

DISSERTATIONSSCHRIFT

**Entwicklung eines Kennzeichnungssystems
für Rund- und Schnittholz unter Berücksichtigung
wirtschaftlicher Aspekte**

Von der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen
Fakultät der Technischen Universität Dortmund

zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)

von
Dipl.-Kfm. Jochen Schneider

aus
Herdecke

Referent: Prof. Dr. Egon Jehle
Koreferent: Prof. Dr.-Ing. Rolf Jansen

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis.....	XII
Literaturverzeichnis.....	242

1 Einleitung	1
1.1 Thematische Einführung.....	1
1.2 Erarbeitung der Ergebnisse	7
2 Stand der Technik zur Kennzeichnung von Rundholz.....	9
2.1 Kennzeichnungsmethoden für Rundholz	9
2.1.1 Farb- und Kreidemarkierung.....	9
2.1.2 Kunststoffklammern und -plättchen	10
2.2 Patentsituation.....	11
2.3 Potenziell nutzbare weitere Kennzeichnungsmethoden für Rund- und Schnittholz.....	11
2.3.1 Optischer Fingerabdruck	11
2.3.2 Transpondertechnologie.....	11
2.3.3 Druckbare Kennzeichnungen	20
2.3.4 Weitere potenzielle Kennzeichnungsverfahren.....	24
3 Prozessbeschreibung und Ableitung von Problemen	27
3.1 Teil 1: Die Holzerntekette vom Wald bis zum Sägewerk	27
3.1.1 Baumauswahl und -kennzeichnung.....	28
3.1.2 Fällung und Aufarbeitung	28
3.1.3 Rückung und Aufstapelung an der Waldstraße.....	29

3.1.4	Transport zum Sägewerk.....	31
3.1.5	Schwachstellenanalyse	33
3.2	Teil 2: Prozesse im Sägewerk.....	33
3.2.1	Anlieferung / Wareneingang	34
3.2.2	Nasslager	34
3.2.3	Kappanlage und Entrindung	35
3.2.4	Blockbandsäge.....	39
3.2.5	Resaw.....	42
3.2.6	Brettzuschnitt.....	46
3.2.7	Trocknung.....	48
3.2.8	Abschliff	49
3.2.9	Qualitätsbeurteilung.....	50
3.2.10	Versand.....	51
3.2.11	Schwachstellenanalyse	51

4 Entwicklung eines Kennzeichnungssystems für Rund- und Schnittholz 53

4.1	Teil 1: Vom Wald bis zum Sägewerk	53
4.1.1	Anforderungsbeschreibung.....	53
4.1.2	Technologieauswahl	56
4.1.3	Allgemeine Versuchsreihen.....	57
4.1.4	Praxisversuch: Fällung und Aufarbeitung	60
4.1.5	Praxisversuch: Rückung und Stapelung an der Waldstraße	78
4.1.6	Einsatz von UHF-Transpondern	83
4.2	Teil 2: Prozesse im Sägewerk.....	85
4.2.1	Anforderungsbeschreibung.....	85
4.2.2	Technologieauswahl	98
4.2.3	Priorisierung der Testphasen.....	121
4.2.4	Praxisversuch: Applikations- und Leseversuche mit Tintendirektdruck ..	123
4.3	Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen.....	147
4.3.1	Kappanlage	148
4.3.2	Blockbandsäge.....	148
4.3.3	Resaw.....	150
4.3.4	Trocknung.....	150
4.3.5	Schleiferei.....	151
4.3.6	Qualitätsbeurteilung.....	151
4.3.7	Vergleich zwischen Tinten- und Laserapplikation.....	152

5	Konzept zur Wiederverwendung von RFID-Transpondern.....	155
5.1	Ausgangssituation.....	155
5.2	Konzeptbeschreibung eines Branchenpools	156
5.2.1	Datenhaltung.....	159
5.2.2	Konzeptentwicklung	160
5.2.3	Betreiberkonzept	161
5.2.4	Datensicht	165
5.3	Konzeptbeschreibung eines Firmenpools.....	168
5.4	Umsetzbarkeit in die Praxis	169
6	Wirtschaftlichkeitsbewertung	173
6.1	Grundsätzliche Erwägungen.....	173
6.2	Teil 1: Betrachtung der Supply Chain	173
6.2.1	Kosten des RFID-Einsatzes.....	173
6.2.2	Beispielhafte Kostenberechnung mit Szenario-Analyse	174
6.2.3	Rentabilitätsanalyse.....	182
6.3	Teil 2: Prozesse im Sägewerk.....	210
6.3.1	Anlieferung	210
6.3.2	Nasslager	217
6.3.3	Kappanlage	219
6.3.4	Blockbandsäge.....	226
6.3.5	Resaw.....	229
6.3.6	Schleifstation und Qualitätsbeurteilung.....	232
6.3.7	Gesamtberechnung für die Sägewerksprozesse	237
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	239

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Markierspray und Signierkreide.....	10
Abbildung 2:	Anschlaghammer und Markierplättchen.....	10
Abbildung 4:	Hybrid-Versandetikett mit Barcodes und Transponder	14
Abbildung 5:	Transponderbauformen (Auswahl)	15
Abbildung 6:	On-Metal-Transponder (Beispiel).....	16
Abbildung 7:	Plasto-Label von Schreiner LogiData.....	17
Abbildung 8:	Beispielhafter Barcode Typ 128	20
Abbildung 9:	Beispielhafter Barcode Typ 2/5 Interleaved	20
Abbildung 10:	Mustercode OCR-A	21
Abbildung 11:	Mustercode OCR-B	21
Abbildung 12:	Beispiel für einen Codablock F Code.....	23
Abbildung 13:	Beispiel für einen Data Matrix-Code	23
Abbildung 14:	Beispiel für einen Aztec-Code	24
Abbildung 15:	Beispiel für einen QR-Code	24
Abbildung 16:	Harvester bei der Aufarbeitung	29
Abbildung 17:	Seilschlepper	30
Abbildung 18:	Forwarder beim Beladen.....	31
Abbildung 19:	Langholz-LKW.....	32
Abbildung 20:	Kurzholz-LKW beim Beladen	32
Abbildung 21:	Nasslager bei aktiver Wässerung.....	35
Abbildung 22:	Kappanlage mit „Schwert“.....	36
Abbildung 23:	Begutachtungsquerförderer an der Kappanlage (Förderung in Pfeilrichtung)	37
Abbildung 24:	EPK der Kappanlage (vereinfachter aktueller Ablauf).....	38
Abbildung 25:	Einspannvorrichtung („Pinole“) an der Blockbandsäge.....	39
Abbildung 26:	EPK der Blockbandsäge (vereinfachter aktueller Ablauf).....	40
Abbildung 27:	Endprodukt der Blockbandsäge – das Model	41
Abbildung 28:	EPK der Blockbandsäge (vereinfachter aktueller Ablauf).....	42
Abbildung 29:	Ausrichtung der Model an der Resaw.....	43
Abbildung 30:	EPK der Resaw-Anlage (vereinfachter aktueller Ablauf).....	44
Abbildung 31:	Zulauf zur Säge an der Resaw	45
Abbildung 32:	Schematischer Prozessablauf an der Resaw (Draufsicht, vereinfacht) .	46
Abbildung 33:	Schematische Erläuterung der Begriffe „Besäumen“ und „Trimmen“ ...	47
Abbildung 34:	Ideale und reale Brettformen (Draufsicht).....	48
Abbildung 35:	Gestapelte Bretter (UE-Paket) zur Trocknung auf einem FTS.....	49
Abbildung 36:	Schematischer Vergleich zwischen Rohbrett und geschliffenem Endprodukt.....	50
Abbildung 37:	EPK des Schleifprozesses (vereinfachter aktueller Ablauf).....	50

Abbildung 38:	Typische Prozessabfolge im Sägewerk	52
Abbildung 39:	Langzeitversuch auf dem Freigelände des LogIDLab® in Dortmund....	58
Abbildung 40:	Beschädigungen der Transponder durch Witterungseinflüsse.....	59
Abbildung 41:	Versuchsaufbau Belastungstests Nageltransponder im LogIDLab®.....	61
Abbildung 42:	Messung der Holzfeuchtigkeit im LogIDLab®.....	62
Abbildung 43:	Applikationsdiagramm Fichte: Kernholz	63
Abbildung 44:	Applikationsdiagramm Fichte: Splintholz.....	63
Abbildung 45:	Applikationsdiagramm Fichte: Rinde	64
Abbildung 46:	Applikationsdiagramm Kiefer: Kernholz.....	65
Abbildung 47:	Applikationsdiagramm Kiefer: Splintholz.....	65
Abbildung 48:	Applikationsdiagramm Kiefer: Rinde	66
Abbildung 49:	Applikationsdiagramm Eiche: Kernholz.....	67
Abbildung 50:	Applikationsdiagramm Eiche: Splintholz.....	67
Abbildung 51:	Applikationsdiagramm Eiche: Rinde.....	68
Abbildung 52:	Applikationsdiagramm Buche: Kernholz	69
Abbildung 53:	Applikationsdiagramm Buche: Splintholz	69
Abbildung 54:	Applikationsdiagramm Buche: Rinde	70
Abbildung 55:	Box-Plot der gemessenen Kräfte in Abhängigkeit von der Baumart.....	71
Abbildung 56:	Versuchsaufbau für Falltests der Plasto-Label im LogIDLab®.....	72
Abbildung 57:	CAD-Modell der Applikationsvorrichtung	76
Abbildung 58:	Applikationsgerät am Harvesteraggregat montiert.....	77
Abbildung 59:	Für die Versuche genutztes Stirngatter eines Forwarders.....	78
Abbildung 60:	Geplante Prozessabfolge im Sägewerk mit Identifikationspunkten.....	85
Abbildung 61:	EPK der Kappanlage basierend auf den Anforderungen.....	88
Abbildung 62:	EPK der Blockbandsäge basierend auf den Anforderungen	90
Abbildung 63:	EPK der Resaw basierend auf den Anforderungen	93
Abbildung 64:	Referenzbegriffe für Applikationspositionen am Brett	94
Abbildung 65:	EPK des Schleifprozesses basierend auf den Anforderungen	96
Abbildung 66:	Applikation von OCR-Codes mittels Handapplikator	107
Abbildung 67:	Applikation von OCR / Datamatrix durch stationären Drucker	108
Abbildung 68:	Applizierte OCR-Codes mit wasserbasierter Tinte.....	108
Abbildung 69:	Applizierte OCR-Codes mit Ethanol-Tinte	109
Abbildung 70:	Applizierte OCR-Codes mit Aceton-Tinte	110
Abbildung 71:	Applizierte OCR-Codes mit MEK-Tinte.....	110
Abbildung 72:	Wasserbasierte Kennzeichnung nach der Trocknung.....	111
Abbildung 73:	Ethanol-Tinte nach der Trocknung.....	112
Abbildung 74:	Aceton-Tinte nach der Trocknung.....	112
Abbildung 75:	MEK-Tinte nach der Trocknung.....	113
Abbildung 76:	Für den Farbttest verwendete Farben	114
Abbildung 77:	RAL-Farbraum, Farbkörperausschnitt mit Unbuntachse	115

Abbildung 78:	Düsenkonzept für einen 7-stelligen Streifencode.....	118
Abbildung 79:	Versuch zur Barcode-Applikation mittels Tintendirektdruck	120
Abbildung 80:	Verwendetes Tintendirektdrucksystem „Excel 273SE“ von Videojet..	123
Abbildung 81:	Verwendetes Kamerasystem "Handsfree" von AccuSort.....	124
Abbildung 82:	Prinzipskizze der Druckkopfhalterung (Vorderansicht)	125
Abbildung 83:	Druckkopfhalterung im Testbetrieb (erste Applikationsvorrichtung)	125
Abbildung 84:	Erste Applikationsvorrichtung (3D-Darstellung)	126
Abbildung 85:	Durch Tintendirektdruck applizierte Codes im Praxistest.....	127
Abbildung 86:	Auslesung der Tintencodes durch die installierte Kamera	128
Abbildung 87:	Versuchsaufbau der ersten Applikationsvorrichtung.....	129
Abbildung 88:	Versuchsaufbau der zweiten Applikationsvorrichtung.....	133
Abbildung 89:	Zweite Applikationsvorrichtung (3D-Darstellung)	134
Abbildung 90:	Applizierte OCR-Codes auf Trockenholz mit 50 m/min (Beispiel).....	135
Abbildung 91:	Applizierte Barcodes auf Trockenholz mit 50 m/min (Beispiel).....	136
Abbildung 92:	Dekodierung von Barcodes auf Trockenholz mit 50 m/min	136
Abbildung 93:	Dekodierung von Barcodes auf Trockenholz mit 30 m/min	137
Abbildung 94:	Applizierter, nicht lesbarer Barcode auf Kappschnitt (Beispiel, vergrößert).....	138
Abbildung 95:	Oberfläche eines Kappschnitts (Beispiel)	139
Abbildung 96:	Stirnseitig applizierte Barcodes (Beispiel)	140
Abbildung 97:	Dekodierung von Barcodes auf Stirnseite mit 30 m/min	141
Abbildung 98:	Applizierte OCR-Codes auf Stirnseite mit 15 m/min.....	142
Abbildung 99:	Applizierte OCR-Codes auf Stirnseite mit 30 m/min.....	142
Abbildung 100:	Auf sägefrisches, feuchtes Holz applizierte Barcodes (Beispiel)	144
Abbildung 101:	Dekodierung von Barcodes auf sägefrischem Holz mit 30 m/min.....	145
Abbildung 102:	Dekodierung von Barcodes (50 m/min) auf sägefrischem Holz im Stillstand.....	145
Abbildung 103:	Prinzipskizze der Applikationslösung an der Blockbandsäge (Seitenansicht).....	149
Abbildung 104:	Transponderkreislauf in einer vereinfachten Holzerntekette	156
Abbildung 105:	Allgemeingültiges Modell eines Transponderpools.....	158
Abbildung 106:	Einnahmenkalkulation bei verschiedenen Transponderleihgebühren	163
Abbildung 107:	Konzept für einen Transponderkreislauf mit Finanzströmen	164
Abbildung 108:	Basistabellen der Pooldatenbank (Beispiel)	166
Abbildung 109:	Beispielhaftes SERM der Pooldatenbank	168
Abbildung 113:	Perspektiven der Netzwerk-Balanced Scorecard mit Ursache- Wirkungs-Ketten.....	184
Abbildung 111:	Interne Ursache-Wirkungsketten (Waldbesitzer, Beispiel).....	202
Abbildung 112:	Interne Ursache-Wirkungsketten (Einschlagunternehmen, Beispiel)	203
Abbildung 113:	Interne Ursache-Wirkungsketten (Frachtführer, Beispiel).....	204

Abbildung 114: Interne Ursache-Wirkungsketten (Sägewerk, Beispiel).....	205
Abbildung 115: Beziehungen der Kennzahlen in der Prozessperspektive (Sägewerk)	206
Abbildung 116: Interne Ursache-Wirkungsketten (OEM-Kunde, Beispiel)	207
Abbildung 120: Übergreifende Ursache-Wirkungsketten (Beispiel)	208

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anforderungen an Kennzeichnungen vom Wald bis zum Sägewerk.....	53
Tabelle 2:	Eignungsbewertung von Kennzeichnungsverfahren für die Holzerntekette	57
Tabelle 3:	Ausleseprotokoll Langzeitversuch (Auszug)	59
Tabelle 4:	Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, 400x400 mm).....	80
Tabelle 5:	Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, 350x1350 mm)	81
Tabelle 6:	Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (125 kHz, 210x210 mm).....	82
Tabelle 7:	Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (125 kHz, 500x800 mm).....	82
Tabelle 8:	Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz (Teil 1).....	99
Tabelle 9:	Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz (Teil 2).....	100
Tabelle 10:	Auswertung der Farbwert-Analyse	115
Tabelle 11:	Bewertungsmaßstab für Farbabstände "Delta E"	116
Tabelle 12:	Entscheidungsmatrix zur Codeauswahl	119
Tabelle 13:	Anforderungen an Applikations- und Lesegeschwindigkeit bei Tintendirektdruck	132
Tabelle 14:	Ergebnisse der Applikations- und Leseversuche bei Tintendirektdruck im Werk.....	146
Tabelle 15:	Vergleich der Eigenschaften von Laser- und Tintendirektdruck.....	153
Tabelle 16:	Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Annahmen).....	175
Tabelle 17:	Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Berechnungen)	176
Tabelle 18:	Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Annahmen).....	178
Tabelle 19:	Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Berechnungen)	179
Tabelle 20:	Szenario-Betrachtung für einen Branchenpool (Annahmen)	180
Tabelle 21:	Szenario-Betrachtung für einen Firmenpool (Berechnungen).....	181
Tabelle 22:	Übersicht des Kennzahlensystems in der Holzerntekette (Auswahl)..	186
Tabelle 23:	Poisson-Verteilung für die Anzahl anliefernder LKW pro Stunde.....	211
Tabelle 24:	Länge der LKW-Warteschlange bei 5% manueller Kontrolle	213
Tabelle 25:	Länge der LKW-Warteschlange bei 100% automatisierter Kontrolle.	214
Tabelle 26:	Kosten-/Nutzenverhältnis Wareneingang.....	215
Tabelle 27:	Kapitalwertberechnung Wareneingang.....	216

Tabelle 28:	Kosten-/Nutzenverhältnis Nasslager	218
Tabelle 29:	Kapitalwertberechnung Nasslager	219
Tabelle 30:	Kosten-/Nutzenverhältnis Kappanlage	219
Tabelle 31:	Poisson-Wahrscheinlichkeitsverteilung für Baumstammdurchmesser	222
Tabelle 32:	Kapitalwertberechnung Kappanlage	225
Tabelle 33:	Kosten-/Nutzenverhältnis Blockbandsäge.....	226
Tabelle 34:	Kapitalwertberechnung Blockbandsäge.....	229
Tabelle 35:	Kosten-/Nutzenverhältnis Resaw	230
Tabelle 36:	Kapitalwertberechnung Resaw	231
Tabelle 37:	Kosten-/Nutzenverhältnis Schleifen und Grading.....	232
Tabelle 38:	Poisson-Verteilung der Anzahl der Bretter an der Schleifstation	233
Tabelle 39:	Berechnung der durchschnittlichen Brettbreite (verkürzt)	233
Tabelle 40:	Leistungsdaten der Schleifmaschine.....	234
Tabelle 41:	Ausgewählte Realdaten der Schleifmaschine	235
Tabelle 42:	Berechnung der durchschnittlichen Brettanzahl.....	235
Tabelle 43:	Kapitalwertberechnung Schleiferei.....	237
Tabelle 44:	Gesamtkapitalwertberechnung für das Sägewerk.....	238

Formelverzeichnis

Formel 4-1:	Berechnung der Farbabstände	116
Formel 5-1:	Einnahmenkalkulation Transponderpool	163
Formel 6-1:	Kostenstruktur des RFID-Einsatzes vom Wald bis zum Sägewerk	174
Formel 6-2:	Rechenbeispiel zur Kalkulation der Mehrkosten je Festmeter im Trend-Szenario	177
Formel 6-3:	Verhältnis zwischen Logistikkosten und Umsatz	187
Formel 6-4:	Gesamtkapitalrendite	187
Formel 6-5:	Berechnung des Return on Investment	188
Formel 6-6:	RFID-Investment	188
Formel 6-7:	Investment für interne Kennzeichnungen	189
Formel 6-8:	Kunden-Zusatzinfo-Faktor	189
Formel 6-9:	Supply Chain Cycle Time	189
Formel 6-10:	Lieferbereitschaftsgrad	190
Formel 6-11:	Anteil standardisierter Schnittstellen	190
Formel 6-12:	Lieferflexibilität	190
Formel 6-13:	Lieferqualität	190
Formel 6-14:	RFID-Transferquote	191
Formel 6-15:	Interne Markierungsquote	192
Formel 6-16:	Markierungsfläche	192
Formel 6-17:	Markierungsgüte	192
Formel 6-18:	Trocknungs-Persistenz	193
Formel 6-19:	Transferquote Resaw	193
Formel 6-20:	Identifikationsquote	193
Formel 6-21:	Transferquote Schleiferei	194
Formel 6-22:	DB-Quote	194
Formel 6-23:	Ressourcenauslastungsgrad	194
Formel 6-24:	Ressourcenverfügbarkeit	194
Formel 6-25:	Mitarbeiterzufriedenheit	195
Formel 6-26:	Mitarbeiterfluktuation	195
Formel 6-27:	Holznutzungsfaktor	195
Formel 6-28:	Nasslagerplatznutzung	196
Formel 6-29:	Informationsaustauschquote	196
Formel 6-30:	Poolingquote	197
Formel 6-31:	Wareneingangsprüfquote	197
Formel 6-32:	Markierungsquote Wareneingang Sägewerk	198
Formel 6-33:	Markierungsquote Warenausgang Sägewerk	198
Formel 6-34:	Markierungsquote Wareneingang OEM-Kunde	198
Formel 6-35:	Markierungsgüte Wareneingang OEM-Kunde	198

Formel 6-36:	Kundenzufriedenheit	199
Formel 6-37:	Relativer Marktanteil	199
Formel 6-38:	Nachfragequote Sägewerk	200
Formel 6-39:	Nachfragequote OEM	200
Formel 6-40:	Kundeninformation	201
Formel 6-41:	Holzverfügbarkeit.....	201
Formel 6-42:	Poisson-Verteilung.....	211
Formel 6-43:	Wahrscheinlichkeitsberechnung für Warteschlangenlängen	213
Formel 6-44:	Kapitalwertberechnung	217

Abkürzungsverzeichnis

AfA	Abschreibungen für Anschaffungen
Auto-ID	Automatische Identifikation
EPC	Elektronischer Produktcode
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
fm	Festmeter
HF	Hochfrequent
LF	Niederfrequent (Low Frequency)
MEK	Methylen-Ethylen-Keton
NFC	Near Field Communications
OCR	Optical Character Recognition
RFID	Radiofrequente Identifikation
SERM	Strukturiertes Entity Relationship Modell
UHF	Ultrahochfrequent
WE	Wareneingang
WORM	Write Once, Read Multiple

1 Einleitung

1.1 Thematische Einführung

Es ist festzustellen, dass sich in Deutschland in den letzten Jahren die Marktsituation im Bereich der Holzwirtschaft deutlich geändert hat. Traditionell handelte es sich in dieser Branche um einen klassischen Verkäufermarkt, d. h. die Anbieter haben im Wesentlichen Mengen, Preise und Qualitäten festgelegt und die Kunden hatten nur geringfügige Einflussmöglichkeiten. Im Hinblick auf das Angebot von Rundholz¹, mit dem sich die vorliegende Arbeit im ersten Teil (Kapitel 3.1 ab Seite 27) hauptsächlich befasst, bestimmten die Forstbetriebe als Verkäufer insbesondere den Lieferzeitpunkt, die Angebotsmenge und den Preis je Festmeter², so dass die Käufer wie z. B. Sägewerke, Möbelproduzenten oder Baumärkte direkt abhängig von den Entscheidungen der Produzenten waren.

