – jeweils simuliert mit der OTD-Net Software. Spalten 3 und 4 zeigen die jeweiligen Ergebnisse, simuliert mit der SISCO Software von Chatfield et al.

Wie sich aus **Tabelle 2** entnehmen lässt, haben die Ergebnisse der OTD-Net Software größere Varianzenquotienten bei höheren Standardabweichungen als die entsprechenden Ergebnisse der SISCO Simulation. Diese minimalen Unterschiede lassen sich einerseits auf die unterschiedlichen Zeiteinheiten der beiden Simulationswerkzeuge zurückführen. So wird bei OTD-Net der Simulationszeitraum mittels Tagen angegeben, während bei der SISCO Software Zeiteinheiten als Messgrößen dienen. Insbesondere bei den Bedarfsprognosen kann es somit zu unterschiedlichen Vorhersagen kommen und damit zu abweichenden Bestellungen der Akteure von jenen des Modells von Chatfield et al. Auch der Simulationszeitraum ist somit nicht identisch. Andererseits können softwareinterne Unterschiede, wie beispielsweise statistische Wertverläufe (gleichverteilte Durchlaufzeiten), zu Unterschieden in den beiden Simulationsergebnissen führen.

Insgesamt kann das Validierungsergebnis als zufriedenstellend bewertet werden. Die erhaltenen Werte des Validierungsmodells liegen in realistischen Wertebereichen. Weiterhin sind die Abweichungen der Simulationsergebnisse der beiden Studien relativ gering – es liegt also eine hinreichende Übereinstimmung mit dem Modell von Chatfield et al. vor. Die Simulationsergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern realitätsnahe Ergebnisse und können im Nachfolgenden auch als Bewertungsgrundlage für weitere Simulationsexperimente herangezogen werden.

4 Vorgehensweise bei der Modellierung und Simulation

In diesem Kapitel wird kurz und anschaulich die generelle Vorgehensweise erläutert, nach der in der vorliegenden Arbeit vorgegangen wurde. Einige Bildschirmausschnitte zeigen die Modellierungs- sowie Simulationsumgebung der OTD-Net-Software sowie deren Softwarekomponenten, um eine genauere Vorstellung der Benutzeroberfläche und Funktionsweise der Software zu erhalten.

4.1 Der Modellierungsprozess in der OMW

Die Modellierung erfolgt in der Softwarekomponente OMW (Object Modeling Workbench). Die OMW ist ein benutzerfreundliches Modellierungswerkzeug, das eine strukturierte Sicht auf das Simulationsmodell erlaubt. Verschiedene Szenarien können durch Parametervariation gebildet und aufgezeichnet werden. Nachdem das Modell erstellt wurde, kann durch eine integrierte Funktion eine erste Korrektheitsprüfung des Modells durchgeführt werden, in der die Objekte, Definitionen und Strukturen überprüft werden. Die OMW soll in Zukunft vom neu entwickelten GME (Graphical Modeling Environment) abgelöst werden. Mit dem GME lässt sich zusätzlich das Klassenmodell des Simulationsmodells bearbeiten. Dies bedeutet, dass beispielsweise neue Parameter oder Bausteintypen erstellt und hinzugefügt werden können.

Nachfolgende Abbildung 3 zeigt einen Bildschirmausschnitt der Softwarekomponente OMW zur Modellbildung:

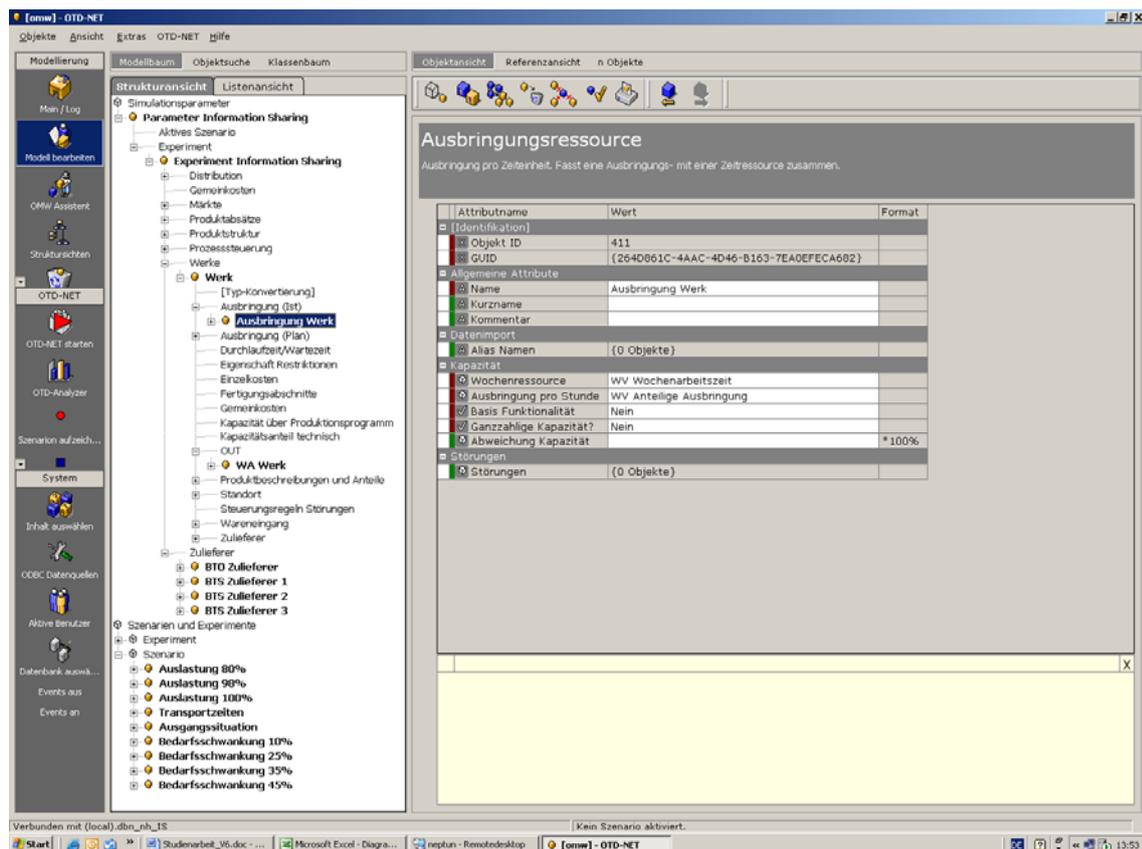


Abbildung 3: Modellierungsumgebung OTD-Net

Einzelne Szenarien lassen sich bereits innerhalb der OMW simulieren. Szenarien-kombinationen müssen jedoch separat im so genannten OTD-Analyzer mit Hilfe von Experimentserien generiert werden.

4.2 Experimentserien im OTD-Analyzer

Nachdem das komplette Modell, einschließlich der Experimente und der verschiedenen Szenarien erstellt wurde, können im OTD-Analyzer verschiedene Experimentserien (Kombinationen von Szenarien) angelegt werden. Zunächst müssen dafür die Datenbankverknüpfungen angegeben werden. Anschließend werden Befehlszeilen generiert, die beim späteren Durchlauf der Experimentserien abgearbeitet werden. Hierzu werden jeweils drei Objekte für jedes Szenario angelegt: „Datenbank kopieren“, „Datenbank aufbereiten“ und „Datenbank simulieren“. „Datenbank kopieren“ bedeutet, dass das Grundmodell vor jedem Simulationsdurchlauf zuallererst kopiert und in das jeweilige Szenarienmodell eingefügt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass eine eventuelle Änderung am Grundmodell auch Berücksichtigung in der jeweiligen Experimentserie findet. Anschließend werden die Informationen in der Datenbank aufbereitet sowie simuliert und können in einem späteren Schritt schließlich im OTD-Analyzer abgerufen werden.

Abbildung 4 zeigt die Benutzeroberfläche des OTD-Analyzers mit einer Reihe von erstellten Experimentserien:

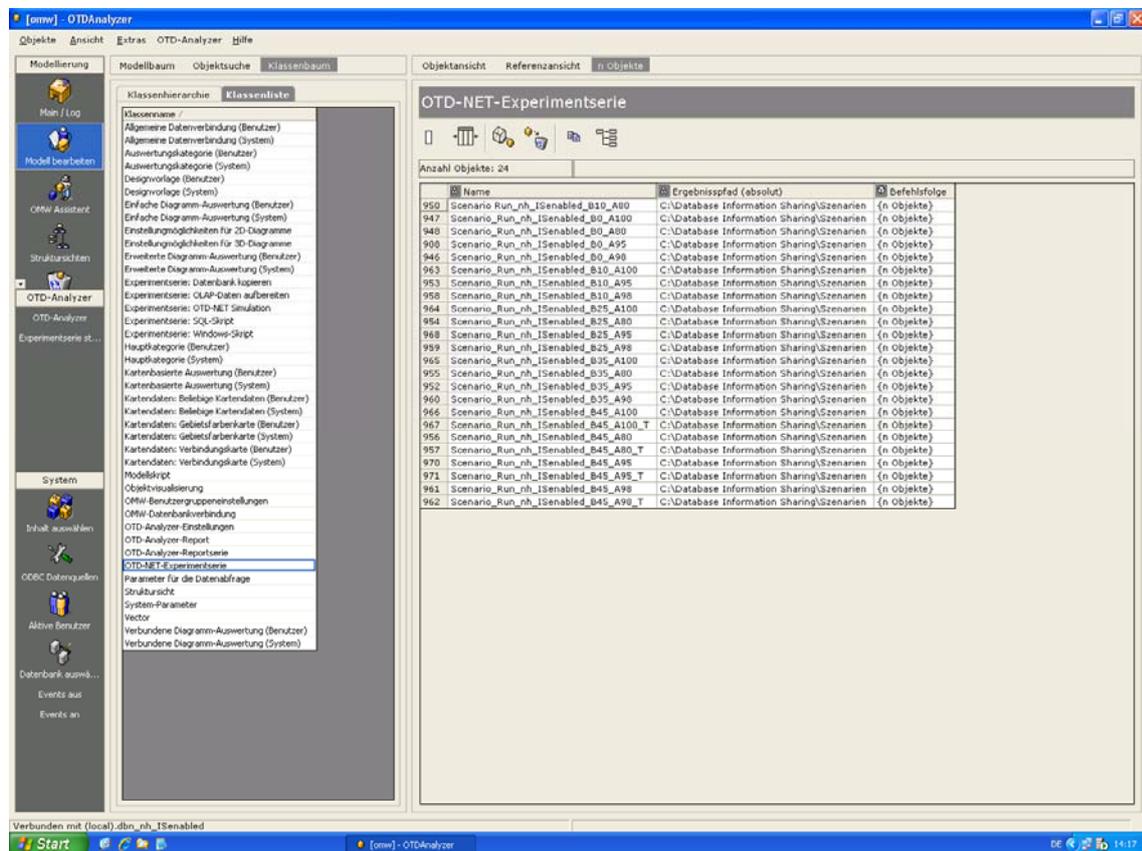


Abbildung 4: Experimentserien im OTD-Analyzer

Im Menüpunkt „OTD-Net-Experimentserie“ werden im Weiteren einzelne Einträge angelegt, unter denen manuell die einzelnen Szenarien miteinander nach Belieben kombiniert werden können. Dies erfolgt schnell und einfach mittels Parametrisierung der jeweiligen Szenarien. Nun können die einzelnen Experimentserien gestartet werden – die Simulation der Szenarienkombinationen erfolgt. Die Ergebnisse der Simulation werden automatisch gespeichert und können im Folgenden im OTD-Analyzer ausgelesen und für Analysezwecke aufbereitet werden.

4.3 Auslesen der Simulationsergebnisse im OTD-Analyzer

Die Softwarekomponente OTD-Analyzer setzt auf dem Klassenmodell sowie auf dem OLAP-System³ auf und dient der Analyse von Simulationsergebnissen. Nach Aufbereitung der entsprechenden Informationen im OLAP-System können die Simulationsergebnisse analysiert, statistisch ausgewertet und in Diagrammen anschaulich dargestellt werden.