Jedoch hat sich die Situation mittlerweile in einen Käufermarkt gewandelt, in dem ein zielgerichteter, durchgängiger Informationsfluss einen bedarfsgerechten Materialfluss sicherstellen soll. Logistische Rahmenbedingungen und Anforderungen, wie sie seit jeher in anderen Branchen üblich sind, gewinnen zunehmend auch in der regelmäßig relativ träge auf Neuerungen reagierenden Holzwirtschaft an Bedeutung. So ist man insbesondere daran interessiert, Lagerbestände möglichst gering zu halten, flexibel auf veränderte Nachfragebedingungen reagieren und die Durchlaufzeiten minimieren zu können.

In Deutschland werden die einzelnen Stationen der Prozesskette im Wald in der Regel durch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) besetzt, die regelmäßig wirtschaftlich voneinander unabhängig arbeiten. Kooperationen solcher Betriebe unter einem gemeinsamen Namen sind selten, und im Kontrast zu Skandinavien kommen Konzerne, welche die gesamte Holzerntekette von der Fällung über den Transport bis hin zum Sägen abdecken, überhaupt nicht vor – allenfalls vergleichsweise kleine Unternehmen versuchen, sich mit diesem Geschäftsmodell durchzusetzen, wie zum Beispiel die Cambium Forstbetriebe [1].

Der deutsche Wald kann grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt werden. So besitzt der Staat (Bund und Länder) selbst nur einen geringen Anteil, während Privateigentümer in der Summe den größten Flächenanteil besitzen. Der Rest wird von Körperschaften verwaltet und gepflegt. In Nordrhein-Westfalen befinden sich 64,8 % des Waldes in

¹ Als Rundholz wird sägefähiges Holz eines gefällten Baumes bezeichnet. Rundholz ist als Rohholz ein Produkt der Forstwirtschaft, das als Rohstoff für die Holzwirtschaft dient und dort u.a. zu Schnittholz weiterverarbeitet wird [37].

² Die Einheit „Festmeter“ ist ein Raummaß für Holz. 1 Festmeter (fm) entspricht 1 m³ fester Holzmasse ohne Zwischenräume in der Schichtung [37].

Privatbesitz, womit NRW den größten Privatwaldanteil Deutschlands aufweist [2]. Die privaten Eigentümer verfügen im Durchschnitt jeweils über eine Fläche von fünf Hektar, die jedoch nicht selten in noch kleinere Parzellen unterteilt ist. Da unter Berücksichtigung der langen Wachstumsphase der Bäume und der geringen Parzellengröße für den Einzelnen relativ wenig Holz – zum Teil so wenig, dass sich der Betrieb des Waldgrundstücks wirtschaftlich nicht lohnt – anfällt, wird durch Zusammenschlüsse zu forstwirtschaftlichen Vereinigungen versucht, den Holzanfall zu bündeln, gemeinsam zu vermarkten und so die eigene Marktmacht zu stärken [3]. Dieses Konzept ist recht erfolgreich und hat dazu geführt, dass es in Deutschland mittlerweile über 5.000 dieser Vereinigungen gibt. In NRW wurden 2006 rund 350.000 ha Wald durch forstwirtschaftliche Vereinigungen mit insgesamt 61.000 Mitgliedern betreut, die zu 90 % Kleinflächen mit durchschnittlich 2,3 ha Größe besitzen [2].

Nicht immer erfolgt allerdings die Bewirtschaftung durch den Eigentümer selbst. Mehr als 2.000 Dienstleistungsbetriebe in Deutschland, die durchschnittlich jeweils 5 Personen beschäftigen [4], fällen auf Auftragsbasis zu verkaufende Bäume, arbeiten diese auf und stellen sie an der Waldstraße bereit, von wo sie schließlich der Kunde zur Weiterverarbeitung abholt. Auch die Transporteure gehören in der Regel zu den KMU – 38 % der Transportunternehmen steht lediglich ein einziges Fahrzeug zur Verfügung, während nur 19 % mit mehr als 3 LKWs arbeiten können [5]. Auf der Käuferseite stehen unter anderem die Sägewerke mit etwa 2.200 Betrieben in Deutschland, wobei 87 % aller Beschäftigten in Unternehmen mit weniger als 20 Angestellten tätig sind [6]. In den Jahren von 2000 bis 2004 wurden allerdings 530 Sägewerke geschlossen, was den harten Wettbewerb, die schwierigen Marktbedingungen und Konsolidierungsprozesse belegt. Für die jüngere Vergangenheit liegen keine konkreten Zahlen vor, jedoch kann vor dem Hintergrund der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise, welche die Branche aufgrund der schlechten Situation in den USA besonders hart getroffen hat [7], angenommen werden, dass insbesondere 2008 und 2009 die Anzahl der Sägewerke weiter zurückging bzw. sich die Zahl der Zusammenschlüsse erhöht hat. Trotz dieser Fusionen in allen Bereichen der Holzerntekette ist die Branche in Deutschland nach wie vor geprägt durch KMU.

Die Konkurrenz durch ausländische Anbieter ist auch auf dem Holzmarkt groß, so dass die Margen für lokale Verkäufer stetig gesunken sind. Zudem wird der Holzmarkt im Unterschied bspw. zur Landwirtschaft nicht subventioniert [8]. Um überhaupt noch wirtschaftlich einheimisches Holz anbieten zu können, sind alle Beteiligten an der Holzerntekette auf eine Steigerung der Effizienz beim Ressourceneinsatz angewiesen. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von Personal, (Holzernte-)maschinen und LKW. Der Kunde hat die freie Auswahl, welches Holz er kauft, und dies wiederum führt aufgrund des implizit steigenden Konkurrenzdrucks unter den Anbietern dazu, dass die Ansprüche der Holzindustrie an den Rohstoff Holz im Hinblick auf Frische, Qualität oder Homo-

genität kontinuierlich steigen, um durch hohe Qualität möglichst viele Kunden gewinnen und vor allem auch binden zu können.

In Deutschland sind sowohl die Zeitspanne zwischen Einschlag und Verarbeitung als auch der Bereitstellungspreis frei Werk im internationalen Vergleich sehr hoch [9]. Insgesamt ist die Branche daher daran interessiert, die bisher recht langen Durchlaufzeiten durch gezielte Maßnahmen deutlich zu verkürzen, um die langfristige Kapitalbindung zu verringern, die Holzqualität zu verbessern und den Aufwand für Forstschutzmaßnahmen (z. B. Borkenkäferbekämpfung) zu vermindern.

Moderne Sägewerke arbeiten mit sehr effizienten, aber auch sehr teuren Maschinen, die entsprechend ausgelastet sein müssen, um sich zu rentieren. Daher wird großer Wert darauf gelegt, die notwendige Auslastung sicherzustellen. Dies kann zum einen durch umfangreiche Nasslager auf dem Gelände des Sägewerks geschehen, zum anderen aber auch durch eine kontinuierliche anstatt der heute praktizierten saisonalen Holzbereitstellung durch die Forstbetriebe. Ein weiteres Problem ist, sofern es sich nicht ohnehin um Papierholz handelt, eine lange Zwischenlagerzeit des Holzes an der Waldstraße, da durch Witterungs- und Schädlingseinflüsse die Qualität der Stämme und damit der erzielbare Preis deutlich Schaden nehmen können. Ein schneller Abtransport in das Sägewerk ist daher ein mit Priorität verfolgtes Ziel, auch wenn – wie bereits zuvor beschrieben – die Transportkapazitäten eher gering sind.

Die Nutzung von Holz als natürlich nachwachsender Rohstoff für sehr viele Anwendungsgebiete vom Schiffs- und Häuserbau bis hin zu Möbeln und Kunstwerken hat eine lange Tradition, und die Umweltschützer werden nicht müde, auf den in Urwäldern betriebenen Raubbau hinzuweisen. Vor diesem Hintergrund besteht bei den Verbrauchern eine grundsätzliche Unsicherheit über die ökologische Komponente der Holznutzung auch in Deutschland. Dies ist jedoch unbegründet: Allein in NRW werden pro Jahr ca. 4 Erntefestmeter ohne Rinde (Efm o. R.)³ je Hektar Waldfläche aufgebaut, und einem potenziellen Nutzungsvolumen von 5,5 Mio. Efm o. R. pro Jahr steht eine tatsächliche Nutzung von 3,3 Mio. Efm o. R. gegenüber, wobei Buche und Fichte die größten Nutzungspotenziale aufweisen [2]. In der vorliegenden Arbeit werden diese beiden Holzarten daher auch schwerpunktmäßig betrachtet.

Aus dem europäischen Blickwinkel gesehen ist Skandinavien vorwiegend aufgrund seiner enormen Holzvorräte und ihrer dementsprechend professionellen Bewirtschaftung stets ein wichtiger Vergleich zur jeweils eigenen Landessituation. So sind bspw. 76 % der Landfläche Finnlands mit Wald bedeckt – das bedeutet die größte Walddichte in

³ Der Efm o. R. ergibt sich aus dem Volumen der Baumteile mit mehr als 7 cm Durchmesser abzüglich des Baumstumpfes und der Rinde. Er ist die Maßeinheit für Planung, Einschlag und Verkauf in der Forstwirtschaft.

ganz Europa. Der Anteil der Forstindustrie an den Gesamtexporten Finnlands beträgt etwa 30 %, was das Land insgesamt sehr abhängig von diesem Industriezweig macht. 70 % der Holzexporte gehen in die Europäische Union. 6 % aller Erwerbstätigen arbeiten im sog. Holzcluster, das neben den Forstbetrieben auch angeschlossene Industriezweige wie bspw. Maschinenhersteller berücksichtigt. Zur Verdeutlichung des Ausmaßes: Die mit der Verarbeitung von Holz verbundenen Wirtschaftszweige Finnlands repräsentieren ca. 10 % der gesamten Industrieproduktion der EU [10].

Die Aufteilung des Waldbesitzes ist derjenigen in Deutschland relativ ähnlich – je nach Region befinden sich bis zu 80 % der Waldfläche Finnlands in Privateigentum. Jeder fünfte Einwohner Finnlands besitzt damit ein Stück Wald, das er bewirtschaftet, wobei jeder Landwirtschaftsbetrieb im Durchschnitt eine Fläche von 26 ha verwaltet. Nachhaltige Waldwirtschaft ist in Finnland bereits seit vielen Jahrzehnten durch ein sog. Waldgesetz vorgeschrieben, das auf der einen Seite fehlende Verjüngung nach Einschlägen z. B. durch zeitlich begrenzte Nutzungsverbote bestraft und auf der anderen Seite gute Waldpflege z. B. durch Zuschüsse und Kredite fördert [10].

Ökonomisch äußerst bedenklich ist, dass in der üblichen Holzerntekette (vgl. Kapitel 3 ab Seite 27) in Deutschland zahlreiche Stufen existieren, auf denen keinerlei Wertschöpfung stattfindet. Ebenso bestehen aufgrund der vielfältigen Abstufungen sehr viele Schnittstellen, die nicht vereinheitlicht sind und daher zügige Abläufe nicht zulassen. Noch 1998 musste festgestellt werden, dass in Deutschland durchschnittlich mit fünfmal so vielen Ebenen und mit dem Siebenfachen an Schnittstellen im Vergleich zu skandinavischen Ländern gearbeitet wird [11]. In den letzten Jahren hat sich zwar in dieser Hinsicht bereits einiges verbessert, aber trotzdem liegen andere Länder immer noch deutlich in Führung.

Eine der hauptsächlichen Ursachen für die kaum vorhandene Flexibilität und geringe Effizienz in der Holzerntekette ist darin begründet, dass der Material- und Informationsfluss weitestgehend getrennt nebeneinander herlaufen, ohne gegenseitige Rückkopplungen zu ermöglichen. Insbesondere existieren keine standardisierten Schnittstellen für die Informationssysteme, so dass die Betriebe Daten untereinander nicht austauschen können. Besonders prägnant ist dies im Rahmen der hochmechanisierten Holzerntekette: Die von der Holzerntemaschine (Harvester) aufgenommenen Maße werden in der weiteren Abfolge nicht weiter genutzt, sondern stattdessen werden von jeder beteiligten Partei eigene Messungen vorgenommen, die in aller Regel deutlich voneinander abweichen. Der Hauptgrund für diesen Aufwand ist, dass man dem Harvester-Maß nicht vertraut, weil es die Baumgeometrie nicht genau genug beachtet. Man legt daher Wert auf Handvermessungen, die objektiv betrachtet aber nicht wesentlich genauer sind als die automatisch ermittelten Daten des Harvesters. Die Weitergabe der Daten erfolgt zudem aufgrund der nicht vorhandenen Schnittstellen in Papierform, d. h. die Maße müs-

sen fehleranfällig und zeitaufwendig zum Teil mehrfach manuell in die jeweiligen Computersysteme eingegeben werden.

Ferner ist es mit herkömmlichen Verfahren im Rahmen der hochmechanisierten Holzerntekette nicht möglich, die einzelnen gesägten Baumstammabschnitte während der Aufarbeitung zu erfassen und zu dokumentieren. Alle Mitteilungen bspw. hinsichtlich angefallener Menge oder Holzqualität beruhen daher auf Schätzungen der Maschinenführer. Die Daten des Harvester-Protokolls können den Abschnitten später nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, was unter anderem dazu führen kann, dass nicht das gesamte eingeschlagene Holz den Kunden auch erreicht. Dies ist ebenfalls ein wesentlicher, auch objektiv nachvollziehbarer Grund für Handvermessungen und Kontrollzählungen an allen Schnittstellen. Darüber hinaus können die folgenden Problemstellen identifiziert werden:

- In Deutschland ist – wie bereits dargestellt – der Waldbesitz stark gesplittet, weshalb aus Gründen der Effizienz bei Fällungen möglichst mehrere aneinander grenzende Parzellen bearbeitet werden. Da jedoch die einzelnen Abschnitte an der Waldstraße nicht mehr dem Waldbesitzer zuzuordnen wären, müssen sie getrennt voneinander aufgearbeitet, vermessen und an der Waldstraße bereitgestellt werden, um eine eindeutige Abrechnung zu gewährleisten. Dies jedoch verursacht einen sehr hohen Mehraufwand, und auch die Maschinenführer müssen streng darauf achten, nicht versehentlich einen Baum vom Nachbargrundstück aufzuarbeiten. Dennoch kommt es häufig zu Fehlern und Verwechslungen, die den Verwaltungsaufwand erneut steigern. Werden die Hiebe von Waldbesitzervereinigungen bzw. Forstbetriebsgemeinschaften organisiert, wird der Gesamterlös in der Regel ohne Einzelabrechnung auf die jeweiligen Waldbesitzer verteilt. Für viele Privatwaldbesitzer ergibt sich daraus ein Hemmnis, sich an diesen Hieben zu beteiligen.
- Nur in seltenen Fällen wird die Einschlagmenge und Lieferqualität auf die aktuellen Bedürfnisse der Kunden ausgerichtet. Darüber hinaus ist die Lieferzuverlässigkeit in der Forstbranche nicht besonders gut, so dass für die Planungen der Einkäufer viele Unwägbarkeiten existieren. Eine direkte Folge davon ist, dass die Holzindustrie große Rundholzlager aufbaut, um den jeweiligen Bedarf aus diesem Puffer decken zu können. Doch diese binden langfristig Kapital und sind damit ökonomisch gesehen höchst unattraktiv.
- Die in Deutschland mit durchschnittlich etwa 84 Tagen sehr hohe Durchlaufzeit des Holzes [9] ist ein weiteres Problem, vorwiegend verursacht durch Unterbrechungen in der Prozesskette und mangelnden Informationsfluss. Wie in anderen Branchen auch, hängt in der Holz- und Forstwirtschaft die Durchlaufzeit im We-

sentlichen von den Prozesszeiten (Zeitaufwand für einen Arbeitsschritt) und Leerzeiten (Zeitabstände zwischen zwei Arbeitsschritten) ab. Die kumulierten Leerzeiten sind gegenwärtig etwa dreimal größer als die Prozesszeiten – in Zahlen ausgedrückt bedeutet das, dass die Zeitspanne zwischen Einschlag und Transport zum Sägewerk im Durchschnitt 49 Tage beträgt [12]. Wenn das Holz zu lange im Wald liegen bleibt, ergeben sich aufgrund natürlicher Prozesse wie Fäule, Schädlingsbefall und Frischeverlust zum Teil gravierende Qualitäts- und damit auch Erlöseinbußen. Daher ist man bemüht, einmal geschlagenes Holz so schnell wie möglich aus dem Wald zu holen. Ideal ist danach die direkte Weiterverarbeitung, was jedoch aufgrund beschränkter Produktionskapazitäten nicht immer möglich ist. Auch dies ist ein Grund dafür, dass die Lagerflächen beständig zunehmen.

- Für die Sägewerke prozesstechnisch schwierig zu bewältigen ist vor allem der Wareneingang, da mit herkömmlichen Kennzeichnungsmethoden keine automatische Kontrolle erfolgen kann. Die Holzindustrie ist daher auf Stichprobenkontrollen angewiesen, die aus Zeit- und Kostengründen bei lediglich ca. 5 % der ankommenden LKW-Ladungen jeweils manuell durchgeführt werden (vgl. Kapitel 3 ab Seite 27). Von LKW-Ladungen, die nicht kontrolliert werden, wird der Einfachheit halber angenommen, dass die Lieferung der Bestellung entspricht. Diese Vorgehensweise funktioniert leidlich gut, aber es kommt immer wieder vor, dass die Lieferung der Bestellung bzw. Disposition nicht entspricht, da bspw. ein Baumstamm aufgrund von begrenztem Zuladegewicht des LKWs auf dem Polter liegen gelassen werden muss. Meldet der Fahrer dies beim Wareneingang nicht an und findet gerade keine Kontrolle statt, fällt dies nicht auf. Die Folge ist, dass der Käufer für einen Stamm bezahlt, den er nie erhalten hat, und dass dieser Stamm immer noch im Wald liegt, ohne dass jemand darüber Bescheid weiß. Einige wenige „schwarze Schafe“ spekulieren auf derartige Situationen und nutzen entweder das Holz zum Nulltarif selbst oder verkaufen es ein zweites Mal weiter, denn die Übergabe findet grundsätzlich an der Waldstraße statt. Aktuelle Bestrebungen zielen daher darauf ab, einen verstärkten und bisher nur in geringem Maße praktizierten Verkauf „Frei Werk“, d. h. die Übernahme des Holzes durch den Käufer erst im Sägewerk, durchzuführen.

Schließlich ist es nicht möglich, im Sinne einer „Chain of Custody“ eine Herkunftssicherung des Holzes zu realisieren, da das Schnittholz als Endprodukt nicht mit dem Ausgangsprodukt Rundholz miteinander in Verbindung gebracht werden kann. Daher können die Sägewerke auch nicht überprüfen, wie hoch die Ausbeute bei Holz aus bestimmten Waldgebieten oder die Qualität bestimmter Lieferanten ist. Wo dies dennoch explizit erforderlich bzw. gewünscht ist, erfolgt die Kontrolle anhand von recht ungenauen Mengenzuweisungen oder durch eine sehr aufwendige physische Trennung der Produkte.

1.2 Erarbeitung der Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Arbeit präsentierten Erkenntnisse beruhen auf zwei gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaften und Angewandte Informatik der TU München bearbeiteten Forschungsprojekten [13; 14], in denen arbeitsteilig die Aufgabenstellungen bearbeitet wurden. Die grundlegenden Schlussfolgerungen und Ergebnisse des vorliegenden Textes stellen dabei allein die in Dortmund erzielten Erkenntnisse dar. An wenigen Stellen ist es argumentativ bzw. mit Blick auf eine vollständige Darstellung erforderlich, auf die Resultate der TU München zu verweisen – dies ist jeweils eindeutig und mit Verweis auf die Quelle gekennzeichnet.

2 Stand der Technik zur Kennzeichnung von Rundholz

In diesem Kapitel werden die im Bereich der Wald- und Forstwirtschaft aktuell genutzten Markierungstechniken für Rundholz vorgestellt. Im Schnittholzbereich werden die einzelnen Bretter momentan nicht gekennzeichnet, weshalb dieser Bereich an dieser Stelle nicht betrachtet werden kann. Sobald das Holz in Form von Stämmen das Sägewerk erreicht, werden keine neuen Kennzeichnungen mehr aufgebracht. Vor dem Zerteilen des Stammes in kleinere Abschnitte wird eine eventuell aufgebrachte Nummer an der Stirnseite auch nicht mehr gelesen – diese dient lediglich beim Einkauf und bei der Wareneingangskontrolle als Orientierungshilfe.

Einzig erwähnenswert ist eine Farbmarkierung der Stämme anhand einer in den meisten Fällen blauen Linie, die nach der Kappung aufgebracht wird und für eine korrekte, d. h. im Sinne einer maximalen Ausbeute optimale Ausrichtung der Stämme für die Blockbandsäge sorgen soll. Das Aufbringen einer Kennzeichnung zur Identifikation der Stämme oder der Bretter erfolgt zurzeit nicht.

Da jedoch eine Kennzeichnung auch des sägefrischen Schnittholzes zur Schaffung eines durchgängigen Informationsflusses erforderlich ist, werden in Kapitel 2.3 (Seite 11) ergänzend Standardverfahren aus anderen industriellen Anwendungsbereichen vorgestellt, die sich potenziell auf den Anwendungsfall „Schnittholz“ übertragen lassen.