In Abbildung 5 ist ein Bildausschnitt des OTD-Analyzers mit Datentabellen der Simulationsergebnisse der Zulieferer dargestellt.

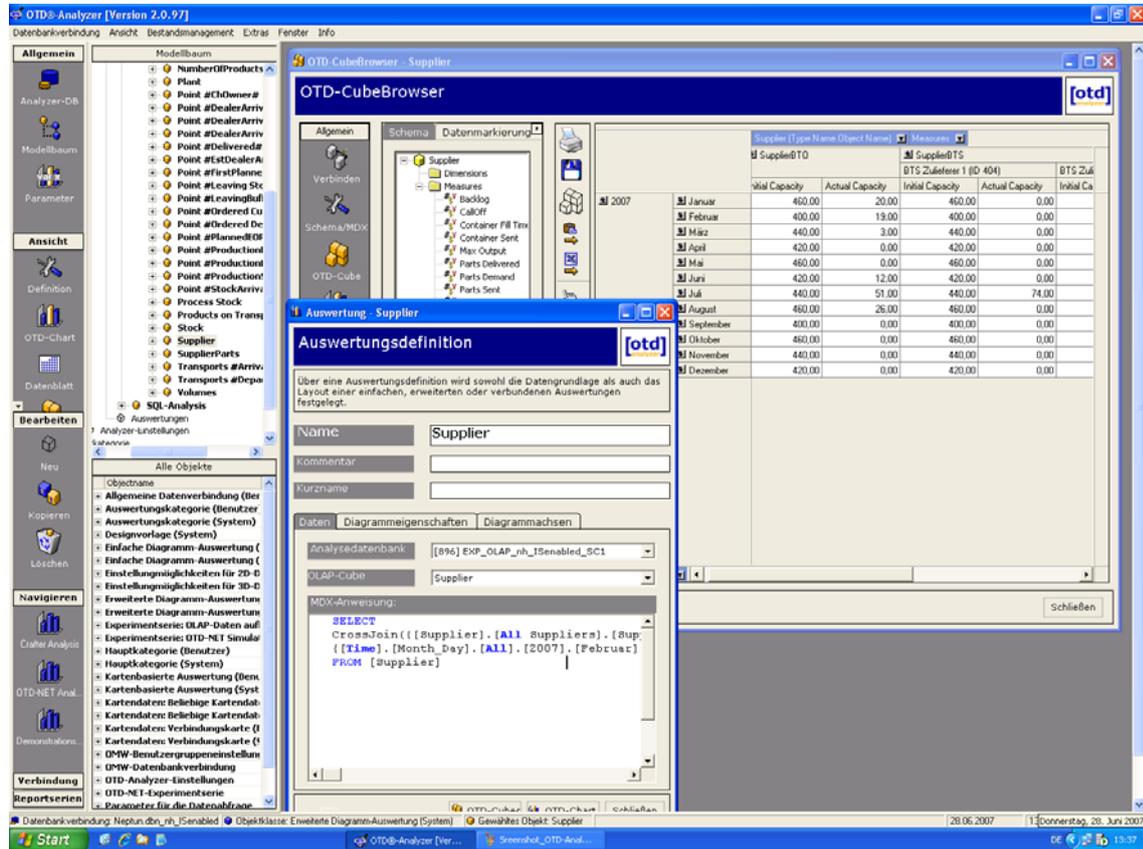


Abbildung 5: Auslesen der Simulationsergebnisse im OTD-Analyzer

Die Simulationsergebnisse lassen sich unkompliziert in andere Formate konvertieren bzw. in andere Programme exportieren, so dass beispielsweise ein Export der Daten nach Excel sehr einfach möglich ist. Diese Vorgehensweise wird auch in dieser Arbeit gewählt: Die Daten werden mittels dem OTD-Analyzer ausgelesen und anschließend nach MS-Excel exportiert, um hier Berechnungen, Konsolidierungen und Diagramme erstellen zu können.

4.4 Aufbereiten der Simulationsergebnisse in MS-Excel

Das Aufbereiten der Simulationsergebnisse erfolgt schließlich in MS-Excel. Hier können entsprechende Berechnungen, beispielsweise für die Auslastung der Produktionskapazitäten, einfach durchgeführt und anschließend in Diagrammen dargestellt werden. Außerdem können hier durch Drag & Drop-Verfahren die jeweiligen Daten einfach zusammengeführt und verdichtet werden.

³ Der Begriff OLAP steht für Online Analytical Processing. Das OLAP-System setzt auf der relationalen Datenbank auf und bietet eine mehrdimensionale Sicht auf die Daten. Somit können komplexe Analyseabfragen auf großen Datenmengen effizient durchgeführt werden.

Technical Report 08005

Aus diesen Gründen werden in der vorliegenden Arbeit die Simulationsergebnisse zunächst aus dem OTD-Analyser exportiert und sodann in MS-Excel abgelegt (siehe Abbildung 6). Anschließend werden sie zusammengeführt, berechnet und visualisiert (siehe Abbildung 7).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with three main sections: Bestände, Auslastung, and Termintreue. The data is organized by month from January to December 2007.

Bestände		Plant	SupplierBTO	SupplierBTS	SupplierBTS 2
2007, Januar	12,71	19,74	15,19	15,48	
2007, Februar	13,61	50,25	29,64	29,64	
2007, März	14,19	57,97	32,97	32,97	
2007, April	14,00	59,67	34,67	34,67	
2007, Mai	14,64	57,32	32,32	32,32	
2007, Juni	14,00	58,33	33,33	33,33	
2007, Juli	14,19	59,26	34,26	34,26	
2007, August	14,84	57,32	32,32	32,32	
2007, September	13,33	59,67	34,67	34,67	
2007, Oktober	14,52	60,81	32,97	32,97	
2007, November	13,99	75,87	30,53	30,20	
2007, Dezember	12,74	60,58	31,71	28,77	

Auslastung		Capacity #A:	Number of Pr	Auslastungsg	SupplierBT	SupplierBTO	Auslastungsg	SupplierBTS	SupplierBTS	Auslastungsg	SupplierBTS	SupplierBTS	Auslastungsg	SupplierBTS	SupplierBTS	Auslastungsg
2007, Januar	460	394	96	460	65	96	460	42	91	460	45	90	460	45	90	
2007, Februar	400	381	95	400	17	96	400	0	100	400	0	100	400	0	100	
2007, März	440	440	100	440	0	100	440	0	100	440	0	100	440	0	100	
2007, April	420	420	100	420	0	100	420	0	100	420	0	100	420	0	100	
2007, Mai	460	460	100	460	0	100	460	0	100	460	0	100	460	0	100	
2007, Juni	420	420	100	420	0	100	420	0	100	420	0	100	420	0	100	
2007, Juli	440	440	100	440	0	100	440	0	100	440	0	100	440	0	100	
2007, August	460	460	100	460	0	100	460	0	100	460	0	100	460	0	100	
2007, September	400	400	100	400	0	100	400	0	100	400	0	100	400	0	100	
2007, Oktober	450	450	98	450	11	98	450	0	100	450	0	100	450	0	100	
2007, November	440	418	95	440	22	95	440	2	100	440	0	100	440	0	100	
2007, Dezember	400	380	95	420	29	93	420	33	92	420	32	92	420	32	92	

Termintreue		Tages-Wochengenau
2007, Januar	0,98	
2007, Februar	1,00	
2007, März	1,00	
2007, April	1,00	
2007, Mai	1,00	
2007, Juni	1,00	
2007, Juli	1,00	
2007, August	1,00	
2007, September	1,00	
2007, Oktober	1,00	
2007, November	1,00	
2007, Dezember	1,00	

Abbildung 6: Speicherung der Simulationsergebnisse in MS-Excel

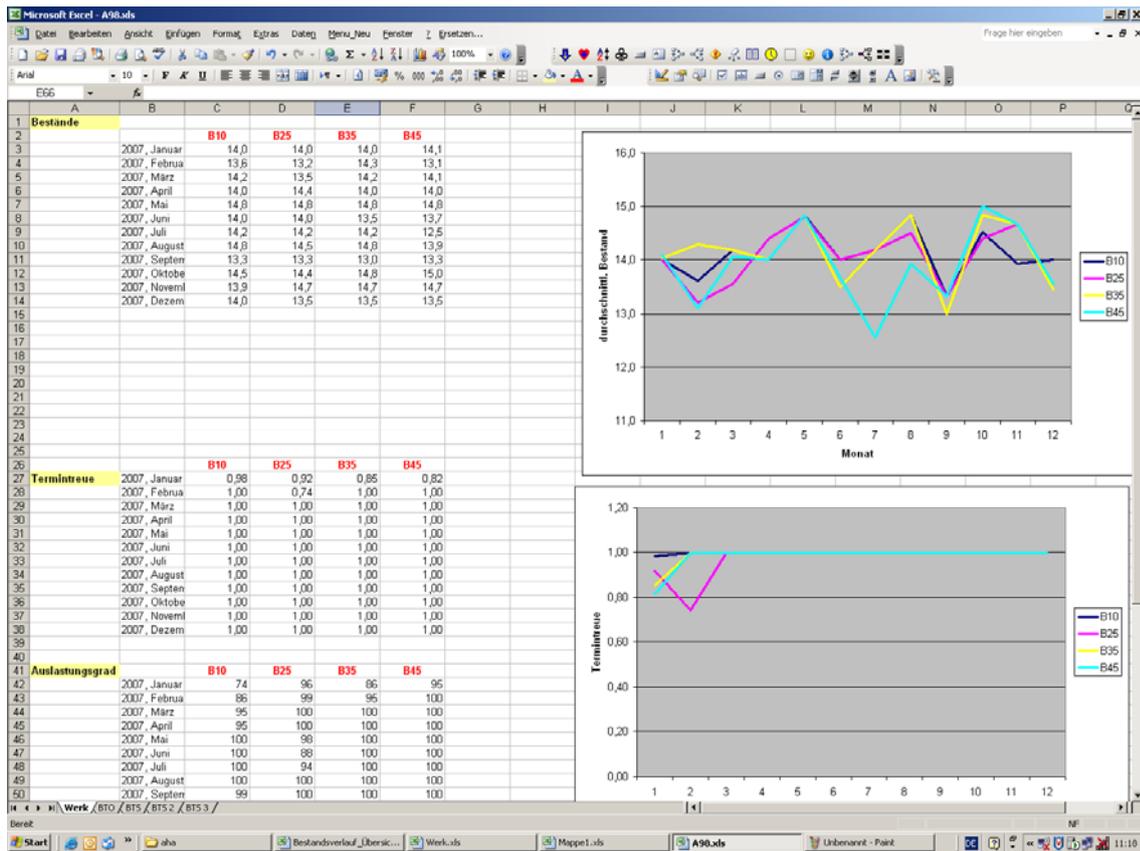


Abbildung 7: Berechnung und Darstellung der Simulationsergebnisse

5 Simulationsergebnisse

Die erhaltenen Simulationsergebnisse werden in diesem Kapitel dargestellt und mit Hilfe von Diagrammen erläutert. Insbesondere wird dabei auf die Auswirkungen des Information Sharing im Hinblick auf die Zielgrößen Bestände, Auslastungsgrad und Termintreue eingegangen.

5.1 Auswirkungen des Information Sharing auf die Bestände

Die Analyse der Simulationsergebnisse bezüglich der Zielgröße „Bestände“ zeigt, dass die Strategie des Information Sharing Vorteile gegenüber der Konventionellen Strategie besitzt. Durch die Weitergabe von Informationen innerhalb der Supply Chain profitieren alle Unternehmen, wenn auch in unterschiedlichem Maße. Die Strategie des IS wirkt sich dabei am deutlichsten aus, wenn die Schwankung des Endkundenbedarfes stark und die Produktionsauslastung der Unternehmen relativ hoch ist.