2.1 Kennzeichnungsmethoden für Rundholz

2.1.1 Farb- und Kreidemarkierung

Diese Markierungen werden hauptsächlich dafür eingesetzt, Parzellen im Wald abzugrenzen und Bäume langfristig zu markieren (bspw. zur Kennzeichnung von Wanderwegen), aber auch, um nach der Fällung und Aufarbeitung die Eigentümerschaft des Holzes zu dokumentieren sowie Lose und Polter zu kennzeichnen. Die Kreide wurde – wie auch die Sprühfarbe – speziell für den Forst entwickelt und kann auch auf feuchtem Holz eingesetzt werden, so dass frisch gefällte Bäume oder auch Regen der Markierung nicht entgegenstehen.



Abbildung 1: Markierspray und Signierkreide
Quelle: [15]

2.1.2 Kunststoffklammern und -plättchen

Die Kunststoffplättchen mit aufgedruckter Nummer werden mit einem speziellen Hammer (vgl. Abbildung 2) direkt in die Stirnseite des Rundholzes eingeschlagen und verstreuen sich im Holz, so dass sie weder ohne Werkzeug ablösbar sind noch sich von selbst lösen können. Das Material der Plättchen ist ebenfalls speziell für den Einsatz im forstlichen Umfeld entwickelt worden und bietet die Möglichkeit, die Markierungen sowohl in Sägerundholz, Furnierholz als auch in frosthartes Holz anzubringen. Zugleich gibt es spezielle Varianten in Zellulosequalität, die auf die rigiden Anforderungen der Papierindustrie abgestimmt wurden. Wie in Kapitel 2.3.2.2 (Seite 13) dargestellt wird, gibt es diese Plättchen auch mit integriertem RFID-Chip.



Abbildung 2: Anschlaghammer und Markierplättchen
Quelle: [15]

2.2 Patentsituation

Zur Kennzeichnung von Holz existiert ein Patent aus dem Jahr 2006 (angemeldet 2004). Dieses „[...] betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Identifikation und/oder Kennzeichnung von Holz, insbesondere von Rund- oder Schnittholz, wobei mindestens ein individuelles Merkmal des Holzes mittels einer Erfassungseinrichtung erfasst wird und mittels einer Recheneinheit mit in einem Speicher abgelegten Daten verglichen wird und/oder mittels der Recheneinheit abrufbar in einem Speicher derart abgelegt wird, dass eine Zuordnung individueller Eigenschaften zur Identifikation und/oder Kennzeichnung erfolgt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das individuelle Jahrringmuster des Holzes mittels einer Bildverarbeitungseinheit erfasst und durch die Recheneinheit bildverarbeitungstechnisch analysiert.“ [16].

Es existiert somit ein patentiertes Verfahren, das eine Rückverfolgbarkeit mittels Erfassung individueller Holzmerkmale ermöglichen kann. Dieses versagt jedoch, wenn geometrische Änderungen (bspw. durch Zuschnitt) erfolgen oder wenn die Holzoberfläche durch Witterungseinflüsse verändert wird.

2.3 Potenziell nutzbare weitere Kennzeichnungsmethoden für Rund- und Schnittholz

2.3.1 Optischer Fingerabdruck

Das österreichische Unternehmen MiCROTEC bietet ein Verfahren an, das Schnittholz anhand seines sog. „optischen Fingerabdrucks“ identifizieren kann [17]. Dabei werden die Bretter stirnseitig mittels Tintendirektdruck aufgedruckter Ziffern gekennzeichnet und so bspw. auf Stauförderern mit getakteter Förderung eindeutig identifiziert.

Dieses Verfahren weist allerdings den Nachteil auf, dass es lediglich für geringe Mengen bzw. für überschaubare Streckenabschnitte geeignet ist, da der applizierbare Code nur begrenzten Raum für individuelle Kennzeichnungen bietet.

2.3.2 Transpondertechnologie

Radiofrequente Identifikation wird bereits seit vielen Jahren eingesetzt und hat sich von der Freund-Feind-Erkennung bei Flugzeugen bis zu den heutigen Anwendungen kontinuierlich fortentwickelt. Anders als noch vor einigen Jahren ist die RFID-Technologie mittlerweile einem größeren Kreis bekannt, nicht zuletzt durch die (Presse-)Aktivitäten des Einzelhandels – insbesondere sind hier Metro und Wal-Mart zu nennen – sowie durch die kontinuierliche Fortentwicklung und Erschließung weiterer Potenziale der radiofrequenten Identifikation durch Forschungseinrichtungen und Unternehmen. In diesem Kapitel soll daher keine grundlegende und allumfassende Darstellung der RFID-Technologie erfolgen, sondern die Technik wird bezogen auf den potenziellen Anwen-

dungsfall „Holzerntekette und Sägewerk“ im Sinne eines Überblicks vorgestellt. Für tiefere Erläuterungen sei auf die jeweils genannten Literaturstellen verwiesen.

2.3.2.1 Frequenzbereiche

Die Norm ISO 18000 [18] legt mit ihren zurzeit sechs Teilen neben Referenzarchitekturen und eher allgemeinen Parameterdefinitionen auch die für die radiofrequente Identifikation zu nutzenden Frequenzen fest. Dabei bezieht sich das Regelwerk lediglich auf die Luftschnittstelle, nicht jedoch auf den Inhalt der Übertragungen oder dessen Struktur. Es werden dort sechs unterschiedliche Frequenzbereiche festgelegt[19]:

- Um 135 kHz (niedrigfrequent, NF, ISO 18000-2) [20]
- 13,56 MHz (hochfrequent, HF, ISO 18000-3) [21]
- 433 MHz (sehr hochfrequent, VHF, ISO 18000-7) [22]
- 860-930 MHz (ultrahochfrequent, UHF, ISO 18000-6) [23]
- 2,45 und 5,8 GHz (super-hochfrequent, SHF, ISO 18000-4) [24]

In den meisten Fällen kommen heutzutage im europäischen Raum Systeme zum Einsatz, die entweder den LF-, HF- oder UHF-Bereich nutzen. Insbesondere Aktivsysteme (vgl. Kapitel 2.3.2.3, Seite 17) nutzen auch den Frequenzbereich um 2,45 GHz, während die beiden übrigen Frequenzen – zumindest innerhalb Europas – nur in wenigen Fällen genutzt werden (vgl. zu weiteren Details [19]). Zudem wurde die Richtlinie ISO 18000-5, die sich mit dem Bereich um 5,8 GHz beschäftigt, aufgrund mangelnder internationaler Akzeptanz zurückgezogen [25].

Jeder Frequenzbereich weist bestimmte Eigenarten auf, die je nach Anwendungsfall eine mehr oder minder große Bedeutung haben. So ist der LF-Bereich sehr robust gegenüber Metallen und Flüssigkeiten, weshalb solche Transponder unter anderem zur Tieridentifikation eingesetzt werden. Nachteilig hingegen ist die relativ geringe Reichweite von in der Regel nur wenigen Zentimetern (vgl. hierzu auch die durchgeführten Reichweitenmessungen in Kapitel 4.1.3 ab Seite 57).

Der Frequenzbereich um 13,56 MHz erzielt Lesereichweiten von etwa einem Meter und ist relativ unempfindlich gegenüber Flüssigkeiten, wird jedoch sehr effizient von Metallen in der Umgebung abgeschirmt. Im UHF-Spektrum besteht das Problem, dass sowohl Metalle (Reflektion) als auch Flüssigkeiten (Dämpfung) störend wirken und die ansonsten relativ hohe erzielbare Reichweite von etwa drei bis vier Metern auf bis zu Null reduzieren können. Entsprechend groß sind die Bestrebungen der Industrie und Forschung, durch Entwicklung von neuen Bauformen und Abschirmungsmaßnahmen diese Effekte zu reduzieren bzw. im Idealfall zu eliminieren. So hat bspw. die Harting Mitronics AG im Jahr 2006 den Hermes Logistik Award gewonnen, weil es ihr gelungen

ist, einen passiven UHF-Transponder mit dreidimensionaler Antenne zu entwickeln, der auch in der Nähe von Metallen und Flüssigkeiten eingesetzt werden kann[26].

Als weiterer zu berücksichtigender Faktor ist die Lageabhängigkeit zu nennen, die jedoch ausschließlich bei passiven Systemen auftritt. Der Transponder muss jeweils optimal zur Antenne des Lesegeräts ausgerichtet sein, um die maximale Reichweite zu erzielen. Verallgemeinernd kann gesagt werden, dass eine orthogonale Ausrichtung der Antenne des Transponders zur Antenne des Lesegerätes die schlechteste, eine parallele Ausrichtung hingegen die beste Situation darstellt. Dies konnte durch Untersuchungen im LogIDLab® unter anderem für den UHF-Bereich nachgewiesen werden [27].

2.3.2.2 Bauformen

Transponder gibt es in sehr vielen verschiedenen Bauformen, was vor allem in der großen Vielfalt der Anwendungsgebiete begründet ist. Da – abgesehen von wenigen standardisierbaren Prozessen, die unternehmensübergreifend nahezu identisch und damit reproduzierbar sind – jeder Einsatzfall individuell zu betrachten ist, wurde für fast jeden dieser Fälle eine eigene Bauform entwickelt. Dabei kommen einige Bauformen nur für bestimmte Frequenzen in Betracht, da bspw. Spulen im LF-Bereich andere Anforderungen haben als Dipol-Antennen im UHF-Band.

Am bekanntesten ist mutmaßlich das normale Papier-Etikett, das vielfach noch als Kombi-Label ausgeführt ist (vgl. Abbildung 3), d. h. es handelt sich um ein papierbasiertes Klebeetikett, das sowohl einen aufgedruckten Code (z. B. Barcode, OCR, Klarschrift) als auch ein integriertes RFID-Label vereint. So kann auch ein Unternehmen die Kennzeichnung lesen, das RFID noch nicht einsetzt. In der Regel werden diese Label als Versandetiketten genutzt, und im gezeigten Beispiel ist der RFID-Teil als sogenanntes „Flag-Tag“ ausgeführt, d. h. die Transponderantenne befindet sich auf einem beweglichen und somit vom Applikationsuntergrund abklappbaren Teil des Klebeetiketts, so dass die Antenne bis zu 90° vom Untergrund abstehen kann und somit nur sehr gering bis gar nicht vom Material des Untergrundes beeinflusst wird. Dies erhöht wesentlich die Performance und damit auch die Lesereichweite und Leserate, so dass die logistischen Anwendungen mit bestmöglicher Effizienz arbeiten können.

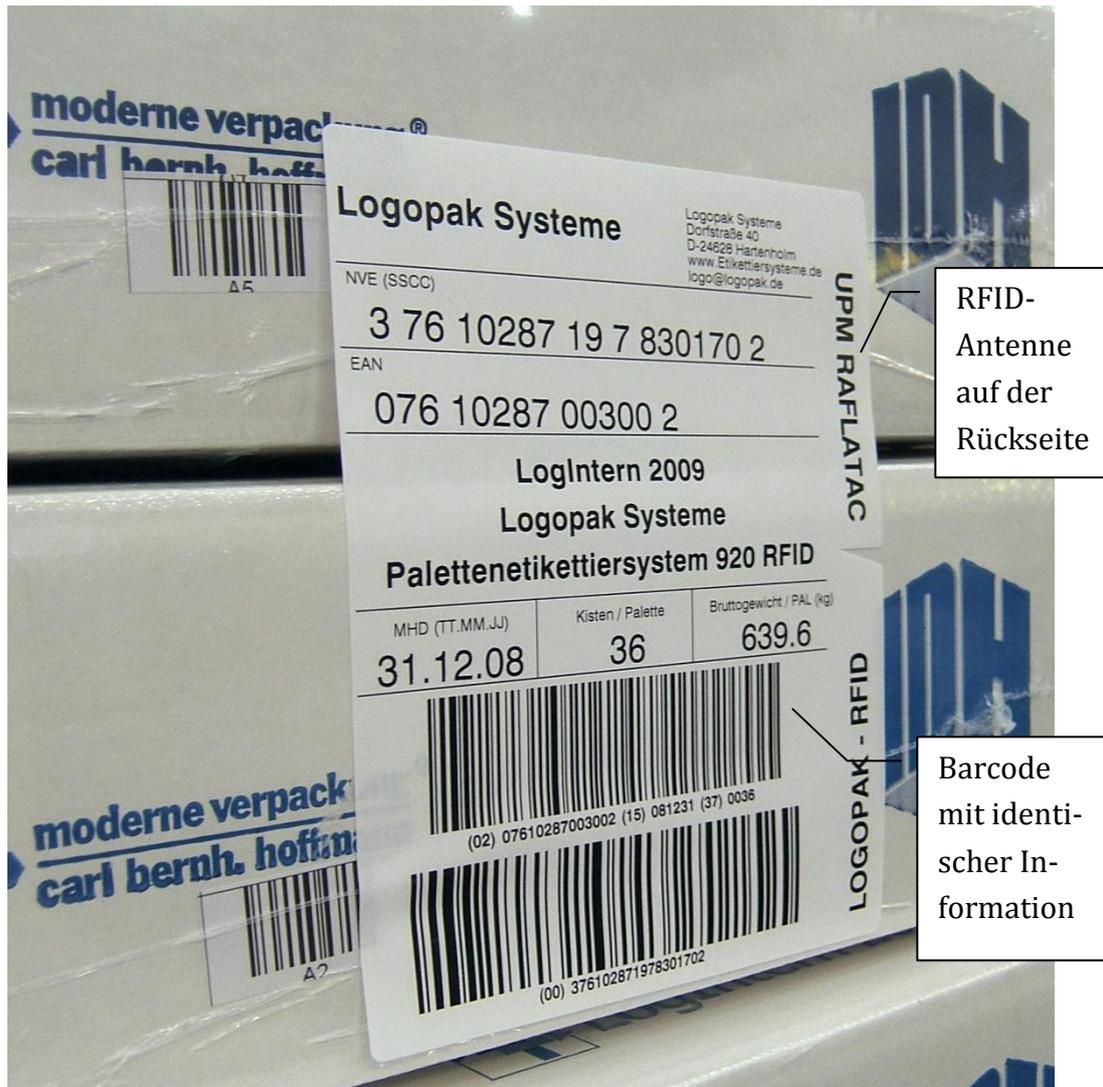


Abbildung 3: Hybrid-Versandetikett mit Barcodes und Transponder
Quelle: Eigenerstellung

Die folgende Abbildung 4 zeigt im Sinne eines Überblicks einige ausgewählte Transponderbauformen. Klebeetiketten (Nr. 1) sind grundsätzlich zu berücksichtigen, haben aber Nachteile aufgrund des schwierigen Applikationsuntergrunds sowie des fehlenden Schutzes des Chips, so dass er bereits bei geringer mechanischer Belastung oder durch das Einwirken von Flüssigkeiten wie Regen oder Eis nicht mehr funktionsfähig ist. Coin-Transponder mit einem Bohrloch in der Mitte (Nr. 4) bieten eine Einhausung der Elektronik und können einfach – z. B. durch Nageln – appliziert werden. Transpondernägel (Nr. 2) können direkt im Holz versenkt werden und unterliegen damit anschließend keinerlei mechanischen Belastungen mehr, arbeiten jedoch nur auf 125-kHz-Basis mit ca. 5 cm Reichweite. Holzplättchen (Nr. 3), die ohne RFID-Funktion weit verbreitet sind, finden durch die bekannte Form und bereits vorhandenes Werkzeug bei den Waldarbeitern tendenziell die größte Akzeptanz, sind jedoch in der Anschaffung sehr kostenintensiv: Plättchen mit RFID-Chip kosten bis zu 2 Euro pro Stück, während handelsübliche

Markierplättchen lediglich einige Euro-Cent kosten (Preisangaben nach mündlicher Information der Hersteller).

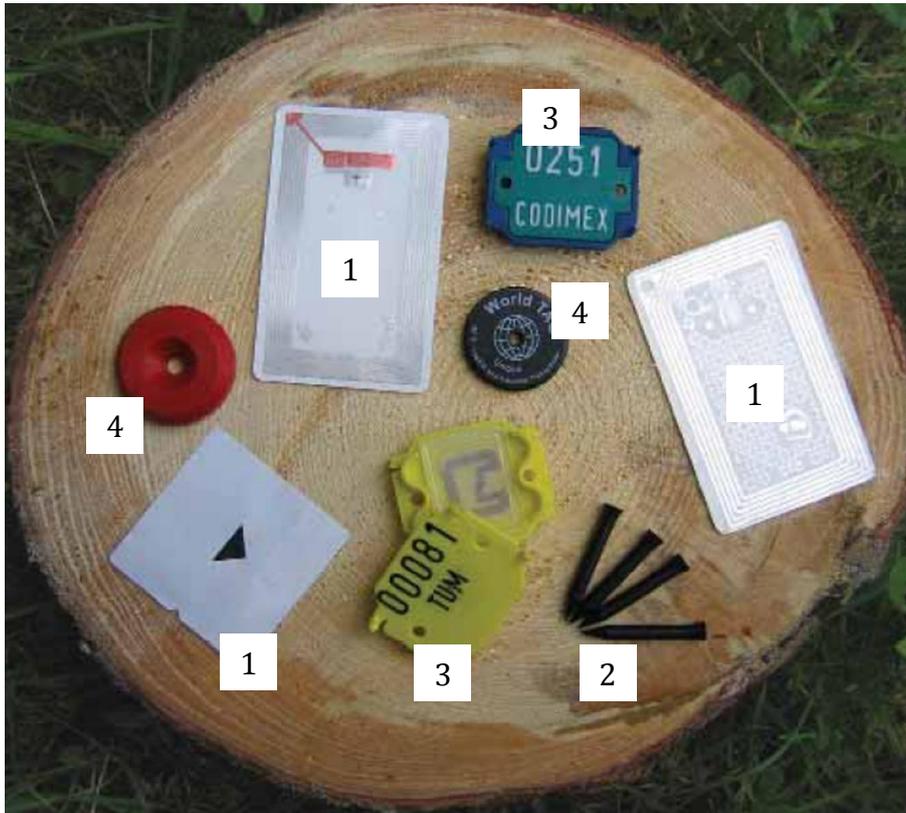


Abbildung 4: Transponderbauformen (Auswahl)
Quelle: [28]

Legende zu Abbildung 4	
Nr.	Bezeichnung
1	Klebeetikett mit HF-Transponder (verschiedene Hersteller)
2	LF-Transpondernägel
3	Holzmarkierplättchen mit HF-Transponder (verschiedene Hersteller)
4	Coin-Transponder mit zentriertem Bohrloch (LF-Frequenz, verschiedene Hersteller)

Im Hinblick auf die späteren Ausführungen soll eine besondere Bauform etwas genauer betrachtet werden: Die sogenannten „On-Metal-Label“ (vgl. Abbildung 5). Dabei handelt es sich um Transponder, die speziell für den Einsatz auf metallischen Oberflächen bzw. Objekten entwickelt wurden. Durch Isolationsschichten oder gezielte Abstimmung auf ein Untergrundmaterial wird die Reichweite auf Metall maximiert und in Verbindung mit entsprechendem Gehäusedesign für die verschiedenen Anwendungsfälle praxistauglich gemacht.



Abbildung 5: On-Metal-Transponder (Beispiel)

Quelle: [29]

Dadurch, dass diese Transponder auf einen Standarduntergrund abgestimmt sind, der bei einem Großteil der am Markt erhältlichen Produkte bereits in das Gehäuse integriert ist, ist der Einfluss des tatsächlichen Applikationsuntergrundes eher gering. Insofern kommen diese Bauformen auch für die Kennzeichnung von Baumstämmen in Betracht, da in diesem Fall der hohe Flüssigkeitsanteil der Stämme tendenziell am wenigsten Einfluss ausübt (vgl. dazu Kapitel 4.1.6 ab S. 83). Die Konzeption für den Einsatz auf Metall kann also an dieser Stelle möglicherweise ebenfalls dafür genutzt werden, Baumstämme sicher zu identifizieren. Nachteilig ist der je nach Beschaffungsmenge mit 1 bis 5 Euro pro Stück verhältnismäßig hohe Anschaffungspreis (Angaben nach mündlicher Information des deutschen Vertriebspartners).

Ebenso interessant sind Transponderlabel, die aufgrund ihrer besonderen Konstruktion besonders gegen mechanische und chemische Einflüsse geschützt sind, wie bspw. das Plasto-Label vom Hersteller Schreiner LogiData aus München (vgl. Abbildung 6).



Abbildung 6: Plasto-Label von Schreiner LogiData
Quelle: [30]

In der Produktbeschreibung heißt es: „((rfid))-Plasto-Label sind einseitig in PU-Harz vergossen und beständig gegen Wasser, Salzlösungen und die meisten Lösungsmittel. Schmieröle, Fette und Treibstoffe greifen nicht an“ [30]. Insofern erscheinen die Etiketten zumindest theoretisch geeignet für den geplanten Anwendungsfall.

2.3.2.3 Stromversorgung und Lesereichweite

Üblicherweise unterscheidet man aktive, passive und semi-aktive (z. T. auch semipassiv genannte) Systeme. Passive Transponder besitzen keine eigene Stromversorgung und beziehen ihre zur Datenübertragung benötigte Energie aus dem Lesefeld der Antenne des Lesegerätes, in der Regel über das Prinzip der elektromagnetischen Induktion (vgl. z. B. [31]) bzw. über eine sog. Backscatter-Kopplung [19]. Aktive RFID-Systeme sind dagegen so konzipiert, dass der Transponder über eine eigene Batterie verfügt und dadurch weitaus größere Reichweiten erzielen kann. Daneben können bei Bedarf weitere Systeme auf dem Transponder (bspw. Sensoren) mit Strom versorgt werden. Semiaktive Transponder sind eine Hybridform aus beiden Prinzipien. Während die Datenübertragung an das Lesegerät auf dem passiven Weg erfolgt, versorgt die auf dem Transponder vorhandene Batterie die Sekundärsysteme (üblicherweise Sensoren) mit Energie, die für die kontinuierliche Aufzeichnung der Messwerte und den allgemeinen Betrieb der Sensorik erforderlich ist. Verbreiteten Einsatz finden derartige Systeme bspw. im Rahmen der Kühlkettenüberwachung. Im Zusammenspiel aus Frequenzband und Bauform ergeben sich unterschiedliche Lesereichweiten, die von maximal ca. 50 cm (LF) über ca. 1,5 m (HF) bis hin zu ca. 6 m im UHF-Band reichen. Die genannten Zahlen basieren auf eigenen Untersuchungen.