Im Folgenden werden deshalb die beiden Strategien beispielhaft für eine Bedarfsschwankung von 35% und einem Auslastungsgrad von 98% verglichen, da sich die Auswirkungen bei diesem Szenario gut verdeutlichen lassen. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen die Bestandssituationen der Unternehmen der SC sowohl mit Konventioneller Strategie (Abbildung 8), als auch mit der Strategie des Information Sharing (Abbildung 9).

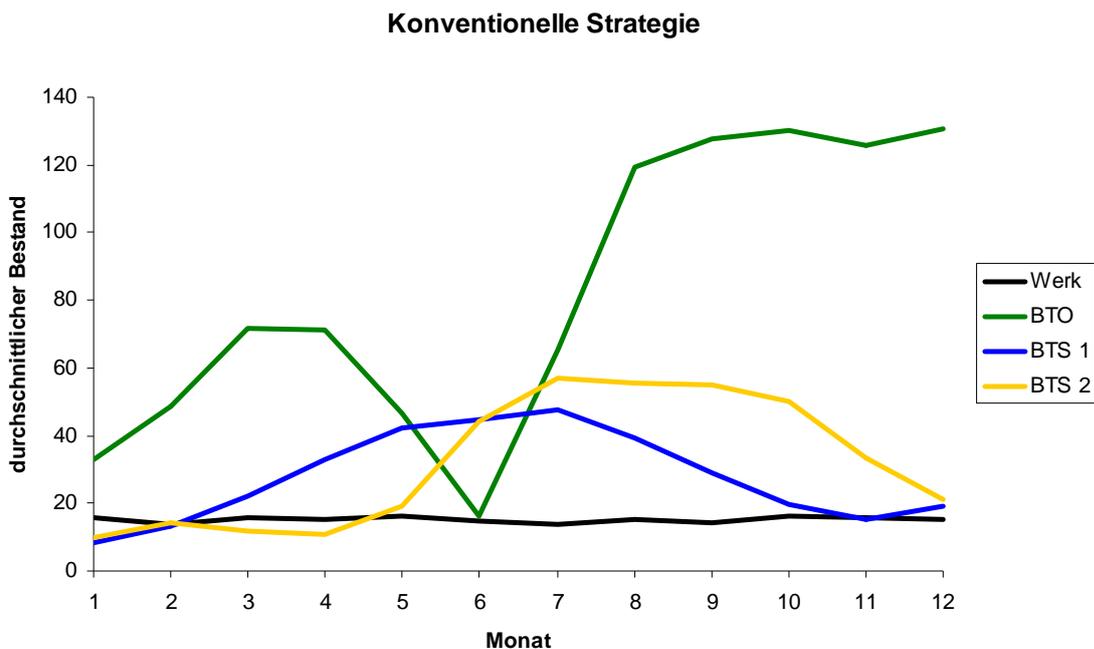


Abbildung 8: Bestandsituation der Unternehmen mit KS

(Szenario EK 35 / L 98)

Information Sharing

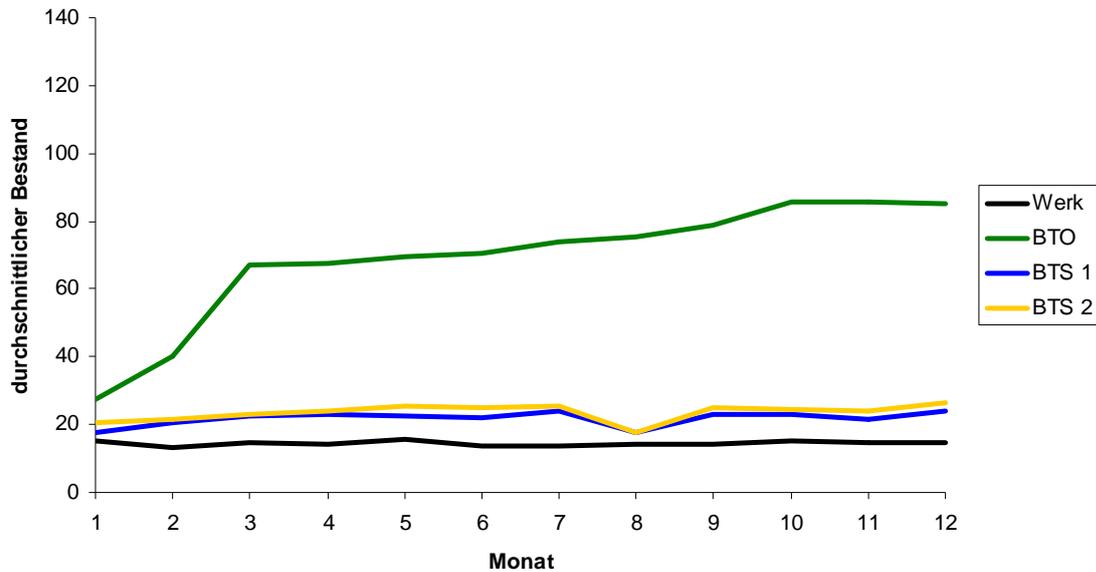


Abbildung 9: Bestandsituation der Unternehmen mit IS

(Szenario EK 35 / L 98)

Der BTS-Zulieferer 3 bleibt bei der Analyse der Bestände außen vor, da dieser über keinen eigenen Zulieferer und zugleich keinen Wareneingang verfügt. Da wie in Kapitel 2.3 erläutert, für die Bewertung der Bestände an Fertigwaren und Teilen jedoch die Warenein- und -ausgangsbestände herangezogen werden, ließen sich seine Bestände somit nicht mit jenen der anderen Akteure vergleichen. Es wird im Modell diesbezüglich davon ausgegangen, dass dem BTS-Zulieferer 3 unbeschränkt viele, für die Produktion benötigte Teile, bei Bedarf zur Verfügung stehen.

In **Abbildung 8** ist zu beobachten, dass die Höhe der Bestände bei allen betrachteten Zulieferern stark schwankt. Zu Beginn des Betrachtungszeitraumes steigen die Bestände der Zulieferer an und sinken wiederum jeweils um ca. drei Monate versetzt zum jeweiligen Zulieferer upstream. Die Steigung der Bestände beim BTO-Zulieferer in den Monaten Juni bis August verläuft nahezu linear. Auch zum Jahresende kann der BTO-Zulieferer seine Bestände nicht mehr senken.

Das Werk hingegen hält einen nahezu konstanten und relativ geringen Bestand über das gesamte Jahr. Dies ist möglich, da der BTO-Zulieferer lediglich auf Auftrag des Werkes produziert. Das Werk nutzt quasi die Lager des BTO-Zulieferers mit und kann dadurch die werksinternen Bestände relativ gering halten.

Abbildung 9 zeigt hingegen die Bestandsituationen der Akteure bei Nutzung von netzwerkweiten Informationen. Es lässt sich deutlich erkennen, dass die Bestände bei allen Zulieferern im Durchschnitt niedriger sind, als bei der Konventionellen Strategie in **Abbildung 8**. Während sich die Bestandssituation des Werkes kaum verändert, zeigt das IS bei den Zulieferern deutliche Verbesserungen bezüglich der Bestandsituationen. Der BTO-Zulieferer steigert seine Bestände über den Betrachtungszeitraum hinweg zwar weiterhin, jedoch gibt es nun keine Bestandsschwankungen mehr (im Gegensatz zu **Abbildung 8**). Auch bei den beiden BTS-Zulieferern verlaufen die Bestandslinien über das gesamte Jahr hinweg relativ konstant – lediglich im August sinken die Bestände kurzfristig. Ihre Bestandssituation sieht insgesamt sehr ähnlich aus, lediglich mit kleinen Abweichungen. **Tabelle 3** zeigt die Senkung der durchschnittlichen Bestände durch den Einsatz des Information Sharing bei einer Bedarfsschwankung von 35% und einem Auslastungsgrad von 98%:

Strategie	Konventionelle Strategie	Information Sharing		
	durchschnittl. Bestand	durchschnittl. Bestand	Differenz absolut	Differenz in Prozent
Akteur				
Werk	15,12	14,45	-0,67	-4,43%
BTO-Zulieferer	82,14	68,85	-13,29	-16,18%
BTS-Zulieferer 1	27,86	21,74	-6,12	-21,98%
BTS-Zulieferer 2	31,95	23,57	-8,37	-26,21%

Tabelle 3: Bestandsveränderungen durch den Einsatz des IS

(Ergebnisse bei einer Bedarfsschwankung von 35% und einem Auslastungsgrad von 98%)

Bei den Auswertungen der Simulationsergebnisse ist auffällig, dass sich die Bestandsituationen der Unternehmen, abhängig vom gewählten Szenario, unterschiedlich verhalten. So zeigt **Abbildung 10** für BTS-Zulieferer 2 exemplarisch, dass sich bei einer höheren Auslastung (95%, 98%) die Bestände durch eine Informationsübermittlung stärker senken lassen, als bei einer geringeren Auslastung (80%) der Produktionskapazitäten, bei welcher speziell in diesem Fall keine Verbesserung durch IS zu erzielen ist.

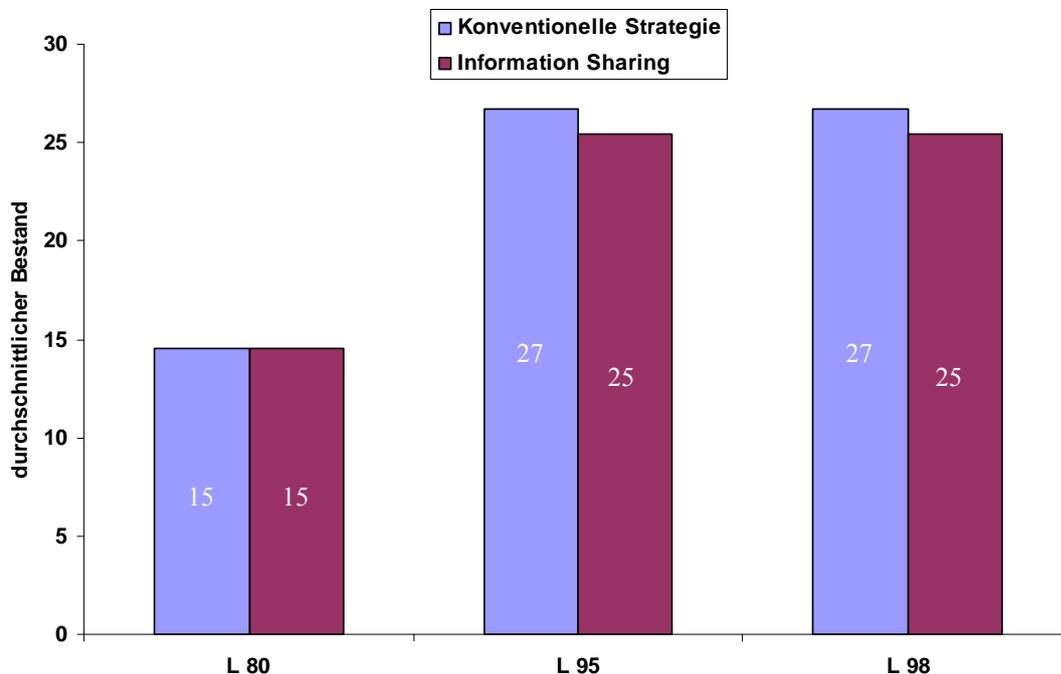


Abbildung 10: Durchschnittl. Bestand BTS-Zulieferer 2 mit und ohne IS

(Ergebnisse bei konstantem Bedarf)

Um bewerten zu können, wie sich das IS auf die Bestände der Unternehmen bei längeren Transportzeiten auswirkt, werden weiterhin folgende zwei Szenarien miteinander verglichen: Zum einen das Szenario mit einer Bedarfsschwankung von 45% und einer Produktionsauslastung der Unternehmen von 98% (EK 45 / L 98), zum anderen das Szenario mit der Bedarfsschwankung von 45%, einer Produktionsauslastung von 98% und zugleich einer verlängerten Transportzeit zwischen BTS-Zulieferer 3 und BTS-Zulieferer 2 sowie BTS-Zulieferer 2 und BTS-Zulieferer 1 (EK 45 / L 98 / LZ 2). Kapitel 2.3.3 „Nicht-strategiebezogene Variationsparameter“ erläutert in diesem Zusammenhang detailliert die Annahmen des Variationsparameters „LZ 2“.

Aus **Tabelle 4** sind die durchschnittlichen Bestände sowohl mit Konventioneller Strategie (KS) als auch mit Information Sharing (IS) für beide Szenarien zu entnehmen sowie deren jeweilige Differenz.

Szenario / Akteur	EK 45 / L 98				EK 45 / L 98 / LZ 2				Differenz Szenarien %
	KS	IS	Differenz abs.	Differenz %	KS	IS	Differenz abs.	Differenz %	
Werk	15,33	14,23	-1,10	-7,19	15,34	14,23	-1,11	-7,24	-0,05
BTO-Zulieferer	82,83	66,61	-16,23	-19,59	89,39	69,06	-20,34	-22,75	-3,16
BTS-Zulieferer 1	29,57	22,36	-7,21	-24,37	32,54	24,16	-8,38	-25,74	-1,37
BTS-Zulieferer 2	34,68	24,56	-10,12	-29,18	38,23	25,96	-12,27	-32,10	-2,92

Tabelle 4: Auswirkungen des IS bei einer verlängerten Lieferzeit

Vergleicht man mit Hilfe von **Tabelle 4** die beiden Szenarien, so lässt es sich erkennen, dass die durchschnittlichen Bestände bei einer verlängerten Lieferzeit bei allen Unternehmen – außer beim Werk – ansteigen. Durch den Einsatz des Information Sharing können die erhöhten durchschnittlichen Bestände jedoch signifikant gesenkt werden, wenngleich auch nicht auf jenes Niveau, dass bei einem Szenario ohne verlängerte Lieferzeit vorherrscht. Die letzte Spalte der Tabelle (Differenz der Szenarien in Prozent) verdeutlicht, dass sich das IS insbesondere auch bei einer verlängerten Lieferzeit zwischen den Unternehmen der SC als lohnenswert erweist.

Weitere Analysen verschiedener Szenarienkombinationen zeigen, dass sich bereits hier ein Teil der in Kapitel 2.5 aufgestellten Grundhypothesen bestätigen lassen:

- Bei einem geringen Auslastungsgrad der Unternehmen der SC (beispielsweise 80%), wirkt sich die Strategie des IS weniger bis gar nicht auf die Bestandssituationen der Unternehmen aus. Bei einer hohen Produktionsauslastung dagegen zeigen sich deutliche Verbesserungen der durchschnittlichen Bestände.
- Gleiches gilt für das Ausmaß der Bedarfsschwankung. Das Information Sharing zeigt lediglich dann Einfluss auf die Bestände, wenn die Bedarfsschwankung relativ stark ist.

Dies bedeutet im Zusammenhang mit den simulierten Szenarien, dass bei einer Bedarfsschwankung von 10% und einem Auslastungsgrad in Höhe von 80% (Szenario EK 10 / L 80), lediglich sehr geringe, bis gar keine Veränderungen der Bestände durch IS zu erwarten sind. Im Vergleich hierzu hat das Information Sharing bei einer Bedarfsschwankung von 35% und einem Auslastungsgrad von 98% (Szenario EK 35 / L 98) großen Einfluss auf die Bestandsituationen der Unternehmen.

Abbildung 11 verdeutlicht diese Zusammenhänge am Beispiel des BTS-Zulieferers 1:

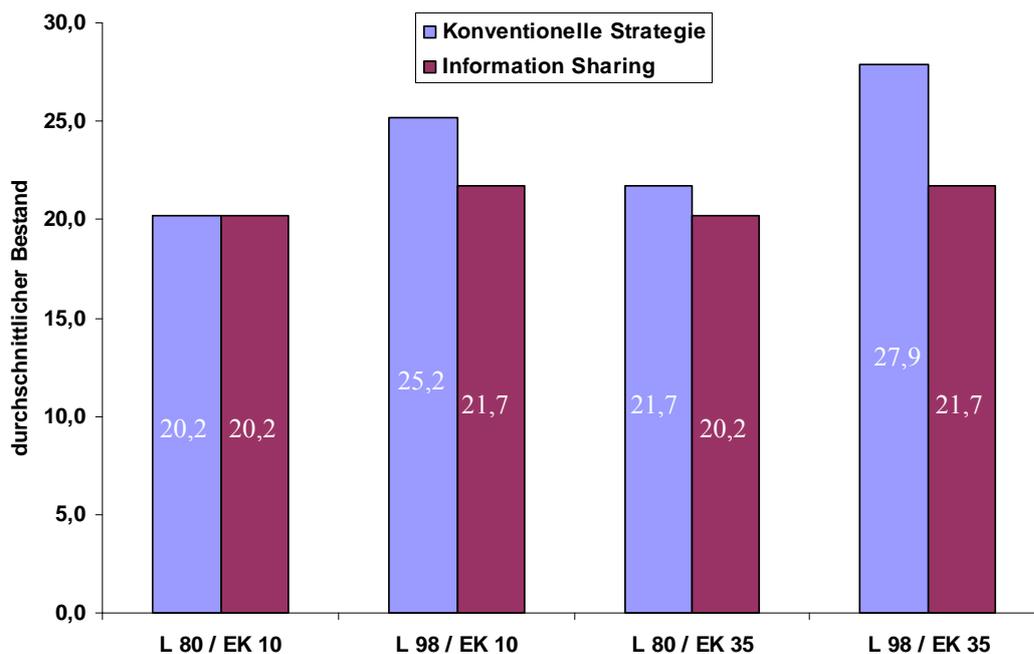


Abbildung 11: Bestandssituationen BTS-Zulieferer 1 bei versch. Szenarien

Der strategiebezogene Variationsparameter „Endkundenbedarfsinformation“ (siehe hierzu Kapitel 2.3.4) hat im Rahmen des Information Sharing den größten Einfluss auf die Bestandssituation. Durch die Übermittlung des jeweils aktuellen Endkundenbedarfs (im vorliegenden Modell Händlerbedarf) an alle Geschäftspartner des Logistiknetzwerkes, werden unternehmensinterne Absatzprognosen um ein Vielfaches genauer, als durch konventionelle Prognosen, basierend auf vergangenheitsbezogenen Bestellungen des jeweiligen Kunden.

Die nachfolgenden zwei Tabellen (**Tabelle 9, Tabelle 10**) zeigen detailliert die erhaltenen Simulationsergebnisse in Zusammenhang mit den durchschnittlichen Beständen der Akteure. Aus den Tabellen lässt sich entnehmen, dass sich das IS unterschiedlich stark auf die Bestandssituationen der Unternehmen auswirkt, je nachdem welche Bedarfsschwankung sowie Produktionsauslastung der Unternehmen vorherrscht. Die signifikantesten Verbesserungen durch ein IS sind bei einer hohen Bedarfsschwankung und zugleich einem hohen Auslastungsgrad der Akteure zu erwarten. Ferner zeigt **Tabelle 10**, dass insbesondere die Supply Chain upstream, die Zulieferer, von den Bestandsverbesserungen profitieren.

5.2 Auswirkungen des Information Sharing auf die Auslastung

Die Analyse der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Zielgröße Auslastungsgrad macht deutlich, dass die Strategie des IS auch hier Verbesserungen gegenüber der Konventionellen Strategie erzielt. Das Werk ist hierbei derjenige Akteur des Logistiknetzwerkes, der am stärksten vom Konzept des IS profitiert. So kann durch eine Informationsübermittlung zwischen den Unternehmen die jeweilige Auslastung gleichmäßiger gestaltet werden. Die Produktionsauslastung wird insgesamt durch das IS geglättet – „Auslastungsspitzen und -täler“ sind weniger stark ausgeprägt. **Abbildung 12** (Konventionelle Strategie) und **Abbildung 13** (Information Sharing) verdeutlichen den Effekt am Beispiel des Werkes bei einer Bedarfsschwankung von 35% und einer Auslastung von 98% (Szenario EK 35 / L 98).

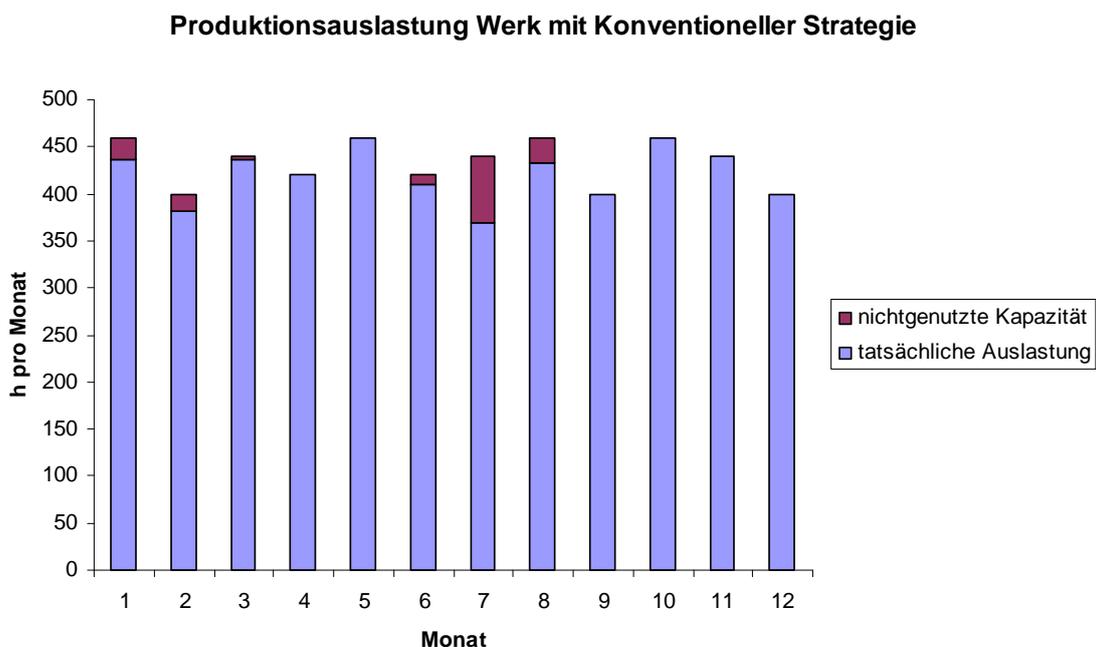


Abbildung 12: Produktionsauslastung Werk (mit KS)

(Szenario EK 35 / L 98)

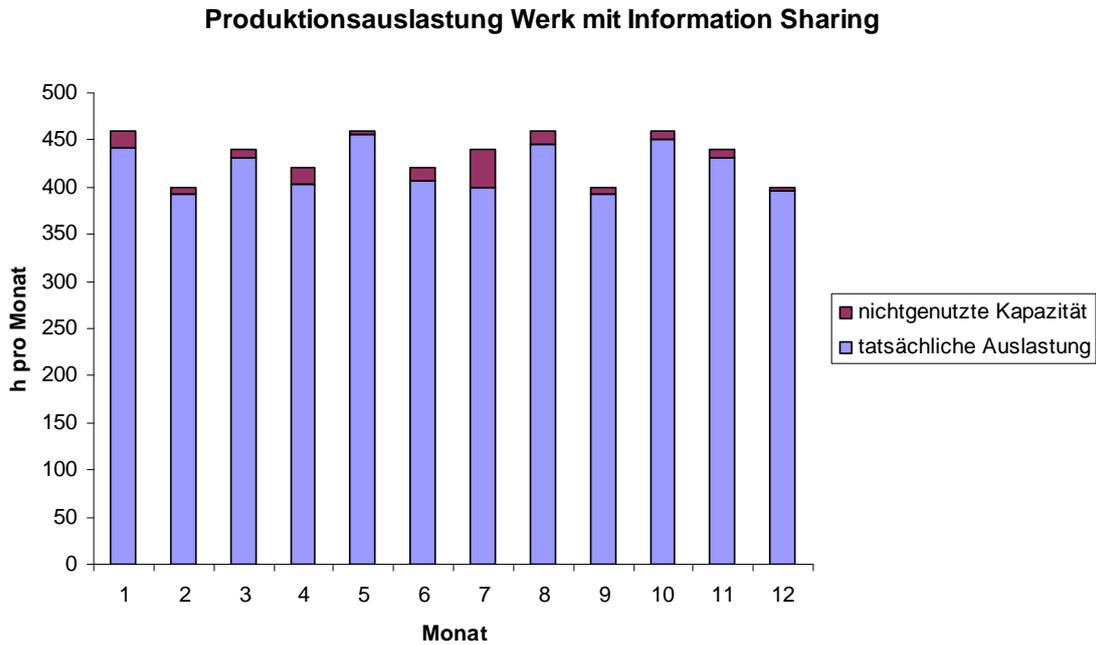


Abbildung 13: Produktionsauslastung Werk (mit IS)