Aktive Transponder weisen aufgrund der eigenen Batterieunterstützung eine um ein Vielfaches stärkere Sendereichweite auf, die bis zu über 100 Meter erreichen kann.

2.3.2.4 Speicherkapazität

Der auf einem Transponder zur Verfügung stehende Speicher ist eine zwingende Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit des RFID-Systems, in dem er zum Einsatz gelangen soll. Es ist dabei grundsätzlich zu unterscheiden, ob es sich um einen read-only, read/write oder WORM-Transponder handelt.

Read-only Transponder besitzen im Grunde genommen keinen Speicherbereich, sondern stellen lediglich eine bereits vom Hersteller festgelegte, weltweit eindeutige Nummer zur Verfügung (die sog. Tag ID), welche von den Lesegeräten in aller Regel als hexadezimaler Code ausgelesen wird. Dieser Code kann nicht überschrieben werden und dient daher üblicherweise als Referenz auf einen entsprechenden Datensatz in der zentralen Datenbank.

Read/Write Transponder hingegen bieten zusätzlich zur Tag ID weitere Speicherkapazität, die von wenigen Bit bis hin zu mehreren Kilobyte reichen kann. Sie ermöglichen dem Anwender, eigene Daten direkt auf dem Transponder zu hinterlegen und damit eine dezentrale Datenhaltung aufzubauen, da zur Abfrage der Informationen keine Verbindung zu einer Datenbank erforderlich ist. Da der Speicherbereich nahezu beliebig oft überschrieben und bestehende Daten auch ergänzt werden können, werden diese Transponder vorwiegend zur Steuerung und Dokumentation von Produktionsprozessen eingesetzt. Dabei ist der Transponder umso teuer, je mehr Speicherkapazität er zur Verfügung stellt, und auch die Datenübertragung kann sich mit steigender Datenmenge verlangsamen.

Insbesondere durch die umfassenden Aktivitäten bei METRO [32] momentan am weitesten verbreitet sind die sogenannten WORM-Transponder (Write Once, Read Multiple). Sie stellen einen bestimmten Speicherbereich – üblicherweise 96 Bit – zur Verfügung, der einmalig beschrieben und dann nur noch ausgelesen werden kann. Sie werden bspw. dazu eingesetzt, um EPC-Codierungen auf Ladeeinheiten, Verpackungen oder Produkten zu speichern. Da der EPC-Standard [33] auch größere Codes vorsieht, sind auch andere Speichergrößen (je nach Anwendungsfall 113, 170, 195, 198 oder 202 Bit) verfügbar, werden aber zurzeit kaum nachgefragt. Da die 96-Bit Label aufgrund des großen Bedarfs nicht nur bei METRO in sehr hohen Stückzahlen produziert werden, sind sie vergleichsweise preiswert am Markt verfügbar.

2.3.2.5 Standards und Richtlinien

Für eine weite Verbreitung und allgemeine Akzeptanz einer Technologie ist die Existenz von Standards und Regelwerken unabdingbar. Erst wenn Geräte unterschiedlicher Her-

steller zueinander kompatibel sind und diese vor dem Hintergrund der Globalisierung auch in anderen Ländern funktionieren, erhält eine Technologie einen Mindestverbreitungsgrad, der ihr zum Durchbruch verhelfen kann.

Im Hinblick auf die RFID-Technik ist dies nicht anders. Erst durch die Inkraftsetzung wichtiger Standards und EU-übergreifender bzw. internationaler Regelwerke wurden die Voraussetzungen für eine weitgehende Akzeptanz und Umsetzung geschaffen. So ist heutzutage garantiert, dass Transponder, die z. B. in Europa beschrieben werden, auch in den USA oder in Asien auslesbar sind, so dass transnationale Lieferketten weitestgehend realisiert werden können, ohne landesspezifische Identifikationssysteme betreiben zu müssen.

Doch die Standardisierung schreitet stetig voran und wird kontinuierlich ausgebaut und aktualisiert. Dabei treten neben Organisationen wie der ISO zunehmend auch private Gesellschaften wie GS1 bzw. EPCglobal in Erscheinung, die in enger Zusammenarbeit mit der Industrie an deren konkreten Anforderungen orientierte Regelwerke und Standards entwickeln. Der EPC-Code ist dafür ein praktisches Beispiel, der sicherstellen soll, dass jedes Produkt der Welt eineindeutig gekennzeichnet und identifiziert werden kann.

Insgesamt lassen sich die existierenden und angekündigten Standards in folgende Gruppen einteilen:

- Luftschnittstelle
- Qualitätsnachweis und Testmethoden
- Datenprotokoll und Systemmanagement
- Eindeutige Identifizierung
- Kontaktlose Chipkarten
- Near Field Communication (NFC)
- Europäische Vorgaben
- Funkvorschriften
- Personenschutz

Diese Gruppen wiederum können zu drei übergreifenden Klassen zusammengefasst werden:

- EPCglobal-Standards
- Anwendungsstandards
- Leitfäden und Referenzsysteme

An dieser Stelle sei mit Blick auf die Relevanz beispielhaft auf die Richtlinien ISO 18000-6 (Luftschnittstelle) [23] bzw. ETSI EN 302208 (Europäische Funkvorschrift) [34][35] sowie das Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol von EPCglobal [36]

hingewiesen. Auf den RFID-Einsatz bezogene Richtlinien oder Standards für die Wald-, Forst- und Holzwirtschaft existieren bislang nicht.

2.3.3 Druckbare Kennzeichnungen

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Codearten dienen vorwiegend der Identifikation von Produkten und können auf unterschiedliche Art und Weise appliziert werden, z. B. mittels Klebeetikett oder Direktdruck.

2.3.3.1 Barcode

Als klassischer Barcode bietet sich der Code 128 als linearer, eindimensionaler Code an (vgl. Abbildung 7). Er hat sich in der Industrie bewährt und als robuste und einfache, alphanumerische Codierung mit hoher Informationsdichte durchgesetzt. Die Symbologie wurde in der Norm ISO/IEC 15417 definiert [37].



Abbildung 7: Beispielhafter Barcode Typ 128
Quelle: Eigenerstellung

Alternativ bietet sich der Code 2/5-Interleaved an, der ebenfalls weit verbreitet und in der Norm ISO/IEC 16390 spezifiziert ist (vgl. Abbildung 8) [38]. Er ist allerdings nur mit einer geraden Anzahl Ziffern verwendbar und sollte immer mit einer Prüfziffer eingesetzt werden. Es können nur die Ziffern 0 bis 9 codiert werden, d. h. z. B. keine Buchstaben oder weitere Zeichen. Die Sonderform „industrial“ ist so aufgebaut, dass lediglich die Balken, nicht jedoch die Lücken Informationen enthalten [39].

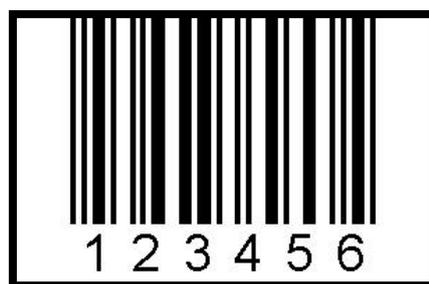


Abbildung 8: Beispielhafter Barcode Typ 2/5 Interleaved
Quelle: Eigenerstellung

Das allgemeine Codierungssystem bei Barcodes besteht darin, dass numerische oder auch (abhängig vom eingesetzten Code) alphanumerische Zeichen in eine Kombination aus breiten und schmalen, schwarzen und farblosen Balken überführt werden, die dann aneinandergereiht und nach bestimmten Regeln ineinander verschachtelt den oben dar-

gestellten Code ergeben. Um die Leserichtung des Codes festzulegen, sind i.d.R. sogenannte Ruhezonens an beiden Seiten definiert, die dem Scanner in Verbindung mit definierten Start- und Endezeichen im Code Informationen über Beginn und Ende der Codierung liefern. Die Auslesung der Codes erfolgt optisch über standardisierte, mobile oder fest installierte Barcodescanner. Durch die unterschiedliche Reflexion der dunklen Striche und der hellen Lücken entsteht im optischen Empfänger eine Impulsfolge, die dieser Sequenz an Strichen und Lücken entspricht. Eine elektronische Auswertung interpretiert dann diesen Impulszug als Daten.

2.3.3.2 OCR / ICR / MICR

Das Akronym OCR steht im hier zu betrachtenden Zusammenhang für *Optical Character Recognition* und bezeichnet ein Verfahren zur maschinellen Erkennung von (alphanumerischen) Zeichen. Als in den Anfängen noch nicht ausreichend Rechenkapazität zur Verfügung stand, mussten für einen erfolgreichen Einsatz bestimmte OCR-Schriftzeichen – z. B. OCR-A (vgl. Abbildung 9) und OCR-B (vgl. Abbildung 10) – verwendet werden, so dass der Computer diese auch erkennen konnte.



Abbildung 9: Mustercode OCR-A
Quelle: [40]

Die benutzbaren Schriftarten wurden in den internationalen Standards ISO 1073-1 [41], ISO 1073-2 [42] sowie DIN 66225 [43] festgelegt und dienten über Jahre hinaus als Grundlage der optischen Zeichenerkennung. Die heute eingesetzten Computer verfügen hingegen über so viel Leistung, dass sie auch normale Druckschriftarten und zum Teil sogar Handschriften erkennen können, so dass der Einsatz der OCR-Schriftarten nicht mehr zwingend erforderlich ist, aus Gründen der Stabilität und Internationalität aber durchaus noch erfolgt.



Abbildung 10: Mustercode OCR-B
Quelle: [40]

Die Erkennung hat dort ihre Grenzen, wo Schriftzeichen sich aus technischer Sicht nicht ausreichend voneinander unterscheiden (z. B. 0 und 8, B und E), und die Software mehr

oder weniger aus dem Zusammenhang, also z. B. mit Hilfe einer Grammatik- und Wörterbuchanalyse, das korrekte Zeichen „raten“ muss. Ebenso schwierig handhabbar sind bspw. durch mechanische Einwirkungen nur unvollständig vorhandene Schriftzeichen.

Einen Schritt weiter als OCR geht die *Intelligent Character Recognition* (ICR). Sie umfasst Methoden zur Kontextanalyse erkannter Schriftzeichen und kann auf diese Weise Fehlerkennungen selbständig beheben. So kommt es bspw. häufig vor, dass statt des Buchstabens „B“ die Zahl „8“ erkannt wird. Mit ICR ist die Software in der Lage, aus „8all“ wieder das korrekte Wort „Ball“ zu machen und erspart so eine aufwendige manuelle Korrektur.

Eine spezielle Variante von OCR ist MICR: die *Magnetic Ink Character Recognition*. Diese Methode findet vorwiegend bei der Erkennung von Schecks in den USA Anwendung und basiert auf einem speziellen Zeichensatz sowie einer durch beigemischte Eisenoxid-Partikel magnetisierbaren Tinte. Ein entsprechendes Lesegerät vorausgesetzt, kann auf diese Weise die Erkennung der Schriftzeichen deutlich schneller und sicherer erfolgen als mit herkömmlichen OCR-Methoden [44].

2.3.3.3 Zweidimensionale-Codes

Die bislang am meisten verwendeten Barcodes codieren die Information nur in einer Richtung. Neuere Entwicklungen nutzen hingegen zwei Dimensionen zur Codierung, wodurch mehr Informationen auf der gleichen Fläche untergebracht werden können, die Auswertung dagegen entsprechend aufwendiger wird. Man unterscheidet bei den zweidimensionalen Codes zwischen Codes, die mehrere lineare Barcodes übereinander anordnen und matrixförmigen Codes, die wie bei einem Schachbrett die Anordnung von dunklen und hellen Punkten definieren.

2.3.3.3.1 Codablock F

Im Trend liegen Auto-ID-Systeme, welche mit Kennzeichnungstechnologien arbeiten, die möglichst viele Informationen auf kleinstem Raum darstellen können. Als Lösung für diese Problemstellung wurden zweidimensionale Barcodes geschaffen, deren Grundprinzip die Stapelanordnung mehrerer Barcodes ist. Das Ausweichen in die zweite Dimension schafft bei diesem Prinzip zusätzliche Flächenkapazitäten für die Informationsbereitstellung zum Preis der Reduzierung der Codehöhe einzelner Zeilen.

Auf dieser Grundlage beruht z. B. der Barcode „Codablock F“ (vgl. Abbildung 11). Er stellt, unter Verwendung von Standard-Barcodes (wie etwa Code 128) eine größere Informationsmenge in einem Block von untereinander angeordneten Einzelcodes dar. Solange zweidimensionale Barcodes auf Standard-Barcodes basieren, können vorhandene Lesegeräte relativ leicht auf die Erkennung solcher Codes erweitert werden.

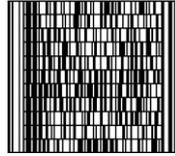


Abbildung 11: Beispiel für einen Codablock F Code
Quelle: Eigenerstellung

2.3.3.3.2 Data Matrix

Eine Steigerung ergibt sich mit dem zweidimensionalen Data Matrix-Code (vgl. Abbildung 12). Mit diesem Code kann im Vergleich zu eindimensionalen Barcodes und zum gestapelten Codablock F die Informationsdichte pro Fläche nochmals deutlich erhöht werden. Entwickelt wurde der Data Matrix-Code in den späten 1980er Jahren in den USA. Heute ist er mit der bekannteste Vertreter der 2D-Code Familie und wird überwiegend für dauerhafte Direktbeschriftungen mittels Laser in der Produktion (Leiterplatten, Platinen), im Automobilbau, bei Analysegeräten und Instrumenten (Chemie, Medizin), aber auch zunehmend im Dokumentenhandling (Tickets, DV-Freimachung beim Postversand) und zur Produktkennzeichnung verwendet. Standardisiert wurde dieser Codetyp durch die internationale Norm ISO/IEC 16022 [45] und mittels DIN EN 9132 [46] für die Luft- und Raumfahrt näher spezifiziert.

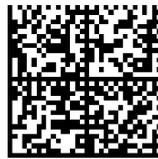


Abbildung 12: Beispiel für einen Data Matrix-Code
Quelle: Eigenerstellung

Der Data Matrix Code enthält redundante Daten, so dass durch die verwendete Reed-Solomon-Fehlerkorrektur bis zu 25% der Fehler in den einzelnen Elementen automatisch korrigiert werden können (wenn beispielsweise Teile des Codes überdeckt oder zerstört wurden). Beim Lesen eines Data Matrix Codes müssen nicht mehr die verschiedenen Strichdicken wie beim 1D-Code eindeutig bestimmt werden, sondern nur, ob im Raster des Codes schwarze oder weiße Kästchen sind, was das Erkennen deutlich einfacher macht. Da der Data Matrix Code außerdem bei gleicher Information viel weniger Platz benötigt, verdrängt er den 1D-Code in vielen Anwendungen. Nachteilig hingegen ist bisweilen die erforderliche aufwendigere Lesetechnik.

2.3.3.3.3 Aztec Code



Abbildung 13: Beispiel für einen Aztec-Code
Quelle: Eigenerstellung

Der Aztec Code (vgl. Abbildung 13) ist noch ein Exot und eine eigenständige 2D-Codeart. Bisher ist diese nicht in die Standardisierung aufgenommen worden. Die Deutsche Bahn AG testet einen derartigen Code auf ihren Online-Tickets. Da der Code von innen nach außen seine Dateninhalte anordnet, sind die gekennzeichneten Produkte noch auslesbar, auch wenn im Randbereich des Codes Elemente entfernt wurden, was ihn besonders dort interessant macht, wo bspw. durch mechanische Einwirkungen, Abriebeffekte oder Verschmutzungen partielle Zerstörungen des Codes zu erwarten sind.

2.3.3.3.4 QR-Code

In Europa kaum, im asiatischen Raum hingegen bereits sehr weit verbreitet ist der QR-Code, der im Jahr 1994 von der japanischen Firma Denso Wave entwickelt und patentiert wurde. Das Unternehmen verzichtet jedoch auf die Ausübung der Patentrechte und auf das Erheben von Lizenzgebühren, so dass auch die kommerzielle Nutzung des Codes kostenfrei ist. Die japanische Einwanderungsbehörde nutzt unter anderem den Code mit verschlüsselten Daten für Einreisevisa, so dass auf absehbare Zeit eine Durchsetzung von Lizenzgebühren sehr unwahrscheinlich erscheint.



Abbildung 14: Beispiel für einen QR-Code
Quelle: Eigenerstellung

Der Code ist ebenfalls sehr robust und kann noch decodiert werden, wenn 30% des Codes zerstört worden sind. In Asien wird er vorwiegend dafür verwendet, Internetadressen zu codieren. Die abgedruckten Codes können mit Mobiltelefonen fotografiert und anschließend entschlüsselt werden, und der Anwender kann sofort die entsprechende Website mit seinem Telefon ansurfen. Seit Januar 1999 ist der Code in Japan durch die Norm JIS X 0510 standardisiert [47].

2.3.4 Weitere potenzielle Kennzeichnungsverfahren

Neben der Applikation gedruckter Codes oder dem Anbringen von Transpondern bestehen noch weitere Möglichkeiten, Produkte zu kennzeichnen. Dies können sowohl me-

chanische Einwirkungen sein als auch Verfahren, die ohne vorherige Codeapplikation arbeiten. Die folgende Auswahl bietet sich zunächst grundsätzlich für den Einsatz im Forst- und Holzbereich an [48].

2.3.4.1 Microtaggants

Microtaggants sind mikroskopisch kleine Partikel, bestehend aus verschiedenfarbigen Kunststoffschichten, die in Kombination einen individuellen Code bilden. „Ein einfacher Microtaggant ist eine einzigartige, numerische Code Reihenfolge in einem mehrfarbigen Schichtenformat. In einer komplexeren Form liefert ein Microtaggant mehrere Sicherheitsschichten durch die Einarbeitung vieler "Taggant" Technologien“ [49]. Insgesamt lassen sich damit Millionen verschiedener Permutationen bilden. Da für die Auslesung dieser Codeform jedoch Mikroskope erforderlich sind, scheidet das Verfahren zur Kennzeichnung von Holz grundsätzlich aus, zumal die Kleinstpartikel innerhalb der Holzfasern unsichtbar würden.

2.3.4.2 Chemische Indikatorfarbe

Bereits seit 1988 wird in den USA chemische Indikatorfarbe verwendet, um Diebstahl von Holz zu verhindern bzw. nachzuweisen. Das System besteht aus zwei Farbkomponenten, von denen eine im Außeneinsatz und die andere lediglich im Labor nachweisbar ist [48]. Da mit dieser Technologie keine Informationen codiert werden können, ist auch diese Kennzeichnungsform für das nachfolgend beschriebene Vorhaben ungeeignet.

2.3.4.3 Chemischer und genetischer Fingerabdruck

Die Identität bestimmter Produkte kann über die Bestimmung ihres chemischen oder genetischen Fingerabdrucks verifiziert werden [48]. Das Verfahren ist jedoch überaus kostenintensiv und aufwendig, so dass ein praktikabler Alltagseinsatz im Sinne einer einhundertprozentigen Erfassung sehr unwahrscheinlich ist. Darüber hinaus wäre eine Detailanalyse nicht durchführbar, weil der Fingerabdruck allenfalls auf den ursprünglichen Baum, nicht jedoch auf spätere Zwischenprodukte rückschließen lässt.

3 Prozessbeschreibung und Ableitung von Problemen

Im Rahmen der Prozessabfolge ist zwischen zwei Abschnitten zu unterscheiden: Zum einen die Prozesskette vom Wald bis zum Sägewerk und zum anderen die Abfolge im Sägewerk selbst. Entsprechend liegt der Fokus auch auf unterschiedlichen Kennzeichnungsverfahren – während bis zum Sägewerk die RFID-Technologie intensiv betrachtet wird (vgl. Kapitel 4.1, Seite 53), steht im Sägewerk selbst die Direktmarkierung mittels Barcode bzw. OCR im Vordergrund (vgl. Kapitel 4.2, Seite 85). Insofern ist eine Zweiteilung der folgenden Ausarbeitungen zwingend erforderlich, um diese Differenzierung konsequent zu berücksichtigen. Demzufolge betonen die folgenden Anforderungsbeschreibungen die notwendigen, spezifischen Voraussetzungen für den Einsatz dieser Technologien in den unterschiedlichen Prozessschritten, und in den Kapiteln 4.1.1 (Seite 53) bzw. 4.2.1 (Seite 85) werden die jeweiligen Anforderungsprofile aufbereitet dargestellt.

3.1 Teil 1: Die Holzerntekette vom Wald bis zum Sägewerk

Da im Folgenden zwei unterschiedliche Holzernteketten behandelt werden, ist zunächst eine Abgrenzung der beiden Verfahren notwendig. Diese Unterteilung ist erforderlich, da sich die prozesstechnischen Vorgehensweisen in beiden Prozessketten zum Teil erheblich voneinander unterscheiden und damit auch differenzierte Analysen der Ist-Situation erforderlich machen.

Die *motormanuelle Holzerntekette* umfasst grundsätzlich eine Vielzahl von Arbeitsverfahren, wobei im Folgenden der überwiegend auftretende Fall betrachtet werden soll, dass die Fällung und Aufarbeitung der Bäume durch den Waldarbeiter und die Rückung mit einem Seilschlepper erfolgt, der die Stämme an einem Stahlseil hinter sich her zieht. Vom Zwischenlagerplatz an der Waldstraße erfolgt dann der Transport in das Sägewerk durch einen Langholz-LKW⁴.

Die *hochmechanisierte Holzerntekette* unterscheidet sich grundlegend von der motormanuellen Variante. Hier liegt der Fokus auf Prozessautomation und dem Einsatz von Maschinen, welche die ansonsten vom Waldarbeiter durchzuführenden Arbeiten übernehmen bzw. intensiv unterstützen. So werden die Bäume nicht mit der handbedienten Motorsäge gefällt, sondern durch einen sogenannten Harvester. Dieser verfügt über einen Kran, der dem Maschinenführer erlaubt, bis zu 15 m entfernt stehende Bäume zu beiden Seiten des Fahrzeugs aufzuarbeiten. Am Ende des Krans ist ein Aggregat angebracht, das alle Arbeitsschritte vom Fällen bis zur Aufarbeitung und Vermessung übernehmen kann.

⁴ Der Begriff „Langholz“ bezeichnet in diesem Zusammenhang Stämme mit einer Länge zwischen 6 und 20 Metern.