(Szenario EK 35 / L 98)

Aus den beiden Abbildungen geht hervor, dass das Werk durch die Nutzung von planungsrelevanten Informationen der Zulieferer eine gleichmäßigere Auslastung der Produktionskapazitäten erreicht. Da die nichtgenutzten Kapazitäten gleichmäßiger auf die Monate verteilt sind, ließe sich, im Falle weiterer Bestellungen des Händlers, die Produktionsplanung für Produkt A einfacher durchführen. Unter der Annahme, dass sich die Bedarfsschwankungen zukünftig nicht immens verändern, könnte das Werk somit weitere Zusatzaufträge annehmen und damit die Auslastung, sofern gewünscht, auf Grenzlast bzw. Volllast "fahren".

Die Glättung der Produktionsauslastung fällt wiederum nicht so stark ins Gewicht, wenn eine andere Ausgangssituation gewählt wird. So kann bei einer geringeren Bedarfsschwankung lediglich mit einer relativ kleinen Optimierung der Lastsituation gerechnet werden. Anschaulich zeigen dies Abbildung 14 und Abbildung 15 wiederum am Beispiel des Werkes. Während sich bei Szenario EK 35 / L 98 (Abbildung 14) eine relativ starke Glättung durch den Einsatz von IS erreichen lässt, ist die Verbesserung bei einem Szenario EK 10 / L 98 (Abbildung 15) wesentlich geringer.

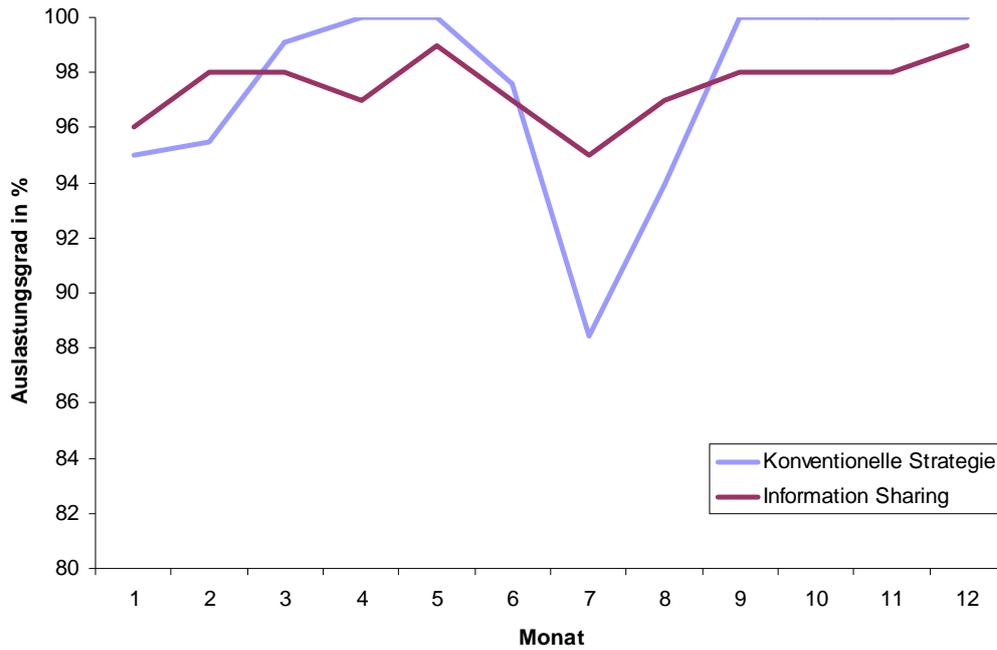


Abbildung 14: Produktionsauslastung Werk Szenario EK 35 / L 98

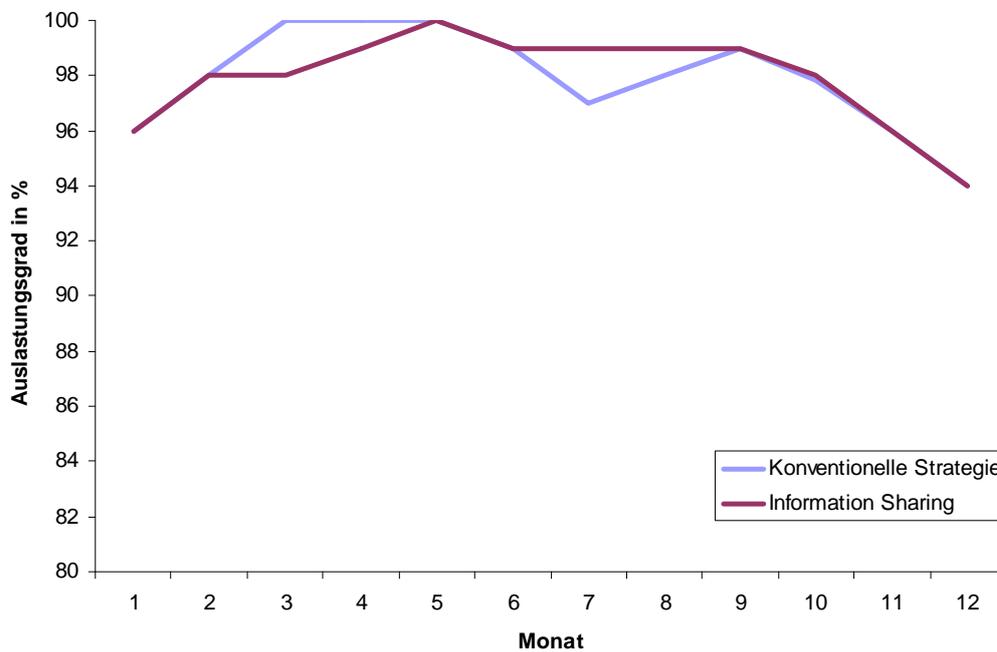


Abbildung 15: Produktionsauslastung Werk Szenario EK 10 / L 98

Einfache statistische Methoden (Standardabweichung und Varianz) dienen im Weiteren als ein Maß, um die genauen Unterschiede der Glättung bei den beiden gewählten Szenarien analysieren zu können. Folgende zwei Tabellen zeigen die Unterschiede der Glättung der Produktionsauslastung beim Werk auf Monatsbasis, einerseits bei einer Bedarfsschwankung von 10% (**Tabelle 10**), andererseits bei einer Bedarfsschwankung in Höhe von 35% (**Tabelle 11**).

Monat	Bedarfsschwankung 10%	
	KS	IS
2007, Januar	96	96
2007, Februar	98	98
2007, März	100	98
2007, April	100	99
2007, Mai	100	100
2007, Juni	99	99
2007, Juli	97	99
2007, August	98	99
2007, September	99	99
2007, Oktober	98	98
2007, November	96	96
2007, Dezember	94	94
Stabw	1,88	1,73
%		8,03
Varianz	3,54	2,99
%		15,41

Tabelle 10: Vgl. d. Strategien bzgl. Auslastung (Bedarfsschwankung 10%)

Monat	Bedarfsschwankung 35%	
	KS	IS
2007, Januar	95	96
2007, Februar	96	98
2007, März	99	98
2007, April	100	97
2007, Mai	100	99
2007, Juni	98	97
2007, Juli	88	95
2007, August	94	97
2007, September	100	98
2007, Oktober	100	98
2007, November	100	98
2007, Dezember	100	99
Stabw	3,64	1,17
%		67,92
Varianz	13,25	1,36
%		89,71

Tabelle 11: Vgl. d. Strategien bzgl. Auslastung (Bedarfsschwankung 35%)

Durch weitere Analysen wird ferner deutlich, dass das Information Sharing bei verlängerten Lieferzeiten keine Auswirkungen auf die Auslastungssituation der Unternehmen hat. Es konnten demnach bei verschiedenen Szenarien (sowohl mit als auch ohne verlängerte Lieferzeiten) keinerlei Veränderungen der Produktionsauslastung der Unternehmen beobachtet werden. Die Bewertung der Auslastungssituationen bei verschiedenen Szenarien zeigen jedoch deutlich, dass sich ein Information-Sharing-Konzept lediglich dann lohnt, wenn eine deutliche Fluktuation des Endkundenbedarfs vorherrscht. Nur unter dieser Voraussetzung lässt sich eine relativ gleichmäßige Produktionsauslastung herbeiführen.

Im Gegensatz zur Form der Bedarfsverläufe, hat die Höhe des Auslastungsgrades keinen sichtbaren Einfluss auf das Ausmaß der Glättung der Produktionsauslastung. Dies bedeutet, dass sich bereits bei einem geringen Auslastungsgrad der Unternehmen Glättungseffekte erzielen lassen. Ob diese für sich allein allerdings den Aufwand für die Planung, Implementierung und den Betrieb eines Information-

Sharing-Konzeptes rechtfertigen, bleibt äußerst fraglich. Hier könnte eine Kosten-Nutzen-Analyse gegebenenfalls Klarheit verschaffen.

5.3 Auswirkungen des Information Sharing auf die Termintreue

Die Termintreue ist eine sehr wichtige Zielgröße, da sie unter anderem auch den Endkunden betrifft und über sein zukünftiges Kaufverhalten maßgeblich mitentscheidet. Eine schlechte Termintreue drückt sich durch einen hohen bzw. häufigen Lieferverzug der bestellten Produkte oder Teile aus. Eine hohe Termintreue bedeutet dagegen, dass die bestellten Produkte zum gewünschten Termin, also auch nicht zu früh, beim Kunden eintreffen.

Durch die Simulation des erstellten Modells, können im Folgenden klare Aussagen über den Einfluss des IS auf die Termintreue getroffen werden. So zeigen die Ergebnisse, dass die Termintreue des Logistiknetzwerkes entscheidend von der Auslastungssituation der jeweiligen Unternehmen abhängt. Herrscht so beispielsweise eine geringe Produktionsauslastung (z.B. 80%), so kann keine oder lediglich eine geringe Verbesserung der Termintreue erreicht werden. Sind die Auftragsbücher der Unternehmen hingegen voll, herrscht also Grenzlast oder gar Volllast, dann lässt sich durch IS die Termintreue der Supply Chain erhöhen.

Auch die Bedarfsschwankung hat Einfluss auf die Termintreue, wenngleich etwas geringer als die Auslastungssituation der Akteure. Die Ergebnisse der Termintreue bei verschiedenen Szenarien ist in Abbildung 16 dargestellt.