In der Regel wird in der hochmechanisierten Kette im Gegensatz zur motormanuellen Kurzholz⁵ produziert, weshalb ein Tragschlepper (auch Forwarder genannt) zur Rückung an die Waldstraße eingesetzt werden kann. Die Abfahrt vom Polter ins Sägewerk übernimmt dann schließlich ein Kurzholz-LKW. Die folgenden Kapitel beschreiben die jeweiligen Prozesse im Detail.

3.1.1 Baumauswahl und -kennzeichnung

Dieser Schritt ist für beide genannten Varianten der Holzerntekette identisch. Auf der Grundlage seiner mittel- und langfristigen Planung legt der Waldbesitzer aktuell auszuscheidende Bestände fest. Die konkret zu entnehmenden Bäume werden entsprechend der waldbaulichen Vorgehensweise ausgewählt und farblich markiert. In einer ersten Vorkalkulation wird der zu erwartende Holzanfall sortimentsweise berechnet und entsprechend den aktuellen Marktpreisen und Aushaltungskriterien der Holzindustrie abgeglichen. Bei größeren Hiebsmengen werden Rahmenverträge über zu liefernde Sortimente und Preise abgeschlossen.

3.1.2 Fällung und Aufarbeitung

3.1.2.1 Motormanuelle Variante

Der Waldarbeiter fällt die Bäume mit der Motorsäge und arbeitet sie handwerklich auf, d. h. er befreit den Stamm von Ästen und schneidet ihn bei Bedarf auf die gewünschten Längen zu. Die Ausrüstung des Waldarbeiters besteht aus sehr vielen Komponenten, die er an einem Gürtel bzw. in den Händen mit sich trägt, so dass der Arbeiter bereits mit den herkömmlichen Gerätschaften nahe an der Kapazitätsgrenze liegt. Für noch mehr Ausrüstung ist tendenziell kein Platz vorhanden. Sollen jedoch zusätzliche Identifikationsmittel eingesetzt werden, muss er diese, entsprechendes Applikationswerkzeug sowie ggf. ein Lesegerät zur Verarbeitung der digitalen Daten zusätzlich mit sich führen, was zunächst grundsätzlich zu einem Konflikt zwischen Tragekapazität und erforderlichem Material führt.

3.1.2.2 Hochmechanisierte Variante

Die ersten Arbeitsschritte erfolgen bei dieser Variante durch einen Harvester (vgl. Abbildung 15). Aufgrund der hohen Investitionskosten für eine derartige Maschine, die regelmäßig bei etwa einer halben Million Euro liegen, muss die Auslastung des Harvesters während seiner Einsätze stets nahe 100 % liegen, um rentabel arbeiten zu können.

⁵ Unter Kurzholz werden Abschnittslängen zwischen 2 und 6 m verstanden.



Abbildung 15: Harvester bei der Aufarbeitung

Quelle: [13]

In Abbildung 15 ist zu erkennen, wie der Prozess der Aufarbeitung mit einem Harvester aussieht. Der Baum wird mit Hilfe von Rollen durch das Aggregat gefördert, dabei zugleich vermessen und schließlich durch eine Motorsäge zugeschnitten. Während des Sägevorgangs befindet sich der Stamm in Ruheposition und ist fest fixiert, so dass dieser Zeitpunkt ideal für eine Applikation von Kennzeichnungsmitteln ist.

3.1.3 Rückung und Aufstapelung an der Waldstraße

3.1.3.1 Motormanuelle Variante

Im Vergleich zur hochmechanisierten Kette sind die Stämme i.d.R. zu lang, als dass sie mit einem Tragschlepper transportiert werden könnten. Daher müssen sie an Stahlseilen befestigt mit einem Seilschlepper aus dem Bestand gezogen werden (vgl. Abbildung 16).



Abbildung 16: Seilschlepper
Quelle: [13]

Dabei werden die Baumstämme üblicherweise mit dem dickkörtigen Ende am Schlepper befestigt und anschließend an die Waldstraße verfahren, wo sie zu einem Polter aufgestapelt und damit zur Abholung bzw. zum Verkauf vorbereitet werden.

3.1.3.2 Hochmechanisierte Variante

Im Unterschied zur motormanuellen Holzernte werden bei der hochmechanisierten Variante die Stämme nicht an einem Seil hinter dem Schlepper hergezogen, sondern auf einen Tragschlepper aufgeladen und dann zur Waldstraße abtransportiert (vgl. Abbildung 17). Da die Abschnitte in diesem Fall nicht über den Waldboden geschleift werden, treten deutlich geringere mechanische Belastungen während der Verladevorgänge auf – lediglich durch den Kontakt zwischen den Abschnitten entstehen potenziell relevante Kräfte.



Abbildung 17: Forwarder beim Beladen

Quelle: [13]

3.1.4 Transport zum Sägewerk

Nach Abschluss des Kaufvertrages erstellt der Waldbesitzer die Rechnung, verschickt diese an den Kunden und erteilt nach Eingang einer Anzahlung die Genehmigung für die Abfuhr. Diese erfolgt mit dem LKW – in Einzelfällen in Kombination mit Bahn oder Schiff – zu einem Werk der Holzbe- oder -verarbeitenden Industrie. Bei Eingang im Werk wird das Holz zunächst stichprobenartig kontrolliert und dann entsprechend dem Verwendungszweck sortiert.

In Abhängigkeit von Sortiment und Lagerbestand wird das angelieferte Rundholz entweder direkt auf die Anlage der Rundholzannahme abgeladen oder zunächst auf dem Rundholzplatz zwischengelagert. Diese Lagerung findet bei Laubholz in großen Nasslagern statt, in denen eine ständige Beregnung des Holzes erfolgt. Laubholz wird in der Regel nur im laubfreien Zustand eingeschlagen, also zwischen November und April. Daher findet eine Belieferung der Laubholzsägewerke ebenfalls nur im Winterhalbjahr statt, wodurch entsprechend große Lagerkapazitäten vorhanden sein müssen, um einen ganzjährigen Betrieb der Sägewerke garantieren zu können.

Je nach Lage eines solchen Lagerplatzes existieren möglicherweise mit der Lagerung zusammenhängende Probleme, die im Einzelfall beachtet werden müssen und zu höheren Kosten oder im Extremfall zu einem Einlagerungsverbot führen können. Im Zuge der Aufarbeitung der enormen Mengen von Sturmholz nach dem Orkan Kyrill bestand besondere Dringlichkeit der Einlagerung, um das Holz nicht Schädlingen und Fäulnisprozessen auszusetzen. Im westfälischen Hagen wurde von dem Unternehmen Stora Enso ein neues Nasslager in der Nähe des Hengsteysees eingerichtet, um etwa 100.000 Festmeter Holz für 1 bis 3 Jahre einlagern zu können [50]. Dies konnte jedoch erst realisiert

werden, nachdem das NRW-Umweltministerium zugesichert hatte, das Lager umfassend zu beobachten und insbesondere sicherzustellen, dass weder der See noch das Grundwasser negativ beeinträchtigt werden. Die Beobachtung während der Einlagerungsphase sollte wichtige Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen eines Nasslagers auf die Trinkwasserqualität liefern und so zukünftige Entscheidungen unterstützen.

Im Rahmen der motormanuellen Holzerntekette erfolgt der Transport zum Sägewerk mit Hilfe eines Langholz-LKWs (vgl. Abbildung 18), während in der hochmechanisierten Variante ein Kurzholz-LKW zum Einsatz kommt (vgl. Abbildung 19).



Abbildung 18: Langholz-LKW
Quelle: [13]



Abbildung 19: Kurzholz-LKW beim Beladen
Quelle: [13]

3.1.5 Schwachstellenanalyse

In der aktuellen Holzerntekette werden die Baumstämme nur rudimentär gekennzeichnet, um sie bspw. gekauften Chargen oder dem ursprünglichen Waldbesitzer zuordnen zu können. Aus Zeit- und Kostengründen wird zudem stets nur ein Teil der Stämme gekennzeichnet – man verlässt sich darauf, dass zusammen gelagerte Stämme der gleichen Charge entsprechen und somit nicht einzeln gekennzeichnet werden müssen. Diese Informationen sind jedoch rein transaktionsbasiert und bieten nicht die Möglichkeit, weitere Auswertungen und Berechnungen durchzuführen. So kann unter anderem später nicht mehr festgestellt werden, welches Zwischenprodukt im Sägewerk aus welchem Baumstamm generiert wurde und wo dieser Baum ursprünglich gestanden hat, um eine Qualitätsbewertung und Lieferantenbeurteilung durchführen zu können, wie sie in anderen industriellen Branchen üblich ist. Darüber hinaus besteht das Problem, dass unter schwierigen Witterungsbedingungen, wie z. B. Schnee und Vereisung, die mit Kreide oder Kunststoffplättchen angebrachten Kennzeichnungen nur schwer und teilweise gar nicht mehr lesbar sind. Vor allem, wenn nicht alle Stämme markiert sind oder Kennzeichnungen unlesbar sind, muss der Frachtführer regelmäßig raten, welche Stämme er – basierend auf seinem Auftrag – vom Polter entnehmen soll. Nicht immer gelingt es daher, die korrekten Stämme zu identifizieren, und so kommt es neben der Zuladungsbeschränkung auch durch diesen Effekt bei der Lieferung zu Abweichungen von den Bestellungen des Sägewerks.

Es muss daher eine Möglichkeit gefunden werden, das Holz so zu kennzeichnen, dass über die gesamte Holzerntekette hinweg ein Informationsfluss generiert wird, der die beschriebenen Informationen liefert und weitgehend unabhängig von Witterungseinflüssen ist. Die Informationen müssen einfach zu applizieren und kostengünstig sein, um die Margen nicht zu stark zu belasten.

3.2 Teil 2: Prozesse im Sägewerk

Die im Folgenden dargestellten Prozesse beziehen sich konkret auf das Sägewerk der Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG in Aschaffenburg, da die dort vorhandenen Anlagen und Prozessabläufe aufgrund des geringen Alters des Werks den gegenwärtigen Stand der Technik am besten repräsentieren. Auch wenn die Prozessdetails – z. B. aufgrund unterschiedlicher Maschinen oder aufgrund der verwendeten Holzarten – je nach Werk voneinander abweichen können, so handelt es sich insgesamt dennoch um einen für die Sägeindustrie typischen Prozessablauf. Die gezeigten Fotos werden mit Genehmigung der Firma Pollmeier verwendet. Ergänzend sei erwähnt, dass das Unternehmen in Aschaffenburg ausschließlich die Holzart Buche sägt und das Werk entsprechend darauf ausgerichtet ist.

3.2.1 Anlieferung / Wareneingang

Die Betrachtungen aus Sicht des Sägewerksbetreibers beginnen mit dem Wareneingang. Die Baumstämme werden grundsätzlich entweder als Kurzholz (i.d.R. bei mechanisierter Aufarbeitung im Wald) oder als Langholz (i.d.R. bei motormanueller Aufarbeitung) angeliefert. Bei Buchenholz – wie im vorliegenden Fall beispielhaft betrachtet – überwiegt jedoch das Langholz. Die Anlieferung erfolgt zeitversetzt zum Laubholzeinschlag in den Monaten Oktober bis Juni.

Die Lieferung basiert größtenteils auf einem vorherigen Einkauf eines Mitarbeiters des Sägewerks sowie einem festgelegten Anlieferzeitpunkt. Teilweise werden auch Stämme ungesehen bzw. nur nach stichprobenartigen Kontrollen lt. Angebot gekauft. Sobald der LKW die Werkseinfahrt passiert hat, kann die Ware als Wareneingang verbucht werden. Aufgrund der unterschiedlichen Poltergrößen können Teilladungen anfallen, da aufgrund der Zuladungsbeschränkung des LKWs Restmengen im Wald zurückgelassen werden müssen. Daher ist eine Kontrolle der Lieferung notwendig, was aktuell im Rahmen von Stichproben geschieht.

Die nach aktuellem Stand notwendige Kontrolle ist insofern als sehr aufwendig einzustufen, als dass jeder Baumstamm auf dem LKW einzeln anhand seiner Kennzeichnung (z. B. Nummernplättchen) identifiziert und mit der Bestellung abgeglichen werden muss. Dabei kommt es regelmäßig vor, dass einzelne Stämme aufgrund ihrer spezifischen Lage innerhalb der Ladung oder fehlender Einschlagplättchen nur sehr schwer oder gar nicht erkannt werden können. Insbesondere in den Wintermonaten, wenn die Stämme durch Schnee und Eis bedeckt sind, können die aktuell genutzten Kennzeichnungen schnell unleserlich werden oder sind nur mit erhöhtem Zeit- und Suchaufwand auffindbar. Es werden nur etwa 5% der Anlieferungen kontrolliert, um durch die zeitaufwendige Maßnahme keinen Stau bei der Werkseinfahrt zu verursachen, da aufgrund der erwähnten Saisonalität die Anlieferung in diesem Zeitraum praktisch kontinuierlich stattfindet.

3.2.2 Nasslager

Nach der Anlieferung existieren für den einzelnen Stamm zwei Möglichkeiten: Entweder wird der Stamm direkt zur Weiterverarbeitung geleitet oder im Nasslager zwischengelagert. Diese Zwischenlagermöglichkeit ist entscheidend für den Betrieb eines (Laubholz-)sägewerks, da – wie bereits weiter oben beschrieben – die Lieferungen nur saisonal erfolgen.

Daher wird in der Saison die erforderliche Holzmenge für eine ganzjährige Produktion gekauft. Die Baumstämme werden unter freiem Himmel stapelweise angeordnet (gepoltert), während in den Zwischenräumen in bestimmten Abständen zueinander Sprinkleranlagen installiert werden. Die kontinuierliche Bewässerung (vgl. Abbildung 20) sorgt für eine Konservierung des Holzes und verhindert Schädlingsbefall, so dass auch kurz

vor Beginn der neuen Saison, wenn die letzten Stämme das Nasslager verlassen, noch gute Qualitäten erreichbar sind.



Abbildung 20: Nasslager bei aktiver Wässerung
Quelle: Eigenerstellung

3.2.3 Kappanlage und Entrindung

An der Kappanlage wird der Stamm zunächst vermessen. Ein Einschnittsprogramm errechnet auf der Basis der Vorgaben des Sägewerksbetreibers⁶ die optimale Längeneinteilung des Stammes in Abschnitte und führt anschließend halbautomatisch die notwendigen Sägeschnitte durch.

Zuerst wird der Sauberkeitsschnitt durchgeführt, bei dem eine Scheibe mit variabler Breite vom Ende des Stammes abgeschnitten und dem Restholz zugeführt wird. Dies ist erforderlich, um qualitativ minderwertiges Holz auszusortieren, das vor allem durch die Lagerung des Stammes im Wald oder im Nasslager entstanden ist. Dies wird durch eine entsprechend ausgerichtete Auflage der Stämme (dickkörtig voraus) auf die Fördertechnik der Anlage sichergestellt.

⁶ Je nachdem, auf welchen Märkten das Schnittholz angeboten werden soll, sind bestimmte Eigenheiten zu berücksichtigen. So verlangt der amerikanische Markt bestimmte Standardlängen in Zoll, während Abnehmer aus Deutschland DIN-konformes Schnittholz voraussetzen. Entsprechend unterschiedlich muss der Baumstamm unterteilt werden, um einen maximalen Ausnutzungsgrad zu erzielen.

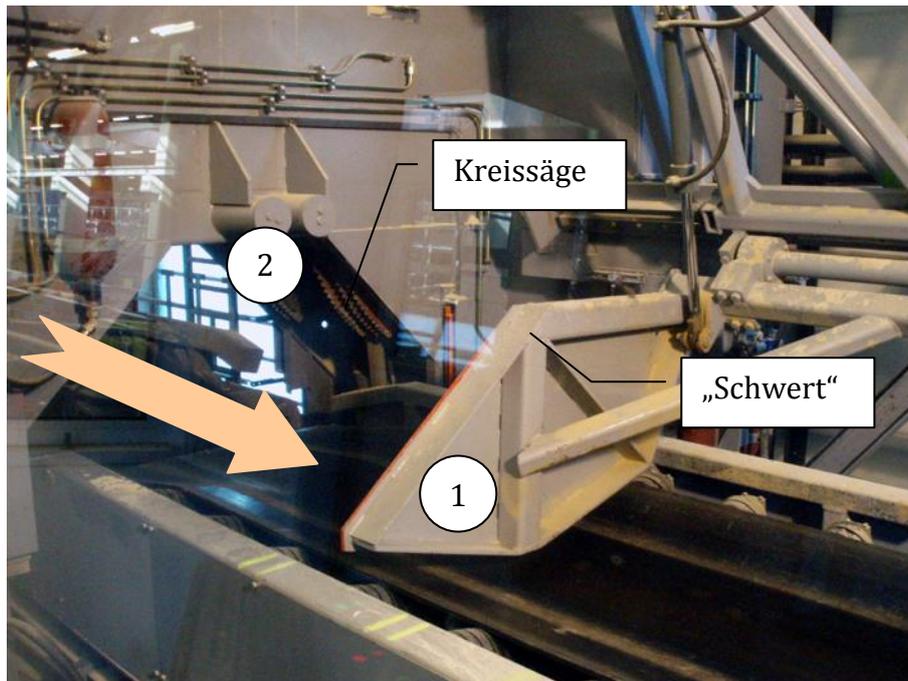


Abbildung 21: Kappanlage mit „Schwert“
Quelle: Eigenerstellung

Anschließend wird der Baumstamm in Längsrichtung bewegt, bis er mit dem vorderen Ende an einen beweglichen Anschlagpunkt, das sogenannte Schwert, stößt (vgl. Abbildung 21, Nr. 1). Nun wird der Stamm endgültig positioniert und mittels einer Kreissäge (vgl. Abbildung 21, Nr. 2) geteilt. Der fertige Abschnitt wird weiter befördert und zur Blockbandsäge transportiert, während sich der beschriebene Sägeprozess für den Rest des Stammes wiederholt, bis der letzte Abschnitt erzeugt wurde. Danach beginnt der Prozess mit dem nächsten Stamm erneut.

Anschließend gelangen die Abschnitte zum sogenannten „Begutachtungsquerförderer“, wie er in Abbildung 22 dargestellt ist. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich innerhalb eines Sägewerks die Begriffe „Längsförderer“ und „Querförderer“ stets auf die Ausrichtung des Holzes zur Förderrichtung beziehen. Stimmen Förderrichtung und Längsachse des Holzes überein bzw. sind diese parallel, spricht man von Längsförderung, bei orthogonaler Ausrichtung der beiden Achsen zueinander bezeichnet man die Strecke als Querförderer.

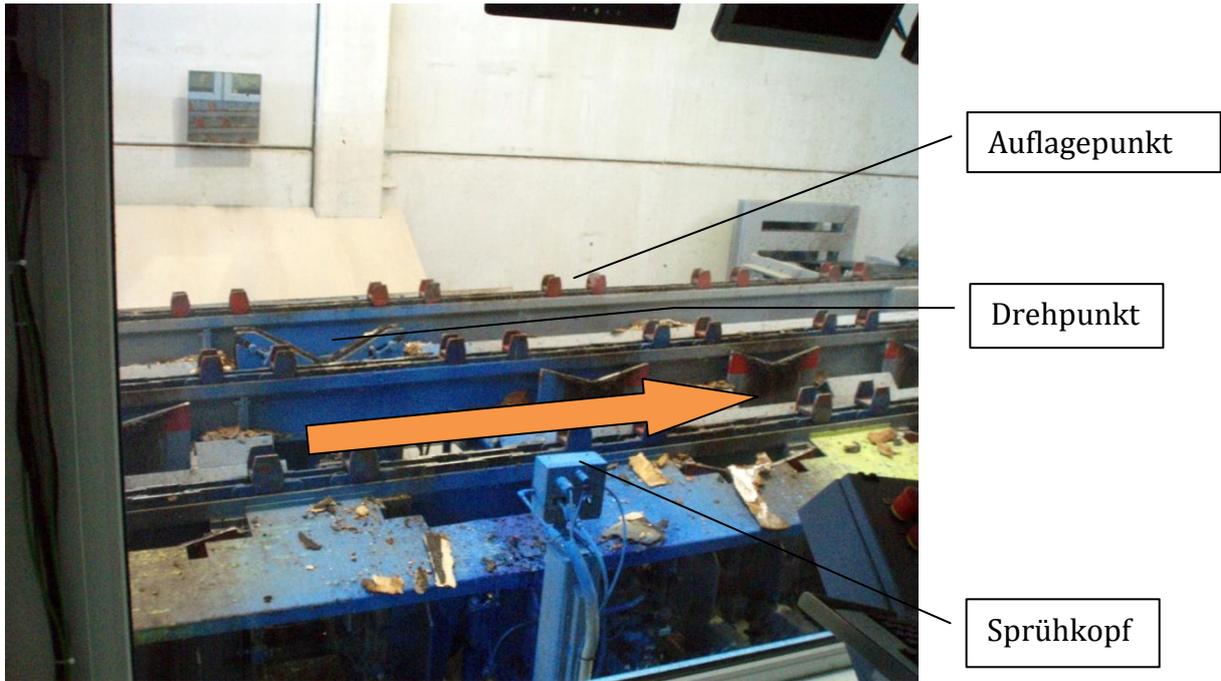


Abbildung 22: Begutachtungsquerförderer an der Kappanlage (Förderung in Pfeilrichtung)
Quelle: Eigenerstellung

Die zuvor gesägten Abschnitte werden an dieser Stelle quer gefördert und an der zur Bedienerkabine zeigenden Stirnseite mit einem blauen Farbstrich so markiert, dass in der nachgelagerten Blockbandsäge dieselbe Ausrichtung erzielt werden kann. Dies erfolgt nach Augenmaß auf Basis der Erfahrung des Maschinenführers und soll eine optimale Ausbeute des jeweiligen Abschnitts sicherstellen. Die folgende Abbildung 23 zeigt den vereinfachten Ablauf als Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK).

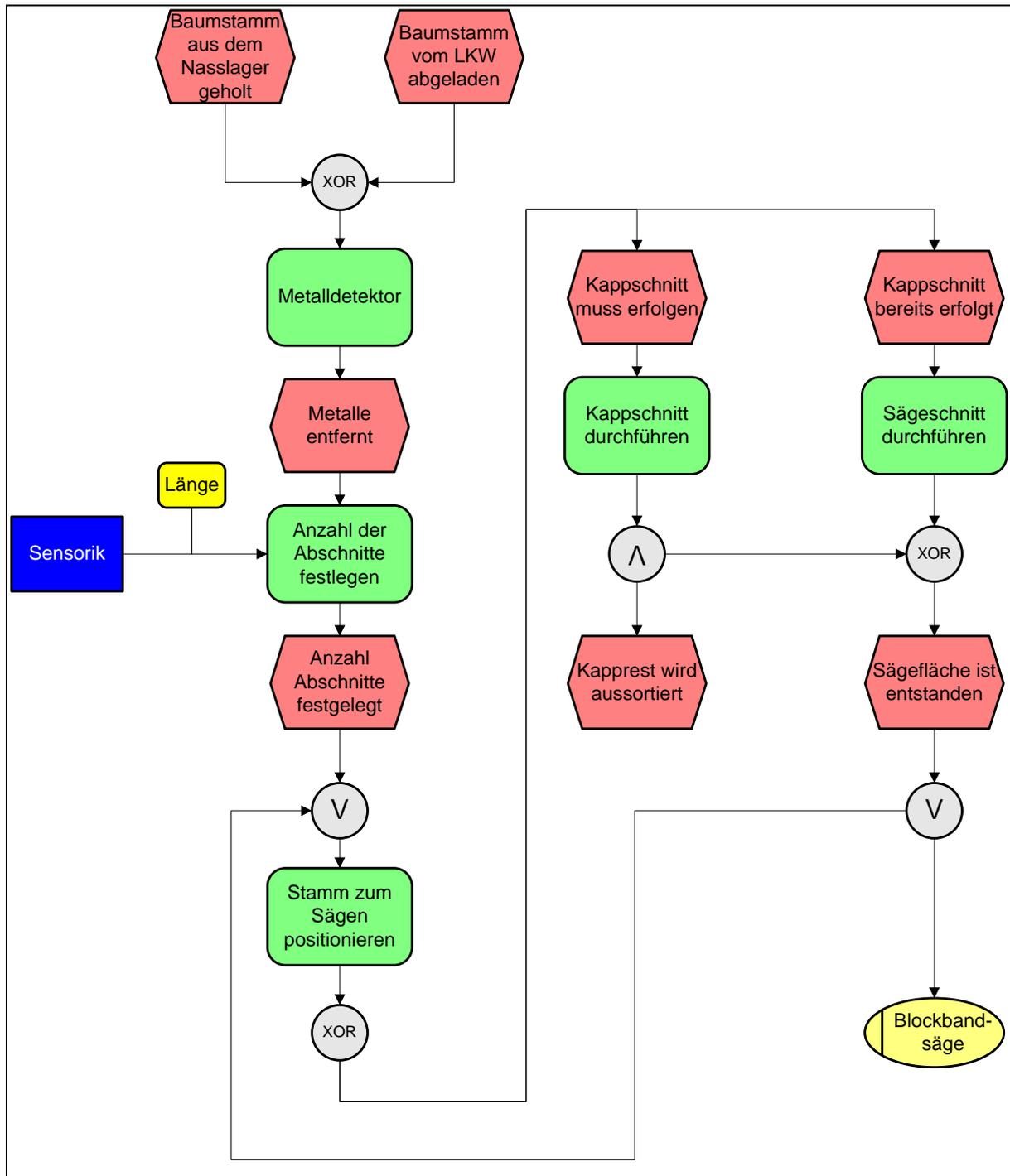


Abbildung 23: EPK der Kappanlage (vereinfachter aktueller Ablauf)

Quelle: Eigenerstellung

Der zu verarbeitende Baumstamm kommt entweder aus dem Nasslager oder wird direkt von einem anliefernden LKW abgeladen. Die Maschine legt anschließend die Anzahl der Abschnitte fest und positioniert den Stamm zum Sägeschnitt. An dieser Stelle ist zu unterscheiden, ob der Kappschnitt bereits erfolgt ist oder nicht. Wurde er bereits durchgeführt, wird der Sägeschnitt normal durchgeführt und der entstehende Abschnitt über den Begutachtungsquerförderer sowie durch die Entrindungsanlage zur Blockbandsäge

weiter transportiert. Muss der Kappschnitt noch erfolgen, wird dieser durchgeführt und der Kapprest dem Sägerestholz zugeführt. Im Ergebnis stehen nach diesem Schritt Rundholz-Abschnitte mit definierter Länge zur Verfügung.

3.2.4 Blockbandsäge

Die Blockbandsäge hat die Aufgabe, den noch runden Baumstammabschnitt für die nachfolgende Station vorzubereiten, an der die eigentlichen Bretter geschnitten werden. Die Abschnitte werden dazu zwischen zwei sog. Pinolen eingespannt (vgl. Abbildung 24) und so zu den Sägeblättern ausgerichtet, dass die Längsachse des Abschnitts parallel zur Verfahrachse der Anlage positioniert wird.

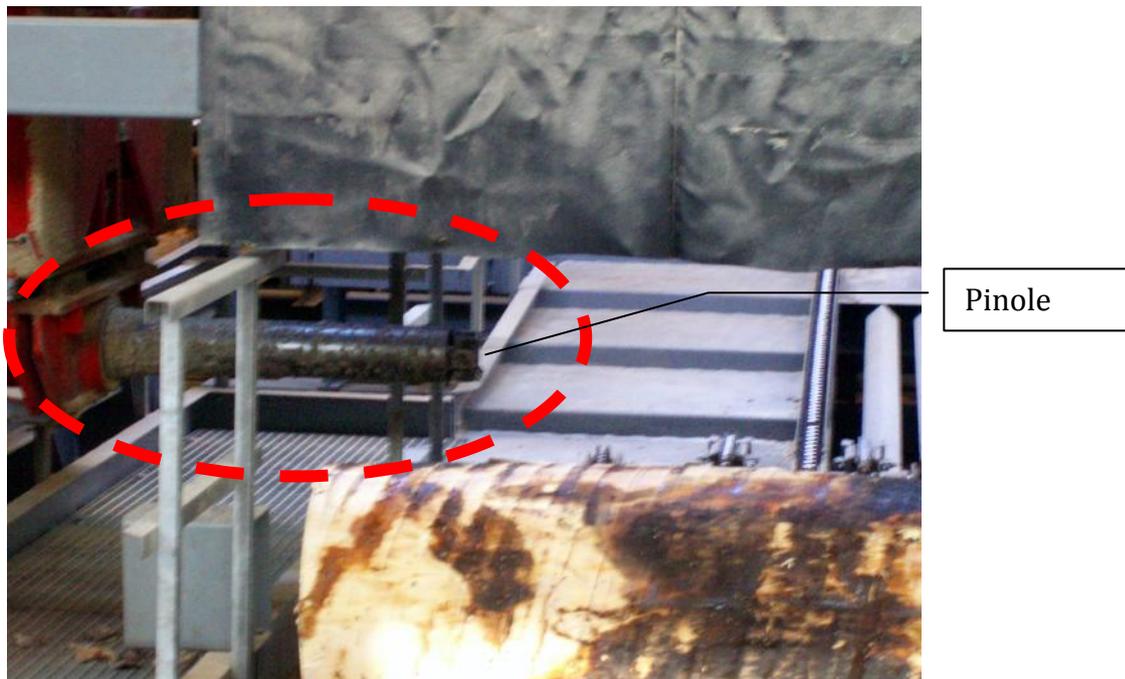


Abbildung 24: Einspannvorrichtung („Pinole“) an der Blockbandsäge
Quelle: Eigenerstellung

Je nach Sägewerk unterscheidet sich der Aufbau einer solchen Säge grundlegend. Die hier betrachtete spezielle Säge im Werk Aschaffenburg ist so aufgebaut, dass sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite des Verfahrwegs jeweils eine vertikale Bandsäge läuft. Wird nun der eingespannte Abschnitt zwischen den Sägeblättern entlang geführt, werden zugleich von beiden Seiten die sog. „Schwarten“ abgeschnitten. Vor dem Rücklauf wird das Holz um 90° gedreht und während des Zurückfahrens erneut beschnitten, so dass am Ende des Sägeprozesses der ehemals runde Abschnitt vier rechtwinklig zueinander liegende Schnittflächen hat (vgl. Abbildung 26, S. 41). Fortan wird er intern und auch hier im Folgenden zur Unterscheidung als „Model“ 7 bezeichnet. Der prozesstechnische Ablauf ist in Abbildung 25 als EPK dargestellt.

⁷ Gesprochen mit langem „o“ [mo:dl].

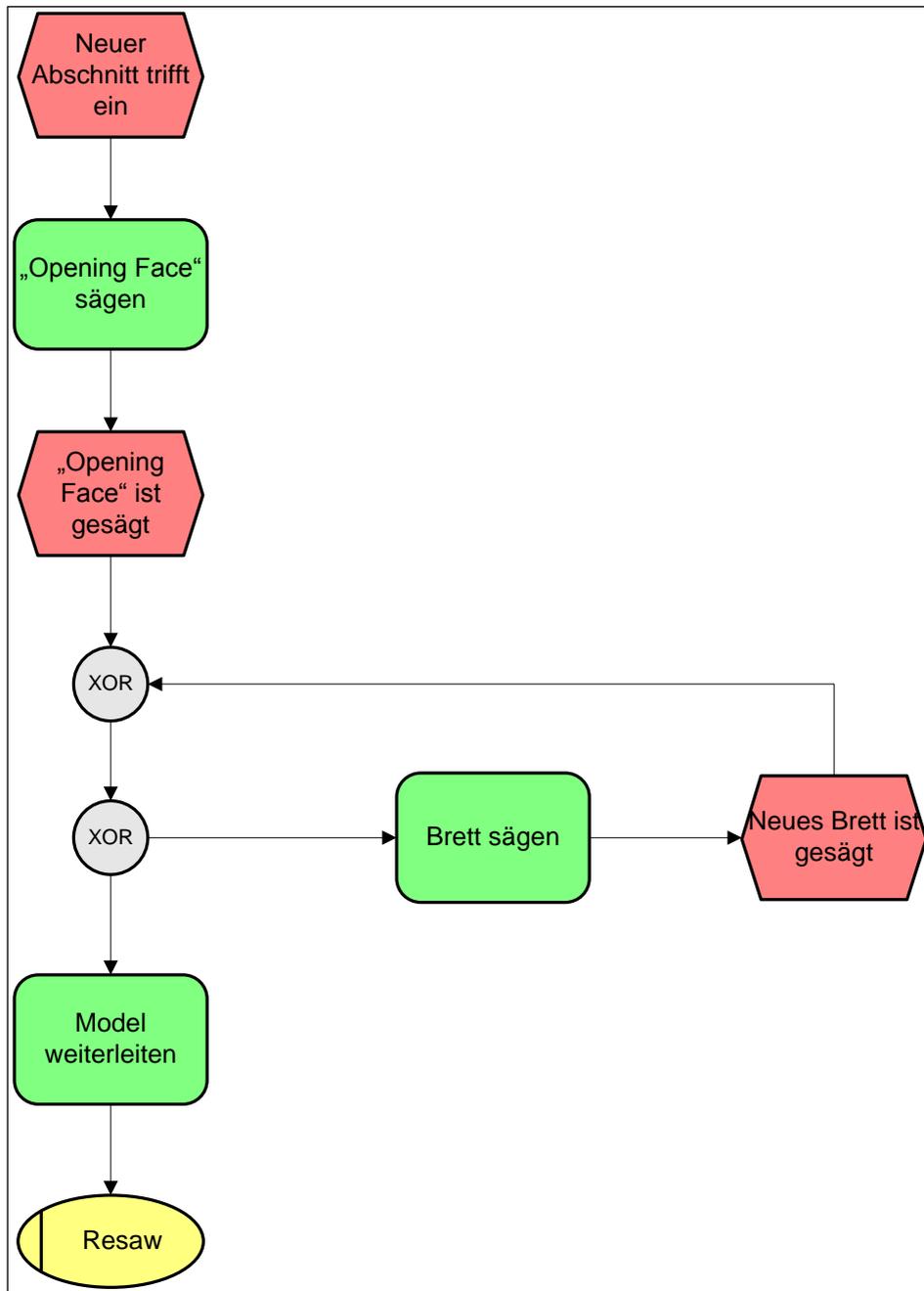


Abbildung 25: EPK der Blockbandsäge (vereinfachter aktueller Ablauf)
Quelle: Eigenerstellung



Abbildung 26: Endprodukt der Blockbandsäge – das Model

Quelle: Eigenerstellung

Neben der Umformung der Abschnitte zu Modeln besteht eine wesentliche Aufgabe der Blockbandsäge darin, die nachfolgenden Resaws zu unterstützen und bei Bedarf bereits selbst Bretter zu erzeugen. Durch die Ausstattung der hier vorgestellten Blockbandsäge mit zwei parallel arbeitenden Sägeblättern sowie der schnellen Vorschubgeschwindigkeit ist es möglich, die Model durch das Sägen von Brettern zusätzlich so zu verkleinern, dass ihre Umlaufzahl an den Resaws minimiert wird. Dies erhöht die Effizienz zusätzlich und ermöglicht eine bessere Auslastung und Beschickung durch die Kappanlage.

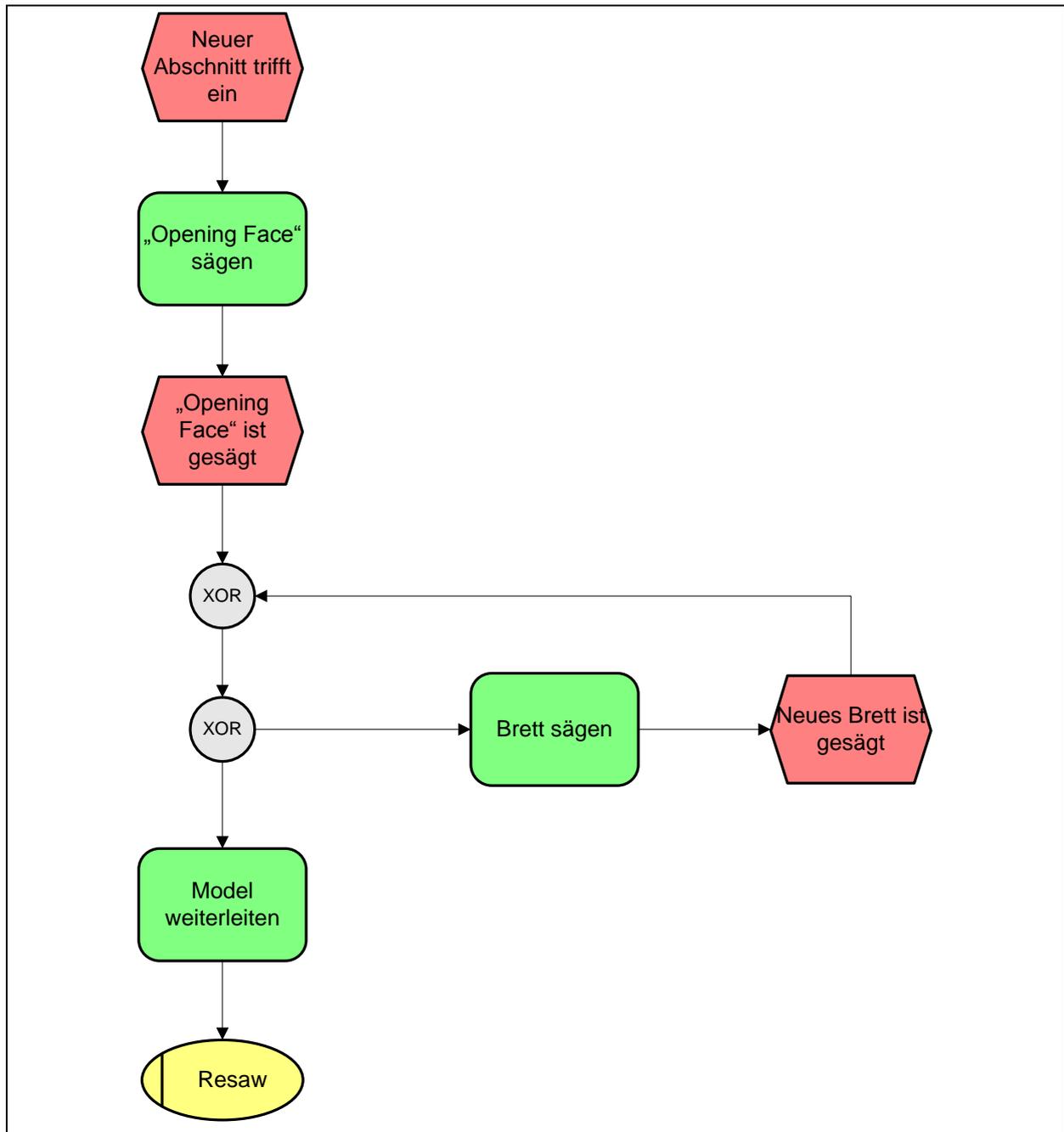


Abbildung 27: EPK der Blockbandsäge (vereinfachter aktueller Ablauf)
Quelle: Eigenerstellung

3.2.5 Resaw

Direkt nach der Vorbereitung durch die Blockbandsäge gelangen die Model zur sogenannten Resaw. Diese Sägemaschine richtet die Model aus und sägt die Bretter in einer definierten Stärke von den Seiten herunter, wobei die Model vom Bediener der Maschine vor dem Sägevorgang entsprechend um ihre Längsachse gedreht werden, um eine möglichst optimale Ausbeute zu erzielen.

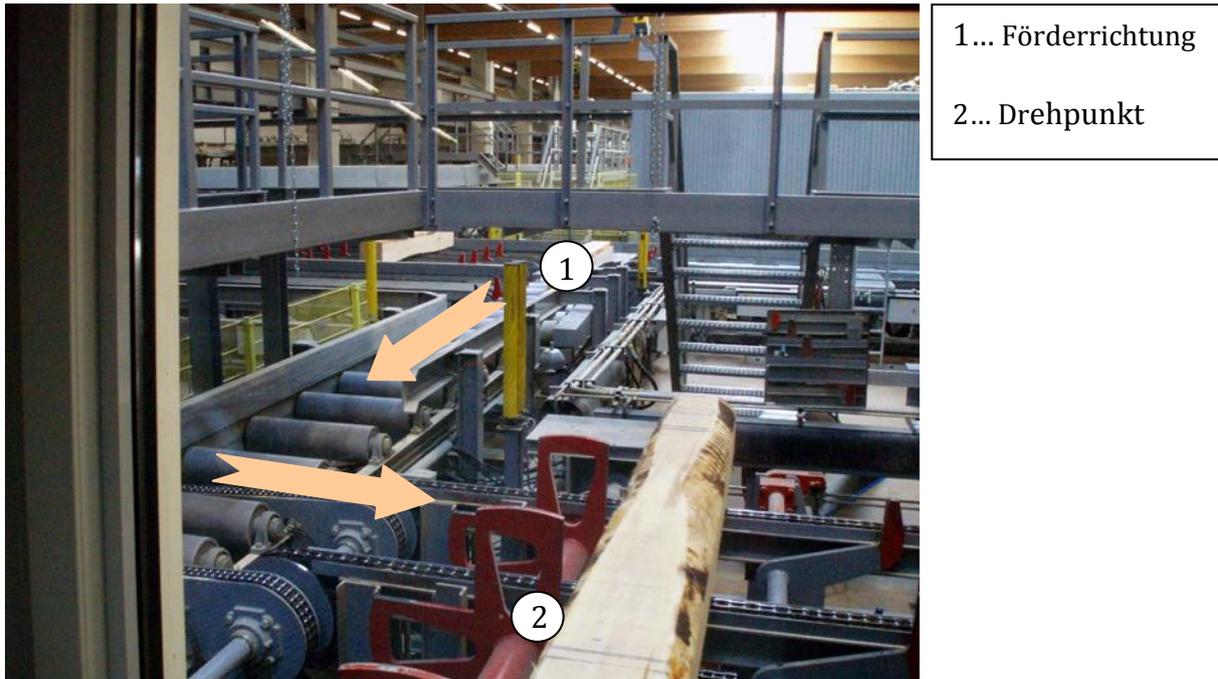


Abbildung 28: Ausrichtung der Model an der Resaw
 Quelle: Eigenerstellung

Abbildung 28 zeigt den Vorgang aus der Sicht des Maschinenführers. Die Model kommen aus der Richtung von Punkt 1 her und werden rechtsbündig ausgerichtet, so dass sie an der Führungsschiene entlanglaufen. An Position 2 werden die Holzblöcke dann mittels der in roter Farbe angestrichenen Drehvorrichtung neu ausgerichtet und so auf den späteren Sägeprozess vorbereitet. In der Abbildung gut zu sehen ist, dass das Model im Vordergrund an Position 2 offenbar gerade von der Blockbandsäge eingetroffen ist. Daher sind noch viele und großflächige, runde Oberflächen vorhanden (die sog. Wald- oder Baumkante), die auch später am Rohbrett zu erkennen sind. Typischerweise ist ein Model erst nach mehreren Umläufen frei von Waldkanten, sofern nicht bereits zuvor an der Blockbandsäge Bretter erzeugt und damit Waldkanten entfernt wurden.

In der Regel kommen mehrere Resaw-Anlagen zum Einsatz, um die vorgelagerte Blockbandsäge auslasten zu können. Sie erfüllen dabei auch unterschiedliche Aufgaben, indem die eine Maschine Model mit Waldkante, eine andere ausschließlich rechteckige Model sägt und eine weitere für Kanthölzer ausgelegt ist. Sofern die Model noch Waldkanten aufweisen bzw. eher rechteckige als quadratische Abmessungen haben, neigen sie nach dem Sägevorgang bedingt durch das Umsetzen auf den Querförderer dazu, um 90° in die Förderrichtung zu kippen.

Die EPK der Resaw ist in der folgenden Abbildung 29 dargestellt.