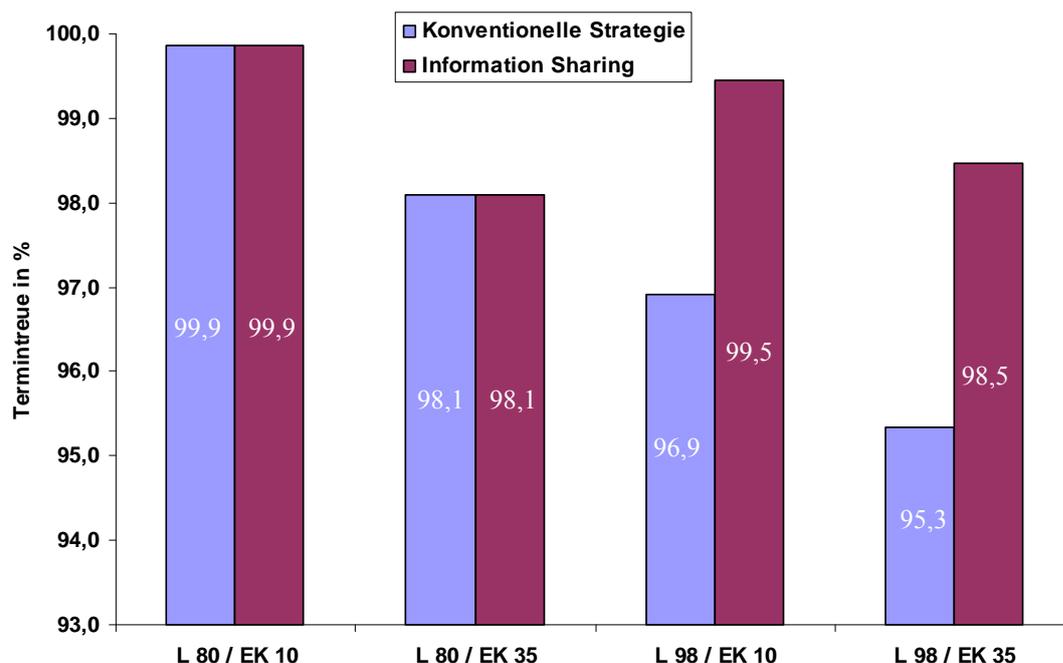


Abbildung 16: Termintreue der SC bei verschiedenen Szenarien

Aus **Abbildung 16** lässt sich entnehmen, dass sich die Termintreue der SC bei einem Auslastungsgrad der Unternehmen von 80% nicht erhöhen lässt – sowohl bei einer niedrigen (10%) als auch bei einer starken Bedarfsschwankung (35%). Sind die Produktionskapazitäten der Unternehmen hingegen weitestgehend ausgeschöpft (Grenzlast bei 98%), so zeigt sich eine deutliche Verbesserung der Termintreue der SC durch das Information Sharing. Insbesondere bei einer zusätzlich hohen Bedarfsschwankung (35%), erscheint das IS hinsichtlich der Zielgröße „Termintreue“ äußerst lohnenswert.

Was die Szenarien der Lieferzeiten angeht, so zeigt **Tabelle 5** exemplarisch, dass sich durch den Einsatz des IS bei verlängerten Lieferzeiten der BTS-Zulieferer 1 und 2 die Termintreue verbessern lässt. Es ist zu erkennen, dass die Termintreue bei verlängerten Lieferzeiten im Vergleich zur

Ausgangssituation nicht mehr so gut ist – der Lieferverzug ist demnach größer. Durch die Strategie des Information Sharing kann die Termintreue jedoch um durchschnittlich 2% gegenüber der Konventionellen Strategie verbessert werden. Diese Ergebnisse implizieren, dass das IS hinsichtlich der Termintreue des gesamten Logistiknetzwerkes bei langen Lieferzeiten von Nutzen ist.

Termintreue	L 98			
	Konventionell		IS	
	EK 35	EK 35 / LZ 2	EK 35	EK 35 / LZ 2
2007, Januar	80%	78%	82%	80%
2007, Februar	96%	95%	99%	97%
2007, März	97%	95%	100%	97%
2007, April	98%	97%	100%	98%
2007, Mai	97%	96%	100%	98%
2007, Juni	96%	94%	100%	96%
2007, Juli	97%	97%	100%	99%
2007, August	95%	95%	100%	96%
2007, September	98%	97%	100%	98%
2007, Oktober	99%	97%	100%	98%
2007, November	97%	97%	100%	98%
2007, Dezember	95%	94%	100%	96%
Durchschnitt	95%	94%	98%	96%

Tabelle 5: Vgl. der Termintreue bei einer verlängerten Lieferzeit

(bei einer Bedarfsschwankung von 35% und einer Produktionsauslastung von 98%)

Nachfolgende **Abbildung 17** zeigt qualitativ die zu erwartenden Verbesserungen hinsichtlich der Termintreue, die bei verschiedenen Bedarfsschwankungen durch den Einsatz eines IS-Konzeptes zu erwarten sind.

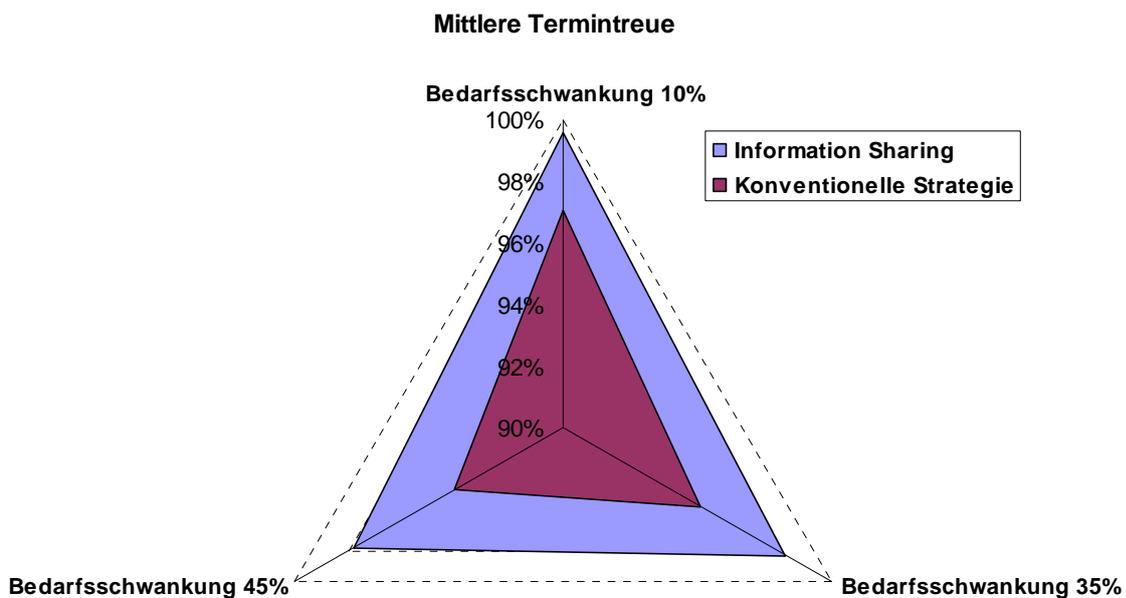


Abbildung 17: Mittlere Termintreue bei versch. Bedarfsschwankungen

(jeweils bei Auslastungsgrad 98%)

Es lässt sich deutlich erkennen, dass in allen drei Fällen jeweils eine Verbesserung der Termintreue zu erzielen ist. Erwartungsgemäß ist die Termintreue bei einer geringen Schwankung des Endkundenbedarfs (10%) bei beiden Strategien höher, als bei einer starken Bedarfsschwankung (35%, 45%). Der größte Nutzen durch den Einsatz des Information Sharing wird bei einer hohen Bedarfsschwankung erzielt. Der Verbesserungsvorrat vergrößert sich hierbei überproportional zur Steigerung der Bedarfsschwankung. Umso stärker also die Bedarfsschwankung ist, desto größer ist die mögliche Verbesserung der Termintreue durch IS. Demnach ist die größte Verbesserung der Termintreue im betrachteten Fall bei einer Bedarfsschwankung von 45% zu erzielen. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse noch einmal quantitativ.

Bedarfsschwankung \ Strategie	Konventionelle Strategie	Information Sharing	
	Termintreue	Termintreue	Lieferverzug
10%	97,05%	99,60%	-2,55%
35%	95,10%	98,30%	-3,20%
45%	94,00%	97,80%	-3,80%

Tabelle 6: Vergleich beider Strategien bezüglich Termintreue

(bei einem Auslastungsgrad von 98%)

Um im Weiteren bessere Aussagen bezüglich des Nutzens des Information Sharing hinsichtlich der Termintreue der Supply Chain treffen zu können, werden verschiedene Kombinationen von Szenarien miteinander verglichen. Die Ergebnisse der Simulationen zeigen Tabelle 7 und **Tabelle 8**.

Wie sich aus Tabelle 7 entnehmen lässt, sind bei einer geringen Produktionsauslastung der Unternehmen (80%) kaum Verbesserungen der Termintreue durch das IS zu erzielen. Dagegen zeigt sich bei einer Grenzlast (98%), insbesondere bei einer zusätzlichen starken Bedarfsschwankung (45%), eine relativ gute Verbesserung der Termintreue in Höhe von ca. 4%. Die Differenz der Termintreue kann zugleich als Reduzierung des Lieferverzuges aufgefasst werden.

Tabelle 8 verdeutlicht nochmals die prozentualen Verbesserungen der durchschnittlichen Termintreue durch das IS. Interessant ist dabei, dass die Höhe der Auslastung einen größeren Einfluss auf die Verbesserung der Termintreue hat, als das Ausmaß der Bedarfsschwankung. So kann beispielsweise beobachtet werden, dass die Verbesserung der Termintreue mit steigender Produktionsauslastung der Unternehmen stark zunimmt, während zugleich die Verbesserung bei steigender Bedarfsschwankung (10% - 45%) immer geringer wird. Dieser Zusammenhang kann damit erklärt werden, dass bei einer geringen Produktionsauslastung noch ausreichend Restkapazität vorhanden ist, um auch eine relative starke Bedarfsschwankung termingerecht erfüllen zu können. Bei einem hohen Auslastungsgrad hingegen, kann bereits eine geringe Bedarfsschwankung zu Lieferverzug führen. Die Strategie des Information Sharing wirkt sich deshalb besonders signifikant bei einer hohen und vergleichsweise relativ schwach bei einer geringen Produktionsauslastung der Unternehmen aus.

Auslastungsgrad Strategie		80%			
		KS		IS	
Bedarfsschwankung		Ø Termintreue	Ø Termintreue	Differenz abs.	Differenz %
10%		99,87%	99,87%	0,0000	0,00%
25%		98,92%	98,92%	0,0000	0,00%
35%		98,08%	98,08%	0,0000	0,00%
45%		97,55%	98,36%	-0,0081	-0,83%
Auslastungsgrad Strategie		95%			
		KS		IS	
Bedarfsschwankung		Ø Termintreue	Ø Termintreue	Differenz abs.	Differenz %
10%		97,84%	98,47%	-0,0063	-0,64%
25%		96,66%	99,39%	-0,0273	-2,83%
35%		95,89%	99,00%	-0,0311	-3,25%
45%		94,75%	98,51%	-0,0376	-3,97%
Auslastungsgrad Strategie		98%			
		KS		IS	
Bedarfsschwankung		Ø Termintreue	Ø Termintreue	Differenz abs.	Differenz %
10%		97,05%	99,60%	-0,0255	-2,63%
25%		96,17%	99,03%	-0,0286	-2,97%
35%		95,10%	98,30%	-0,0320	-3,36%
45%		94,00%	97,80%	-0,0380	-4,04%

Tabelle 7: Vgl. der Termintreue versch. Szenarien

Bedarfsschwankung Auslastungsgrad		10%	25%	35%	45%
		Differenz %	Differenz %	Differenz %	Differenz %
80%		0,00%	0,00%	0,00%	-0,83%
95%		-0,64%	-2,83%	-3,25%	-3,97%
98%		-2,63%	-2,97%	-3,36%	-4,04%

Tabelle 8: Verbesserung der Termintreue bei verschiedenen Szenarien

Auslastungsgrad		80%				
		KS		IS		
Bedarfsschwankung		Akteur	Ø-Bestand	Ø-Bestand	Differenz abs.	Differenz %
10%	Werk		13,91	13,89	-0,02	-0,16%
	BTO-Zulieferer		75,96	75,54	-0,42	-0,55%
	BTS-Zulieferer 1		20,22	20,22	0,00	-0,01%
	BTS-Zulieferer 2		20,37	20,36	-0,01	-0,04%
25%	Werk		13,97	13,83	-0,14	-0,98%
	BTO-Zulieferer		76,79	75,74	-1,05	-1,36%
	BTS-Zulieferer 1		20,83	19,81	-1,02	-4,91%
	BTS-Zulieferer 2		20,91	19,62	-1,29	-6,15%
35%	Werk		14,03	13,76	-0,27	-1,91%
	BTO-Zulieferer		76,92	72,32	-4,60	-5,98%
	BTS-Zulieferer 1		21,66	20,16	-1,50	-6,92%
	BTS-Zulieferer 2		22,17	20,26	-1,90	-8,59%
45%	Werk		14,19	13,76	-0,43	-3,01%
	BTO-Zulieferer		77,23	71,88	-5,35	-6,93%
	BTS-Zulieferer 1		22,02	19,93	-2,09	-9,49%
	BTS-Zulieferer 2		22,75	20,37	-2,38	-10,48%
Auslastungsgrad		95%				
Bedarfsschwankung		Akteur	Ø-Bestand	Ø-Bestand	Differenz abs.	Differenz %
10%	Werk		14,04	13,90	-0,14	-0,96%
	BTO-Zulieferer		77,80	71,01	-6,79	-8,73%
	BTS-Zulieferer 1		25,12	21,66	-3,46	-13,76%
	BTS-Zulieferer 2		26,86	22,87	-3,98	-14,84%
25%	Werk		14,45	14,21	-0,24	-1,65%
	BTO-Zulieferer		78,58	70,36	-8,22	-10,47%
	BTS-Zulieferer 1		25,80	21,65	-4,14	-16,07%
	BTS-Zulieferer 2		27,49	22,27	-5,22	-19,00%
35%	Werk		14,63	14,10	-0,53	-3,61%
	BTO-Zulieferer		79,45	67,92	-11,53	-14,51%
	BTS-Zulieferer 1		26,95	21,62	-5,33	-19,78%
	BTS-Zulieferer 2		30,90	23,98	-6,93	-22,41%
45%	Werk		14,83	13,91	-0,92	-6,18%
	BTO-Zulieferer		80,13	66,16	-13,97	-17,43%
	BTS-Zulieferer 1		28,60	22,29	-6,32	-22,08%
	BTS-Zulieferer 2		33,55	25,17	-8,38	-24,98%
Auslastungsgrad		98%				
Bedarfsschwankung		Akteur	Ø-Bestand	Ø-Bestand	Differenz abs.	Differenz %
10%	Werk		14,07	13,93	-0,14	-0,98%
	BTO-Zulieferer		78,05	70,66	-7,39	-9,47%
	BTS-Zulieferer 1		25,18	21,65	-3,53	-14,01%
	BTS-Zulieferer 2		26,93	22,67	-4,26	-15,82%
25%	Werk		14,93	14,68	-0,26	-1,71%
	BTO-Zulieferer		81,24	71,11	-10,13	-12,46%
	BTS-Zulieferer 1		26,67	21,86	-4,81	-18,03%
	BTS-Zulieferer 2		28,42	22,05	-6,37	-22,43%
35%	Werk		15,12	14,45	-0,67	-4,43%
	BTO-Zulieferer		82,14	68,85	-13,29	-16,18%
	BTS-Zulieferer 1		27,86	21,74	-6,12	-21,98%
	BTS-Zulieferer 2		31,95	23,57	-8,37	-26,21%
45%	Werk		15,33	14,23	-1,10	-7,19%
	BTO-Zulieferer		82,83	66,61	-16,23	-19,59%
	BTS-Zulieferer 1		29,57	22,36	-7,21	-24,37%
	BTS-Zulieferer 2		34,68	24,56	-10,12	-29,18%

Tabelle 9: Vgl. der durchschnittl. Bestände bei versch. Szenarien

Auslastungsgrad		80%	95%	98%
Akteur	Bedarfsschwankung	Differenz %	Differenz %	Differenz %
Werk	10%	-0,16%	-0,96%	-0,98%
	25%	-0,98%	-1,65%	-1,71%
	35%	-1,91%	-3,61%	-4,43%
	45%	-3,01%	-6,18%	-7,19%
BTO-Zulieferer	10%	-0,55%	-8,73%	-9,47%
	25%	-1,36%	-10,47%	-12,46%
	35%	-5,98%	-14,51%	-16,18%
	45%	-6,93%	-17,43%	-19,59%
BTS-Zulieferer 1	10%	-0,01%	-13,76%	-14,01%
	25%	-4,91%	-16,07%	-18,03%
	35%	-6,92%	-19,78%	-21,98%
	45%	-9,49%	-22,08%	-24,37%
BTS-Zulieferer 2	10%	-0,04%	-14,84%	-15,82%
	25%	-6,15%	-19,00%	-22,43%
	35%	-8,59%	-22,41%	-26,21%
	45%	-10,48%	-24,98%	-29,18%

Tabelle 10: Senkung der durchschnittl. Bestände durch IS

5.4 Auswirkungen des Information Sharing auf alle Zielgrößen

Im Folgenden werden zusammenfassend die Auswirkungen des Information Sharing auf alle drei Zielgrößen dargestellt. Dadurch wird eine Vergleichsbasis beider Strategien geschaffen, die es im Weiteren ermöglicht allgemeine Aussagen über den Nutzen eines IS-Konzeptes treffen zu können.

Grundsätzlich lässt sich der größte Verbesserungsvorrat bezüglich der drei untersuchten Zielgrößen „Bestände“, „Auslastungsgrad“ und „Terminreue“ bei einer hohen Produktionsauslastung der Unternehmen erzielen. Deshalb zeigen nachfolgende Tabellen (Tabelle 13, Tabelle 14, Tabelle 15) die durch den Einsatz von IS zu erwartenden prozentualen Verbesserungen der Zielgrößen bei einer Grenzlast von 98% sowie unterschiedlichen Bedarfssituationen.

Bedarfsschwankung		10%		
Zielgröße		Bestände	Stabw Auslastungsgrad	Lieferverzug*
Akteur				
Werk		-1%	-8%	
BTO-Zulieferer		-9%	-3%	
BTS-Zulieferer 1		-14%	-5%	
BTS-Zulieferer 2		-16%	-5%	
BTS-Zulieferer 3			-5%	
Supply Chain gesamt		-10%	-5%	-3%

Tabelle 13: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 10%)

(* bei Auslastungsgrad 98%)

Bedarfsschwankung		35%		
Zielgröße		Bestände	Stabw Auslastungsgrad	Lieferverzug*
Akteur				
Werk		-4%	-60%	
BTO-Zulieferer		-16%	-15%	
BTS-Zulieferer 1		-22%	-25%	
BTS-Zulieferer 2		-26%	-25%	
BTS-Zulieferer 3			-25%	
Supply Chain gesamt		-17%	-30%	-3,20%

Tabelle 14: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 35%)

(* bei Auslastungsgrad 98%)

Bedarfsschwankung		45%		
Zielgröße		Bestände	Stabw Auslastungsgrad	Lieferverzug*
Akteur				
Werk		-7%	-72%	
BTO-Zulieferer		-20%	-25%	
BTS-Zulieferer 1		-24%	-41%	
BTS-Zulieferer 2		-29%	-41%	
BTS-Zulieferer 3			-41%	
Supply Chain gesamt		-20%	-44%	-3,80%

Tabelle 15: Auswirkungen des IS auf Zielgrößen (Bedarfsschwankung 45%)

(* bei Auslastungsgrad 98%)

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, lassen sich durch den Einsatz des Information Sharing signifikante Verbesserungen aller drei Zielgrößen erreichen. Bereits bei einer Bedarfsschwankung von 10% und einem Auslastungsgrad von 98% zeigen sich Unterschiede zur Konventionellen Strategie. Bei diesem Szenario lässt sich insbesondere die Termintreue der SC verbessern, während bei der Zielgröße „Bestände“ fast ausschließlich die Zulieferer profitieren. Bei einer signifikanten Bedarfsschwankung (45%) hingegen, zeigt sich das IS-Konzept auch für das Werk in allen drei Zielgrößen als äußerst nutzvoll (**Tabelle 15**).

Was die einzelnen Unternehmen der Supply Chain betrifft, können folgende Aussagen bezüglich der Zielgrößen festgehalten werden:

- Werk:

Das Werk profitiert durch den Einsatz von IS fast ausschließlich in den Zielgrößen Auslastungsgrad und Termintreue. Die Produktionsauslastung ist im Vergleich zur Konventionellen Strategie gleichmäßiger. Die verbesserte Termintreue der Supply Chain kommt insbesondere dem Werk zu gute. Die Bestände des Werkes hingegen können durch ein IS-Konzept nur geringfügig gesenkt werden. Die Strategie des IS ist hinsichtlich dieser Zielgröße eher unbedeutend für das Werk.

- BTO-Zulieferer:

Der BTO-Zulieferer erzielt seinen Nutzen im Rahmen des IS vorwiegend aus der Senkung seiner Bestände. So kann dieser bereits bei einer geringen Bedarfsschwankung seine Bestandsituation beachtlich verbessern. Die Verbesserung der Auslastungssituation hingegen, ist relativ gering und daher als unbedeutend zu bewerten.

- BTS-Zulieferer:

Die BTS-Zulieferer profitieren in mehrfacher Hinsicht. Bei ihnen können durch ein IS sowohl die Bestände stark gesenkt, als auch die Auslastungssituation beachtlich verbessert werden.

- Alle Unternehmen:

Die Termintreue der gesamten Supply Chain kann durch das Information Sharing verbessert werden. Beachtlich ist insbesondere die Reduzierung des Lieferverzugs bei einer hohen Produktionsauslastung der Akteure und zeitgleich starken Schwankung des Endkundenbedarfs.

Alle Unternehmen der Supply Chain profitieren also von der Strategie des Information Sharing. Das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk kann durch ein IS-Konzept optimiert werden, jedoch ist dessen Wirkungsgrad sowohl von der Schwankung des Endkundenbedarfs als auch von der Auslastungssituation der Unternehmen abhängig. Die folgenden Abbildungen geben nochmals einen

Überblick bezüglich der durchschnittlichen Verbesserungen der Zielgrößen der gesamten Supply Chain (bei einer Produktionsauslastung von 98% sowie verschiedenen Bedarfsschwankungen).