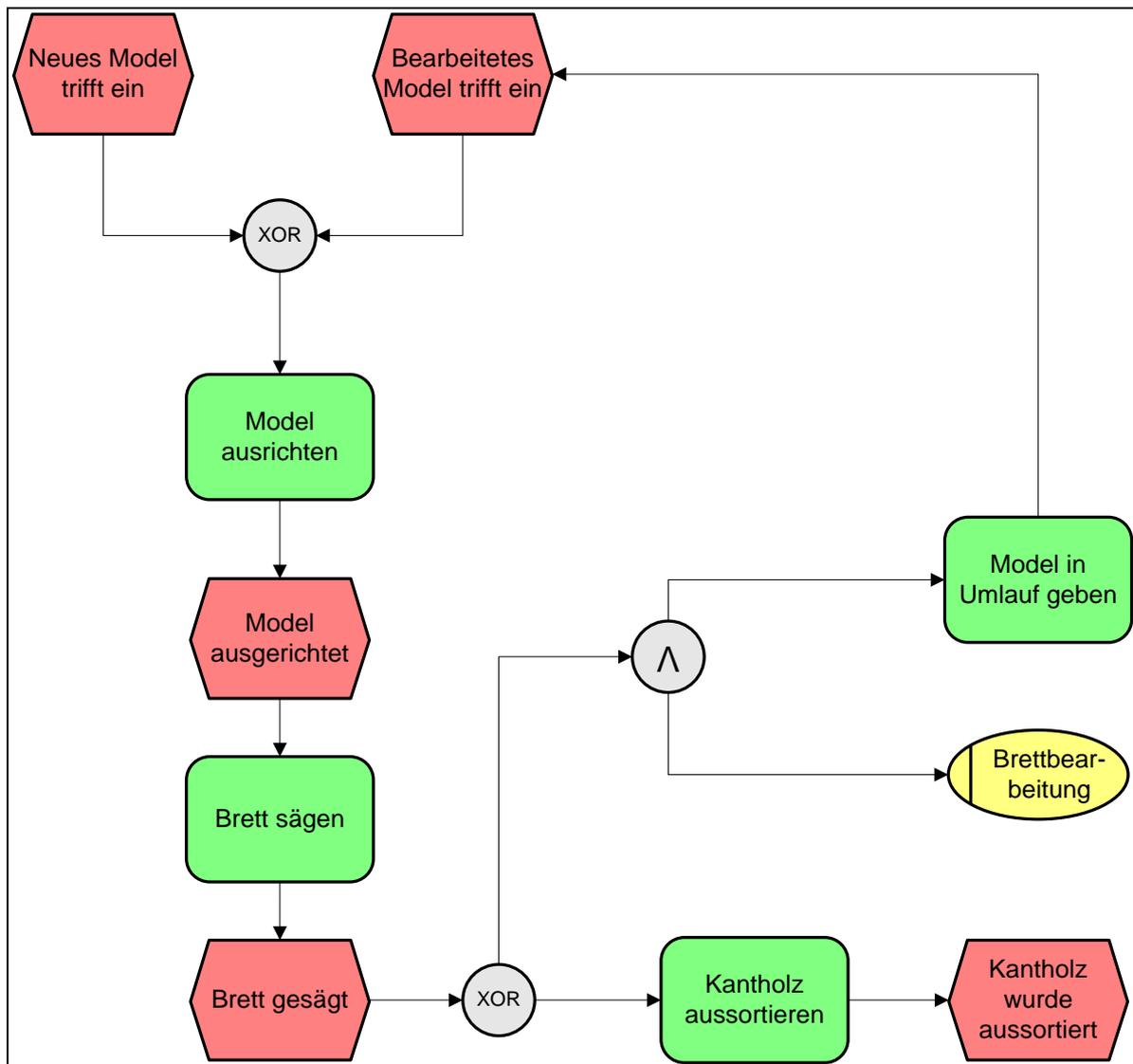


Abbildung 29: EPK der Resaw-Anlage (vereinfachter aktueller Ablauf)
Quelle: Eigenerstellung

Der Prozess unterscheidet zwischen zwei Anfangsbedingungen: Entweder ein neues Model wird von der Blockbandsäge geliefert, oder ein bereits bearbeitetes Model, von dem gerade ein Brett heruntergesägt wurde, durchläuft erneut den Prozess. Sobald ein neues Brett gesägt wurde, geht das Model erneut in den Umlauf, während das Brett die weiteren Bearbeitungsschritte durchläuft. Abbildung 30 zeigt den Weg des Models von der Ausrichtung (Abbildung 28) bis zur Säge.

Ebenso ist zu beachten, dass der Kreislauf eines Models nicht unendlich lange dauert, da irgendwann bloß noch ein Kantholz übrig ist. Dieses wird dann aussortiert und entweder getrennt verwertet oder zu einer spezialisierten Resaw weitergeleitet, um schmale Leisten zu produzieren.

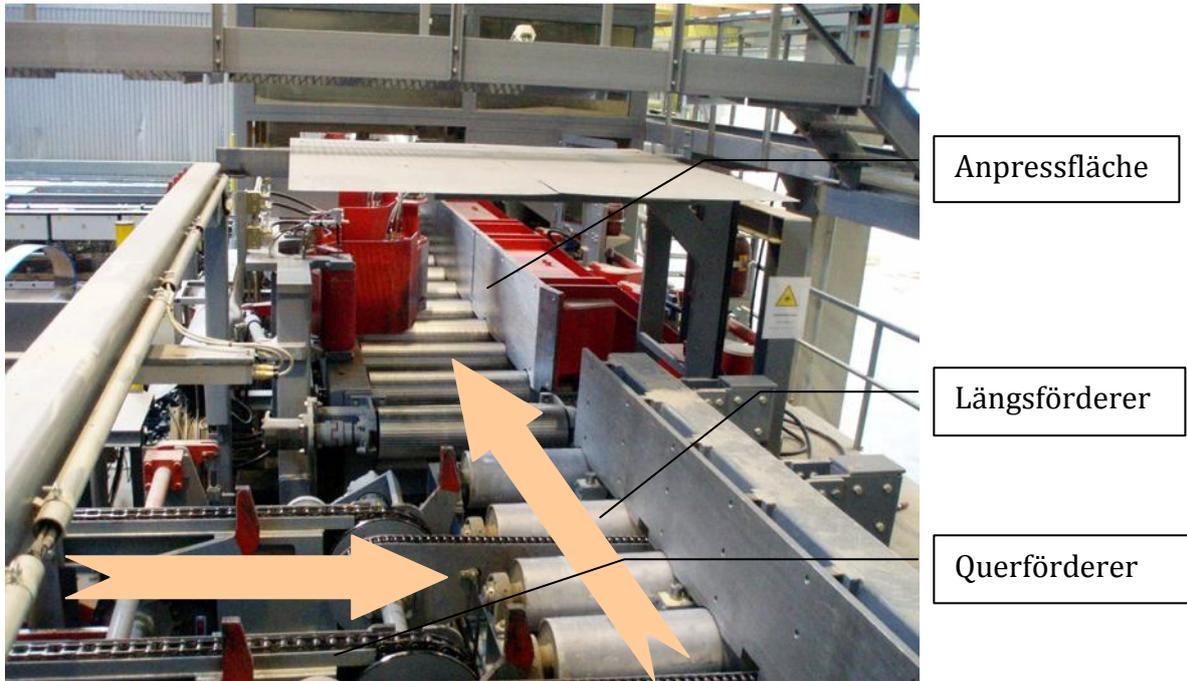


Abbildung 30: Zulauf zur Säge an der Resaw
Quelle: Eigenerstellung

Wie in Abbildung 30 zu erkennen ist, werden die Model auf dem Weg zur Säge aus der Perspektive des Bildes heraus gesehen rechtsbündig ausgerichtet, so dass sie eine definierte Lage im Hinblick auf die Säge haben. Auf diese Weise wird durch den ergänzenden Einsatz von Messtechnik zur Positionierung der Säge sichergestellt, dass ein Brett mit einer gewünschten Stärke geschnitten werden kann. In der folgenden Abbildung 31 ist der gesamte Ablauf noch einmal zur besseren Übersicht schematisch als Draufsicht abgebildet.

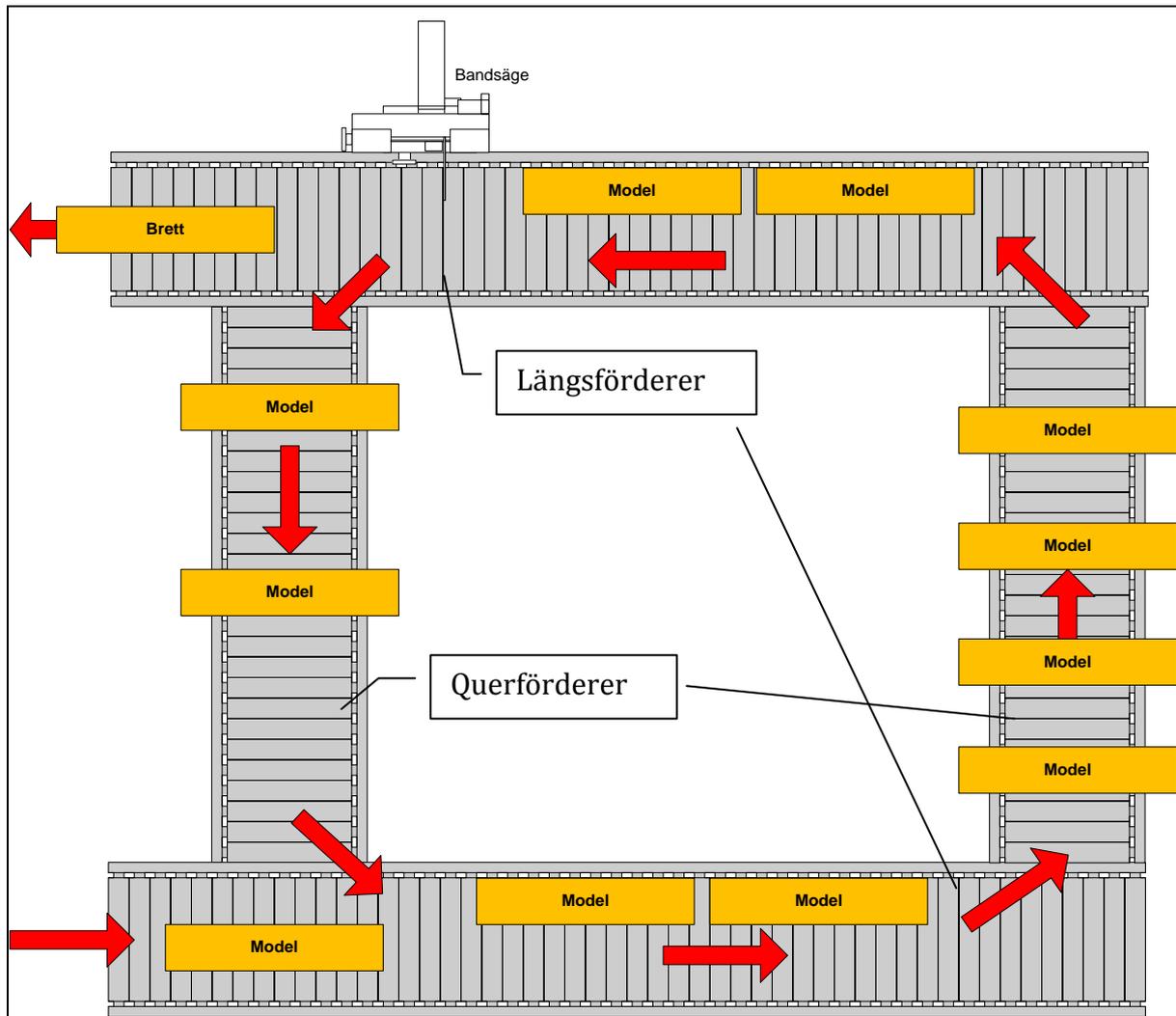


Abbildung 31: Schematischer Prozessablauf an der Resaw (Draufsicht, vereinfacht)

Quelle: Eigenerstellung

Aus dieser Perspektive wird der realisierte Kreislauf gut sichtbar. Bei maximaler Maschinenauslastung liegen die Modelle dicht an dicht und werden direkt hintereinander bearbeitet. Nach dem Sägevorgang gelangen die Modelle wieder in den Kreislauf zurück, während die Bretter zur nächsten Bearbeitungsstation weitergefördert werden. Nicht eingezeichnet ist die Bedienerkabine, die sich aus Sicht der Abbildung 31 rechts befindet, von wo die Modelle im Querförderbetrieb gut zu beurteilen sind.

3.2.6 Brettzuschnitt

Nachdem ein Brett vom Modell gesägt wurde, muss es noch so zurechtgeschnitten werden, dass es sowohl von der Qualität als auch von den Abmessungen her verkaufsfähig wird. Auch hier spielen Standardabmaße eine wesentliche Rolle – so produziert bspw. Pollmeier Bretter in 6 Längen (abgestuft zwischen 6 und 11 Fuß), 6 Stärken (3/4, 4/4, 5/4, 6/4, 8/4 und 10/4 Zoll) und in bis zu 13 Qualitäten.

Sofern das Brett noch eine Baumkante aufweist, wird diese zunächst durch eine als „Säumer“ bezeichnete Maschine entfernt. Dies betrifft ausschließlich die Längsseiten des Bretts, beeinflusst also die Breite. Anschließend erfolgt das Trimmen, also das Kürzen der Länge des Bretts, sofern eine auslaufende Baumkante vorhanden ist. Danach durchläuft das Brett Säumer und Trimmer ggf. erneut und so lange, bis es ausreichend vorbereitet für die weiteren Bearbeitungsschritte ist. Die folgende Abbildung 32 zeigt das Prinzip noch einmal schematisch, wobei die gezeigte Brettdicke im Verhältnis zur Länge zumindest vor dem Stadium „Kantholz“ nicht der Realität entspricht.

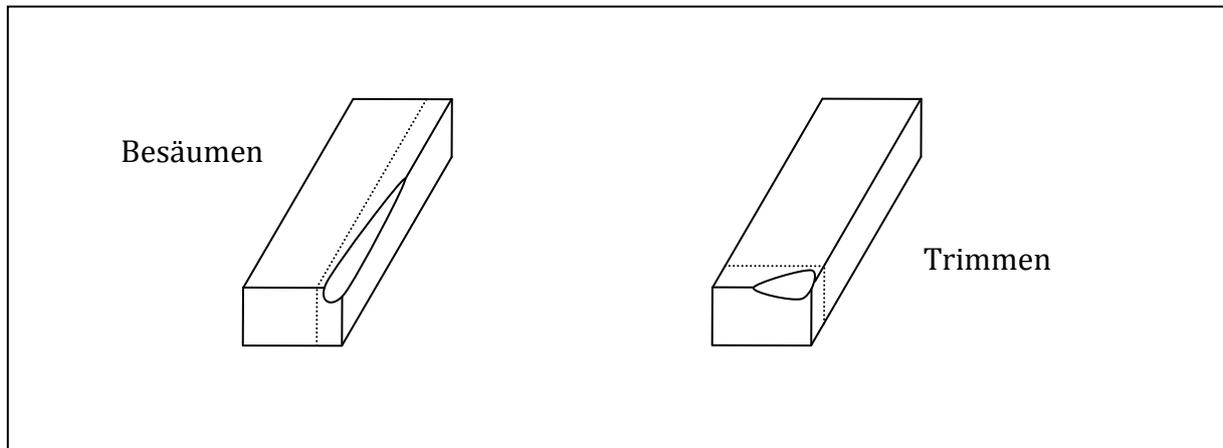


Abbildung 32: Schematische Erläuterung der Begriffe „Besäumen“ und „Trimmen“
 Quelle: Eigenerstellung

Ziel der Besäumungs- und Trimmvorgänge ist stets, ein nahezu ideales Brett zu erhalten, jedoch ist dieses Ziel nicht immer einfach zu erreichen, da die Qualität und Geometrie des Ausgangsmaterials, des Rohbretts also, stark schwanken kann. Insbesondere Bretter aus dem äußeren Randbereich des Baumstamms sind aus geometrischer Sicht tendenziell weiter vom Ideal entfernt als solche aus dem inneren Bereich nahe der Markröhre.

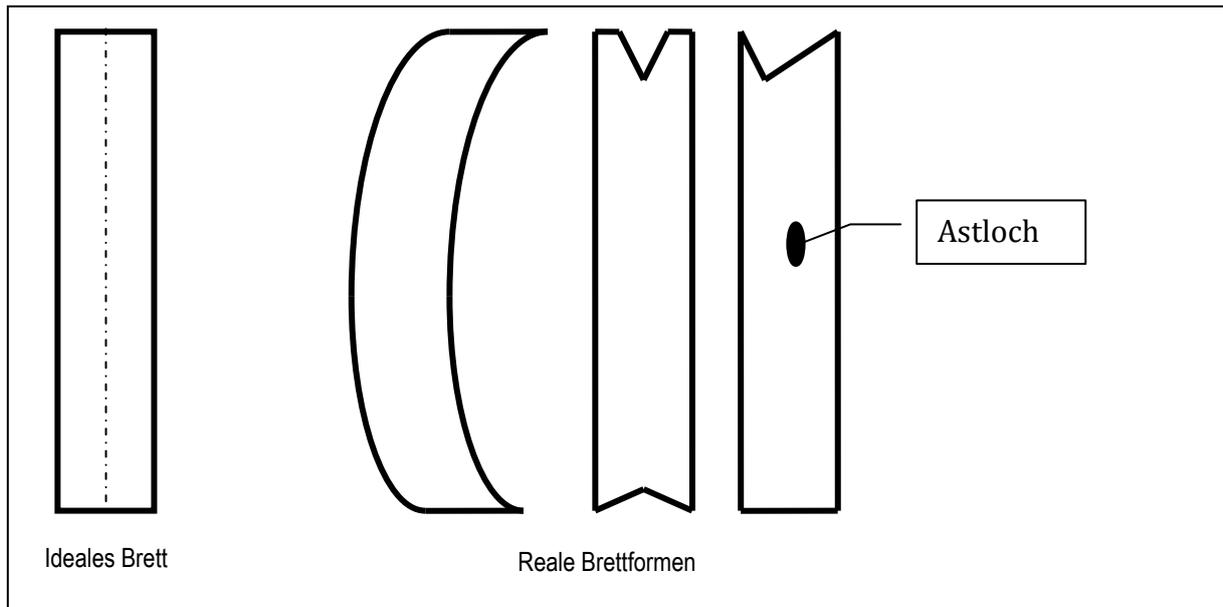


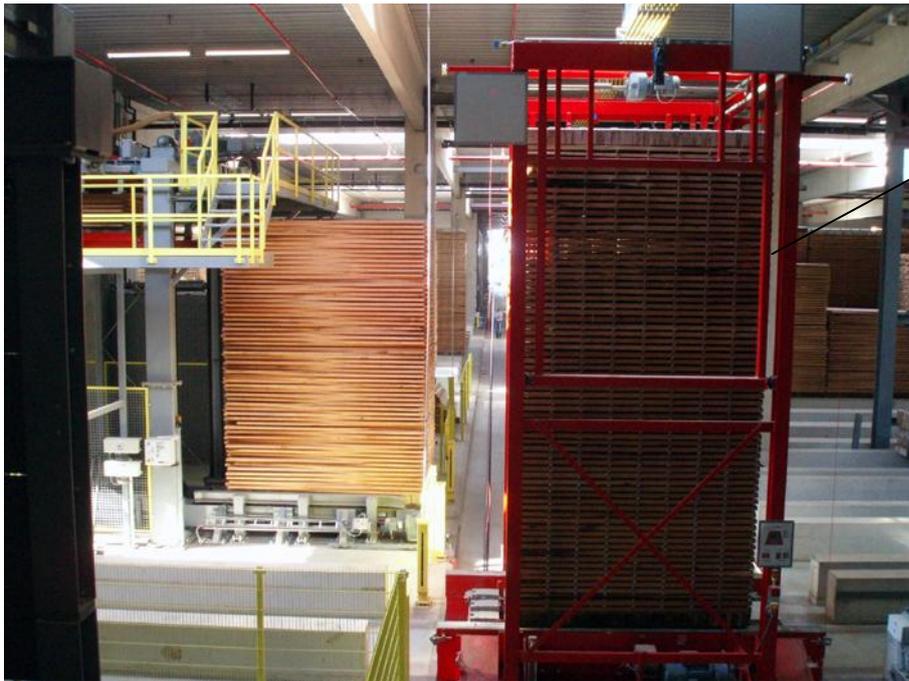
Abbildung 33: Ideale und reale Brettformen (Draufsicht)

Quelle: Eigenerstellung

Abbildung 33 zeigt schematisch, dass die im Sägewerk produzierten Bretter zunächst nur wenig mit einer idealen, gleichmäßig vierseitigen Form zu tun haben. Je nach ihrer ursprünglichen Position und Lage im Baumstamm weisen sie mehr oder weniger Fehlgeometrien auf. Da Bretter, die nicht dem Ideal entsprechen, aber aufgrund der Anforderungen der weiterverarbeitenden Industrien nicht verkäuflich sind, müssen die vorhandenen Geometrien bestmöglich an das Ideal herangeführt werden, was durch das beschriebene Trimmen und Besäumen geschieht. Dabei entsteht zum Teil recht großer Verschnitt, und es kommt häufig vor, dass Bretter längs geteilt werden müssen, um diesen zu minimieren. Für das fertige Brett relevant sind somit lediglich die Länge und Dicke, nicht jedoch die Breite.

3.2.7 Trocknung

Das Holz weist während und nach dem Sägen eine hohe Feuchtigkeit auf, die in extremen Fällen auch mehr als 100 % betragen kann. Dies ist unter anderem mit der Zwischenlagerung im Nasslager begründet, wo die Baumstämme kontinuierlich mit Wasser berieselt werden. Daher müssen die Bretter aufwendig getrocknet werden, was in eigens dafür vorhandenen Dämpf- und Trockenkammern geschieht. Bretter gleicher Stärke und Länge werden unter Zuhilfenahme von Aluminiumleisten übereinander gestapelt, so dass zwischen den einzelnen Lagen ausreichend Luft zirkulieren kann (vgl. Abbildung 34).



Fahrzeug auf
FTS-Basis mit
Aufbau zur
Aufnahme von
UE-Paketen

Abbildung 34: Gestapelte Bretter (UE-Paket) zur Trocknung auf einem FTS

Quelle: Eigenerstellung

Zunächst werden die Pakete ca. 12 Stunden in einer Dämpfkammer gedämpft. Während des Dämpfungsprozesses wird ca. 95 °C heißer Wasserdampf über die Bretter geblasen, was dafür sorgt, dass diese eine gleichmäßige Färbung erhalten. Anschließend werden die Pakete in eine Trockenkammer gefahren und je nach Stärke des Holzes 10 bis ca. 60 Tage lang getrocknet. Die Holzfeuchtigkeit wird dabei kontinuierlich kontrolliert und auf die für ein fertiges Brett benötigten 7 % abgesenkt. Eine detaillierte technische Einsicht in Trocknungsverfahren für Schnittholz bietet z. B. [51].