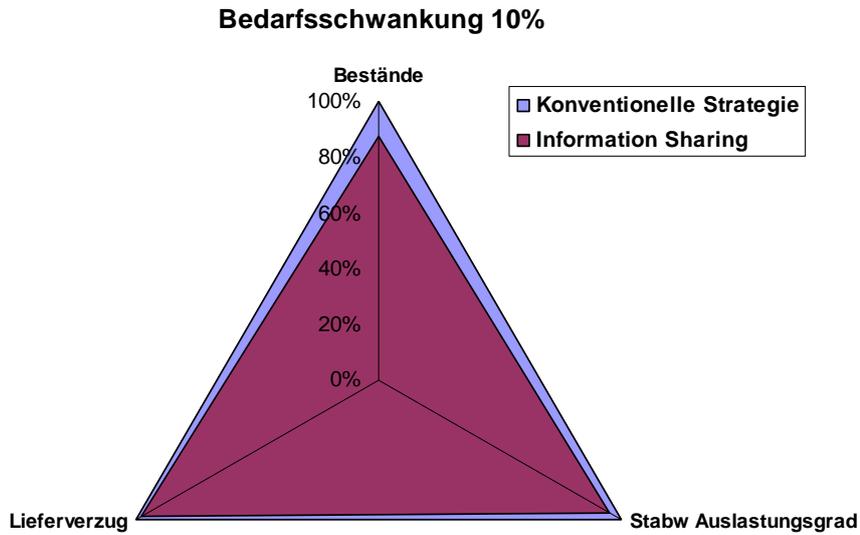


Abbildung 18: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 10

(bei einem Auslastungsgrad von 98%)

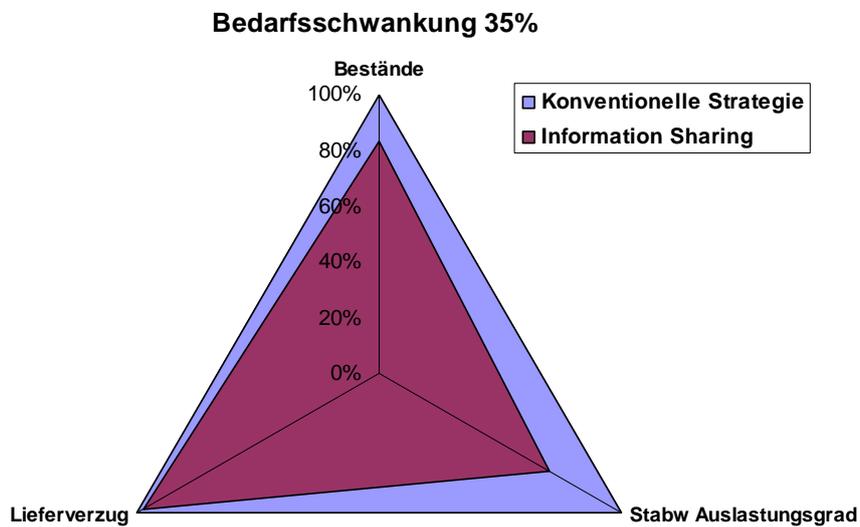


Abbildung 19: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 35

(bei einem Auslastungsgrad von 98%)

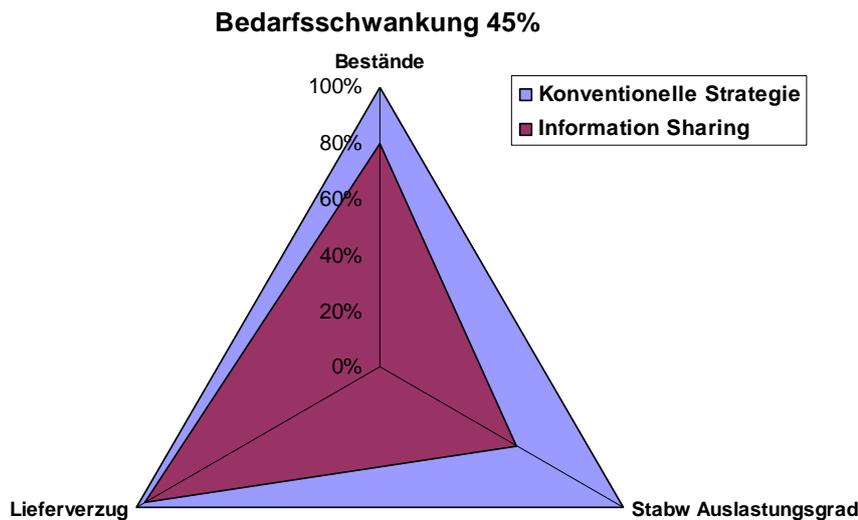


Abbildung 20: Durchschnittl. Verbesserung der Zielgrößen bei EK 45

(bei einem Auslastungsgrad von 98%)

Die Verbesserungen der Zielgröße „Termintreue“ (Reduzierung des Lieferverzuges) sind nach prozentualem Maßstab zwar nur recht gering, jedoch bedeutet bereits eine kleine Reduzierung des Lieferverzugs einen erheblichen Nutzen für die gesamte Supply Chain. Zur Beurteilung dieser Zielgröße sollte deshalb besser **Abbildung 17** (S. 64) herangezogen werden.

Die in Kapitel 2.5 formulierten Hypothesen konnten in diesem Kapitel aufgrund der Simulationsergebnisse bestätigt werden. Demnach zeigt sich die größte Wirksamkeit des Information Sharing bei einer hohen Produktionsauslastung der Unternehmen der SC sowie bei einer starken Schwankung des Endkundenbedarfs. Basierend auf den Simulationsergebnissen kann weiterhin festgehalten werden, dass die Hauptprofiteure eines IS-Konzeptes die vorgelagerten Stufen des Logistiknetzwerkes sind. Wie den Tabellen 16, 17, 18 zu entnehmen ist, liegen die prozentualen Verbesserungen der durchschnittlichen Bestände der BTS-Zulieferer bei allen Szenarien über jenen der gesamten Supply Chain. Aufgrund dieser teils signifikanten Reduzierung der durchschnittlichen Bestände der BTS-Zulieferer durch das IS, sind sie es, die den größten Nutzen aus dieser Strategie ziehen.

6 Fazit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, die Auswirkungen des Information Sharing am Beispiel einer Supply Chain zu untersuchen und zu bewerten, wird erfüllt. Auch konnte, mittels der durchgeführten Simulationsexperimente, die grundlegende Hypothese bekräftigt werden, dass eine Informationsweitergabe zwischen den Unternehmen der Supply Chain eine Optimierung der unternehmensinternen (Bestände, Auslastungsgrad), aber auch der netzwerkweiten Zielgrößen (Termintreue) ermöglicht. Die Simulationsergebnisse zeigen – wie auch jene von Chatfield et al. sowie weiterer Simulationsstudien – dass durch die Strategie des Information Sharing vor allem die vorgelagerten Stufen der Supply Chain profitieren. Hier wiederum ist es insbesondere die Senkung der Bestände, die den größten Nutzen für die Zulieferer bringt. Das Werk dagegen zieht seinen Nutzen hauptsächlich aus einer gleichmäßigeren Produktionsauslastung sowie durch die Verbesserung der Termintreue. Die Simulationsergebnisse verdeutlichen zudem, dass das Ausmaß der Auswirkungen des Information Sharing sowohl von der Schwankung des Endkundenbedarfs, als auch von der Auslastungssituation der Unternehmen abhängig ist. Sind diese beiden gleichzeitig relativ hoch, so resultieren signifikante Verbesserungen aus der Strategie des IS für alle Unternehmen der Supply Chain. Grundsätzlich ist das Information Sharing im Hinblick auf eine effiziente Zusammenarbeit der Geschäftspartner der SC als außerordentlich nutzvoll einzustufen. Zwar gilt es auch die Kostenseite für die Planung, Implementierung sowie den Betrieb eines IS-Konzeptes zu berücksichtigen, jedoch dürften sich diese Kosten sehr schnell amortisieren.

7 Literatur

- [AGB06] Arbeitsgruppe für angewandte Biomechanik, Humboldt Universität Berlin. http://www2.hu-berlin.de/biomechanik/Seminare/Methoden/Modell/Modell_Val.htm, Stand 17.01.2007.
- [Bos94] Bossel, H.: Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig: Vieweg Verlag, 2.Auflage, 1994.
- [Cha04] Chatfield, D.; Kim, J.; Harrison, T.; Hayya, J.: The Bullwhip Effect – Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality and Information Sharing. In: Production and Operations Management 13(4), S. 340-353, 2004.
- [Che00] Chen, F.; Samroengraja, R.: The Stationary Beer Game. In: Production and Operations Management 9(1), S. 19-30, 2000.
- [Dej04] Dejonckheere, J.; Disney, S. M.; Lambrecht, M. R., Towill, D. R.: The Impact of Information Enrichment on the Bullwhip Effect in Supply Chains: A Control Theoretic Approach. In: European Journal of Operations Research 153(1), S. 727-750, 2004.
- [GWi06] Große-Wilde, J.: Bestandsaufnahme zum Einsatz simulativer Methoden für die Entscheidungsunterstützung im Supply Chain Management. FORWIN – Bayrischer Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik, FORWIN-Berichts-Nr.: FWN-2006-002. Bamberg, Bayreuth, Erlangen-Nürnberg, Regensburg, Würzburg, 2006.
- [HöW83] Hörz, H.; Wessel, K.F.: Philosophische Entwicklungstheorie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1983.
- [Kar06] Karcher, A.: Vorlesungsunterlagen zu “Einführung in die Wirtschaftsinformatik 1”, Kapitel 8 „Simulation“. Universität der Bundeswehr München, Winter-Trimester 2006.
- [KuH02] Kuhn, A.; Hellingrath, H.: Supply Chain Management – Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Dortmund: Springer Verlag, 2002.
- [Mar04] Markwardt, U.: „Modellierung modularer Materialfluss-Systeme mit Hilfe von künstlichen neuronalen Netzen“. Dissertation, Technische Universität Dresden, Maschinenwesen, 2004. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=973322470&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=973322470.pdf, Stand 16.01.2007.
- [MiG01] Milling, P.; Größler, A.: Management von Material- und Informationsflüssen in Supply Chains: System-Dynamics-basierte Analysen. Industrieseminar, Mannheim, 2001.
- [Rob97] Robinson, S.: „Simulation model verification and validation: increasing the users’ confidence“. In: Andradottir, S. et. al. (Herausgeber): Winter Simulation Conference, S. 53-59, Atlanta (USA), 1997.
- [Tem99] Tempelmeier, H.: Material-Logistik. Berlin: Springer Verlag, 1999.
- [Tem04] Tempelmeier, H.; Kuhn, A.; Isermann, H.; Arnold, D.: Handbuch der Logistik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2004.

Sonderforschungsbereich 559

Bisher erschienene Technical Reports

- 06009 Doris Blutner, Stephan Cramer, Sven Krause, Tycho Mönks, Lars Nagel, Andreas Reinholz, Markus Witthaut: Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe 5 „Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung“
- 07001 Falko Bause, Tobias Hegmanns, Stefan Pietzarka, Veye Tatah, Markus Witthaut: Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe – Neues Problemverständnis: Ergänzung des Modellierungsparadigmas
- 07002 Arnd Bernsmann, Peter Buchholz, Stephan Kessler, Andreas Reinholz, Britta von Haaren, Markus Witthaut: Bewertungs- und Dimensionierungsmethoden im Sonderforschungsbereich 559
- 07003 Jochen Bernhard, Kay Hömberg, Lars Nagel, Iwo Riha, Christoph Schürmann, Harald Sieke, Marcus Völker: Standardisierte Modelle zur Systemlastbeschreibung
- 07004 Kay Hömberg, Jan Hustadt, Dirk Jodin, Joachim Kochsiek, Lars Nagel, Iwo Riha: Basisprozesse für die Modellierung in großen Netzen der Logistik
- 07005 Kay Hömberg, Dirk Jodin, Reineke: Bewertung und Kategorisierung der Methoden zur Datenerhebung
- 07006 Jochen Bernhard, Miroslaw Dragan: Bewertung der Informationsgüte in der Informationsgewinnung für die modellgestützte Analyse großer Netze der Logistik
- 07007 Britta von Haaren, Tatjana Malyshko: Integration of Velos-Simulation-Results into the Supply Chain Balanced Scorecard
- 07008 Britta von Haaren, Ivana Humpolcová: Ansätze zur Systematisierung des Instrumentariums zum Supply-Chain-Risikomanagement
- 08001 Jan Hombergs, Iwo Riha: Softwareauswahl für den Einsatz von Cost Benefit Sharing in Logistiknetzwerken
- 08002 Jörg Zellerhoff: Modellierung eines Informationssystems für ein ‚Virtuelles Lager‘
- 08003 Egon Jehle: Bereitstellungswege- und organisatorische Zuordnungsmodelle für das Supply Chain Finance
- 08004 Dietmar Ebel: Bestandsmanagement im „Virtuellen Lager“
- 08005 Niklas Hering, Markus Witthaut, Gökhan Yüzgülec: Simulativer Vergleich der SCM-Strategie Information Sharing mit konventionellen SCM-Strategien

Alle Technical Reports können im Internet unter
<http://www.sfb559.uni-dortmund.de/>
abgerufen werden. Für eine Druckversion wenden Sie
sich bitte an die SFB-Geschäftsstelle
E-Mail: andrea.zoeller@iml.fraunhofer.de