3.2.8 Abschleiff

Nachdem die Bretter getrocknet sind, können sie die letzten Bearbeitungsschritte durchlaufen. An erster Stelle steht dabei die Schleifstation. Die Bretter werden lagenweise von dem Paket aus der Trockenkammer (UE-Paket⁸) abgestapelt und über ein System von Quer- und Längsfördereinrichtungen der Schleifmaschine zugeführt. Dabei können je nach Brettbreite bis zu zehn Bretter die Maschinen gleichzeitig und nebeneinander auf einem Förderband in Längsrichtung passieren (Lagenbreite = 1,85 m). Der Schleifprozess trägt abhängig von der Brettstärke weniger als einen bis hin zu mehreren Millimetern von beiden Seiten der Oberfläche ab, so dass vorhandene Unebenheiten beseitigt und Holzfehler sichtbar werden (vgl. Abbildung 35).

⁸ UE = Unfertiges Erzeugnis

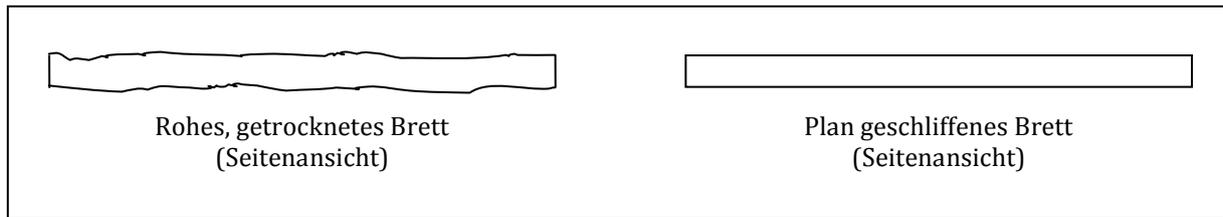


Abbildung 35: Schematischer Vergleich zwischen Rohbrett und geschliffenem Endprodukt
Quelle: Eigenerstellung

Der Prozessablauf ist in der folgenden Abbildung 36 als ereignisgesteuerte Prozesskette abgebildet.

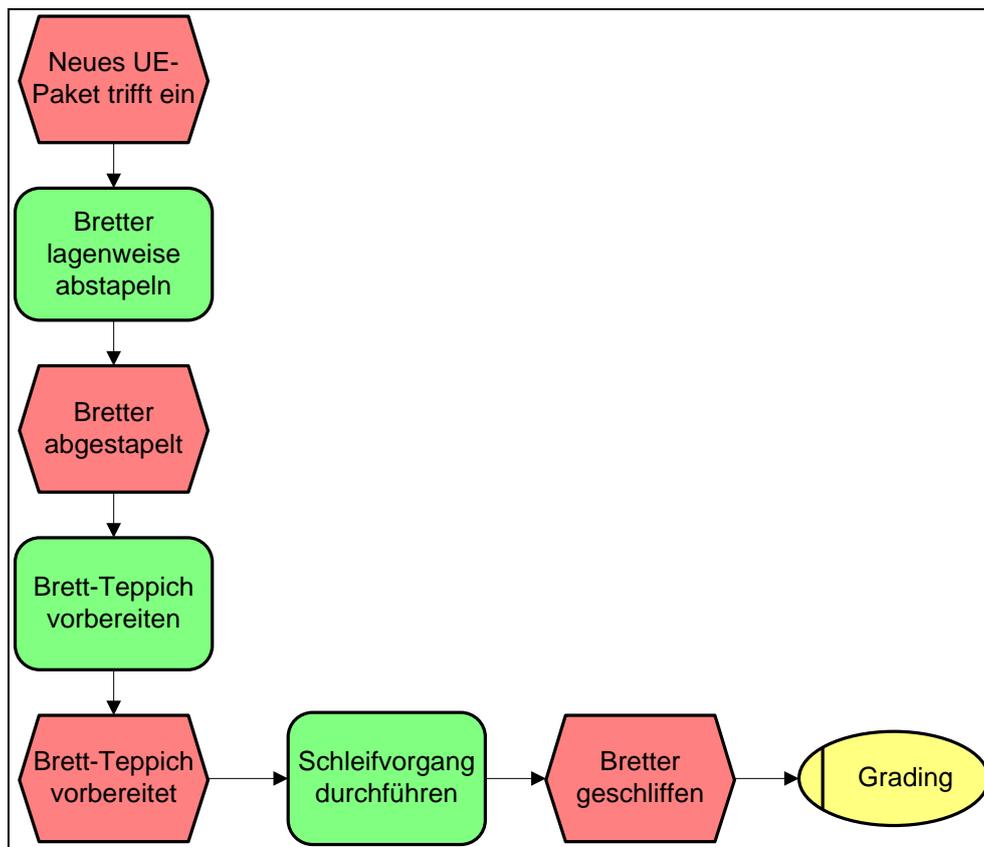


Abbildung 36: EPK des Schleifprozesses (vereinfachter aktueller Ablauf)
Quelle: Eigenerstellung

Der Prozess ist geradlinig und im Grunde sehr einfach strukturiert. Zur Vorbereitung des Schleifvorgangs wird der sog. Brett-Teppich erzeugt, bei dem die einzelnen Lagen des UE-Pakets abgestapelt, von den Aluminiumleisten getrennt und anschließend der Schleifmaschine zugeführt werden. Nach dem Abschleif gelangen die Bretter zur Qualitätsbeurteilung, die im Fachjargon auch als „Grading“ bezeichnet wird.

3.2.9 Qualitätsbeurteilung

In diesem Prozessschritt wird jedes einzelne Brett manuell durch einen Mitarbeiter untersucht und in der Qualität beurteilt. Je nach Zustand kann der sog. „Grader“ noch zu-

sätzliche Säumungen und Trimmungen anordnen, so dass sich noch einmal sowohl die Breite als auch die Länge eines Bretts ändern können. Die Grader markieren dabei die Bretter aktuell mit fluoreszierender Kreide und schreiben festgelegte Zeichen und Zahlen auf das Holz, welche die weiteren Bearbeitungsschritte – sofern zutreffend – sowie die jeweilige Qualität festlegen.

Es kommt ebenso vor, dass ein Brett an einem Ende in der Mitte einen breiteren Spalt aufweist – in diesem Fall wird das Brett an dieser Stelle längs geteilt, so dass man zwei schmalere Bretter erhält. Insgesamt ist das Bestreben, durch diese Beurteilung die Brettqualität zu optimieren, indem noch bestehende Fehler beseitigt und durch Korrekturschnitte ansonsten herunterzustufendes Holz die ursprüngliche Qualitätsstufe beibehalten kann.

3.2.10 Versand

Sobald das Brett alle Bearbeitungsschritte durchlaufen hat und seine endgültigen Abmessungen im Hinblick auf Länge, Dicke und Qualität feststehen, werden die Bretter dementsprechend sortiert und auf Ladungsträger bzw. in spezielle Stapelwagen gestapelt. Die Breite steht hingegen nicht fest und variiert von Brett zu Brett (fallende Breiten). Fixbreiten werden nur auf speziellen Kundenwunsch aus fallenden Breiten bzw. Breitensortierungen angefertigt.

3.2.11 Schwachstellenanalyse

Die folgende Abbildung 37 zeigt eine typische Prozessabfolge, die in den vorherigen Kapiteln aufgegriffen und erläutert wurde.

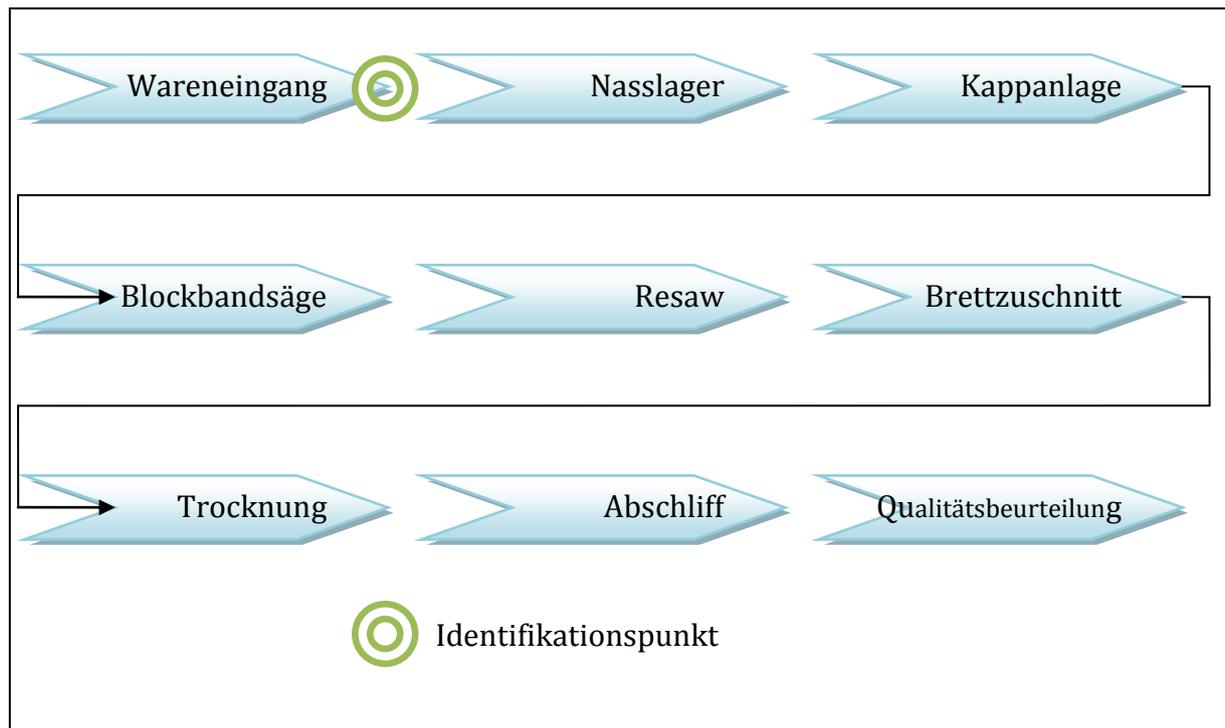


Abbildung 37: Typische Prozessabfolge im Sägewerk
 Quelle: Eigenerstellung

Die Abbildung zeigt im Überblick, dass das Holz gegenwärtig nur ein einziges Mal identifiziert wird, und zwar zum Zeitpunkt des Wareneingangs. Alle weiteren Verarbeitungsschritte erfolgen ohne weitere Erfassungen oder Kennzeichnungen, was grundsätzlich die Nichtexistenz eines Informationsflusses bedeutet. Aufgrund der mangelnden Identifikationsmöglichkeiten kann das verarbeitete Holz nicht mehr dem ursprünglichen Verkäufer bzw. Standort zugeordnet werden, und somit kann bspw. auch keine fundierte Ausbeuteanalyse durchgeführt werden. An dieser Auswertung ist die Holzindustrie sehr interessiert, um zu erfahren, aus welchem Baumstamm bzw. aus welchem Teilstück eines bestimmten Baumstamms wie viele Bretter mit einer bestimmten Qualität gewonnen werden konnten. Dies ist insbesondere zur Beurteilung der Arbeit des eigenen Einkaufs notwendig, aber auch zur Lieferantenbewertung und internen Prozessoptimierung im Sinne von Lerneffekten basierend auf den Analysen. Je besser den Mitarbeitern kommuniziert werden kann, warum bestimmte Anforderungen nicht erreicht wurden und wie sie sich bei bestimmten Qualitätsmerkmalen bspw. im Hinblick auf die Wahl von Schnittkanten und Brettstärken zu verhalten haben, desto effizienter kann das Sägewerk arbeiten und vor allem auch Kosten senken.

4 Entwicklung eines Kennzeichnungssystems für Rund- und Schnittholz

4.1 Teil 1: Vom Wald bis zum Sägewerk

Wie im vorherigen Kapitel 3 ab Seite 27 dargestellt wurde, muss aufgrund der sehr unterschiedlichen Prozesse und Vorgehensweisen auch im Hinblick auf die Entwicklung eines Lösungsansatzes zwischen den beiden Stufen „Vom Wald bis zum Sägewerk“ und „Im Sägewerk“ differenziert werden. Insofern erfolgt die Beschreibung der erarbeiteten Vorschläge konsequent orientiert an dieser Zweiteilung.

4.1.1 Anforderungsbeschreibung

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 3.1 (Seite 27) und im speziellen Kapitel 3.1.5 (Seite 33) können die in der folgenden Tabelle dargestellten Anforderungen an Kennzeichnungen in der motormanuellen und hochmechanisierten Holzerntekette identifiziert werden, die in Zusammenarbeit mit der TU München erarbeitet wurden [13]. Basis des Anforderungsprofils für die einzelnen Prozessschritte ist die Annahme, dass jeder Baumstamm bzw. Abschnitt mit einer Kennzeichnung versehen wird. Die beschriebenen Anforderungen bilden somit die Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen.

Tabelle 1: Anforderungen an Kennzeichnungen vom Wald bis zum Sägewerk

Anforderungen an Kennzeichnungen vom Wald bis zum Sägewerk			
Kriterium	Ausprägung motormanuelle Variante ¹	Ausprägung hochmechanisierte Variante	Bemerkungen
Applikationsort	Stirnseitig	Stirnseitig ²	
Applikationsart	Beliebig	Beliebig	Muss den mechanischen und klimatischen Belastungen angemessen sein
Pulkerfassung	Nein	Ja	
Lesereichweite	Gering	Hoch	
Stoffdurchdringung	Ggf. Schnee und Eis	Ggf. Schnee und Eis	
Speicherkapazität	Hoch	Hoch	Alternativ können die Daten in einer zentralen Datenbank hinterlegt werden
Aktualisierbarkeit der Informationen	Ja	Ja	Entfällt bei Nutzung einer zentralen Datenbank
Robustheit	Hoch	Hoch	Vgl. Ausführungen in Kapitel 3.1 (S. 27 ff.)
Standardisierte Kennzeichnung	Ja	Ja	Ggf. kann ein eigener Standard entwickelt werden
Abmessungen	Klein	Beliebig	
Wiederverwendbar	Ja	Ja	
¹ Basierend auf Erkenntnissen der TU München [13] ² Anforderung kann nicht erfüllt werden (vgl. Kapitel 4.1.1.2 ab Seite 55)			

4.1.1.1 Motormanuelle Variante

Die Darstellungen in diesem Kapitel dienen der vollständigen Betrachtung der Zusammenhänge und wurden im Rahmen der Aufgabenteilung durch die TU München erarbeitet [13; 14].

Die Kennzeichnungen werden entweder direkt nach der Aufarbeitung angebracht oder erst später, wenn die Stämme auf dem Polter liegen. Im zweiten Fall ist allerdings eine Kontrolle des Rückprozesses (vgl. Kapitel 3.1.3 ab Seite 29) nicht mehr möglich, da die dazu notwendige Markierung erst danach angebracht wird. Insofern entspricht es dem Idealfall, wenn die Kennzeichnung unmittelbar nach der Aufarbeitung appliziert wird.

Beim Schleppen aus dem Bestand mittels Seilschlepper ist die mechanische Belastung der Seitenflächen des Baumes extrem hoch, so dass dort angebrachte Markierungen entsprechend ausgelegt werden müssen. Ideal für diese Form der Bewirtschaftung ist jedoch eine stirnseitige Applikation, da auf diesen Flächen die mechanischen Belastungen sehr gering oder gar nicht vorhanden sind.

Sobald die Stämme auf einem Polter liegen, können sie manuell bspw. mit einem Handlesegerät durch den Fahrer des Schleppers identifiziert werden. Auch für diesen Fall bietet die Anbringung vor Kopf einen großen Vorteil, da sie zum einen schnell aufzufinden sind und zum anderen im Kontrast zur seitlichen Applikation keine Leseprobleme aufgrund der Abdeckung durch andere Stämme auftreten können. Mit Blick auf die Effizienz dieses Arbeitsschrittes ist es vorteilhaft, wenn eine hohe Lesereichweite erzielt werden kann und mehrere Kennzeichnungen zugleich gelesen werden, aber auch eine Einzelidentifikation auf kurze Distanz ist problemlos durchführbar.

Grundsätzlich kann die Kennzeichnung der einzelnen Stämme auch erst an dieser Stelle der Prozesskette erfolgen. In diesem Fall ist eine stirnseitige Applikation zwingend erforderlich und eine geringe Lesereichweite vorteilhaft, da im Zuge der erstmaligen Datenerfassung jeder Stamm und damit auch jeder Transponder einzeln erfasst werden muss.

Im Hinblick auf den potenziellen Einsatz von Transpondern ergeben sich bei der Verladung auf den Langholz-LKW einige zusätzliche Probleme, die es zu beachten gilt. Insbesondere das Verladen und Handhaben der langen Stämme erfordert eine hohe Konzentration des Kranführers und erlaubt aufgrund des anspruchsvollen Prozesses nicht das Vorbeiführen an fest installierten Antennen. Das Auslesen der Transponder, noch während sich die Baumstämme auf dem Polter befinden, ist ebenfalls keine Alternative, da die tatsächliche Anzahl der aufzuladenden Stämme erst nach Abschluss des Beladevorgangs feststeht. Unkritisch ist dies nur, wenn von vornherein bekannt ist, dass der gesamte Polter abgefahren wird. Die Auslesung kann daher erst nach erfolgter Beladung

manuell durch den Fahrer des LKWs erfolgen, d. h. die Möglichkeit zur Pulkerfassung sowie eine große Reichweite der Transponder sind von Vorteil.

4.1.1.2 Hochmechanisierte Variante

In Zusammenarbeit mit der TU München konnten folgende Anforderungen entwickelt werden: Harvester arbeiten mit einem sehr hohen Auslastungsgrad, daher dürfen weitere Arbeitsschritte wie das Anbringen von Kennzeichnungen in keinem Fall einen zusätzlichen Zeitaufwand bedeuten, da je nach Können des Fahrers ein durchschnittlicher Baum in einer halben Minute komplett aufgearbeitet ist, d. h. gefällt, entastet und auf Länge zugeschnitten. Selbst geringfügige Zeitverluste durch die Applikation von Kennzeichnungen führen angesichts dieser Umstände bereits zu empfindlichen Einbußen hinsichtlich der technischen Arbeitsproduktivität.

Aufgrund der technischen Abfolge der Aufbereitung (wie in Kapitel 3.1.2.2 ab Seite 28 beschrieben) ist in diesem Fall eine seitliche Applikation durch die Rinde hindurch erforderlich, da die Stirnfläche nicht erreicht werden kann bzw. gerade erst durch den Trennschnitt entsteht. Geschieht die Anbringung schnell genug, muss keine zusätzliche Wartezeit eingeplant werden, da der Vorgang mit dem Schnitt zusammen abgeschlossen wird. Ein weiterer Vorteil bei dieser Methode ist, dass der bereits vermessene Abschnitt markiert und so dessen Identifikationsnummer automatisch mit den korrespondierenden Daten verknüpft werden kann.

Eine stirnseitige Applikation kann der Logik folgend jedoch erst nach dem Trennschnitt erfolgen und impliziert damit einen erhöhten Zeitaufwand, da der Aufarbeitungsprozess für die Anbringung unterbrochen werden muss. Darüber hinaus wird bei dieser Methode der noch nicht vermessene Abschnitt etikettiert, was gleich mehrere Probleme aufwirft. So ist vor der Aufarbeitung nicht immer klar, ob aus dem restlichen Stamm noch ein weiterer Abschnitt entstehen kann, da regelmäßig Mindestabmessungen einzuhalten sind und der Fahrer nach Augenmaß arbeiten muss, bis das Aggregat verlässliche Daten liefert. Zudem wird auf diese Weise auch Abfall etikettiert, wie z. B. sehr dünne Teile der Krone des Baumes, die i.d.R. auf dem Waldboden verbleiben und unter anderem dem Harvester bei schwierigen Bodenverhältnissen als Fahruntergrund dienen. Eine Markierung des bereits aufgearbeiteten Abschnitts ist hingegen stirnseitig nicht möglich, da die hierfür benötigte Fläche erst während des Trennschnitts entsteht und der Abschnitt unmittelbar danach zu Boden fällt.

Eine automatische Applikation setzt voraus, dass die zur Kennzeichnung verwendeten Etiketten oder Transponder in einem Magazin vorgehalten werden, das ausreichend dimensioniert sein muss, um den Arbeitsablauf nicht zu oft unterbrechen zu müssen. Durch Diskussionen mit Maschinenführern und Forstbetrieben wurde deutlich, dass derartige Unterbrechungen nicht häufiger als alle 60 bis 90 Minuten erfolgen sollten,

woraus sich eine notwendige Magazinkapazität von mindestens 150 Stück ergibt. Aufgrund des mangelnden Platzangebots im Aggregat, das bereits aus hoch integrierten Komponenten besteht, sind jedoch die Dimensionen des Magazins und der verwendbaren Transponder bzw. Etiketten sehr begrenzt. Schließlich sollten im Falle der Verwendung von RFID die Transponder erst nach der Applikation ausgelesen werden, um ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen.

Mit Blick auf die Rückung mittels Tragschlepper ist eine seitliche Anbringung durch die Rinde grundsätzlich denkbar, jedoch muss dafür die Bauform des Etiketts oder Transponders sehr flach gewählt werden. Allerdings ist auch in diesem Fall die stirnseitige Applikation vorzuziehen, da dort die Transponder deutlich besser vor mechanischen Belastungen geschützt sind und durch die verbesserte Positionierung im Verhältnis zu fest installierten Antennen auf dem Fahrzeug die Lesereichweite deutlich vergrößert werden kann.

Unter der Berücksichtigung des Ziels der weitgehenden Automation besteht die Präferenz, dass die Abschnitte während der Be- und Entladevorgänge automatisch ausgelesen werden, anstatt dass der Maschinenführer am Ende seiner Schicht einmalig alle Abschnitte manuell erfasst. Aufgrund der Prozessgestaltung ist es bei Nutzung von RFID möglich, dass die aufgegriffenen Abschnitte gezielt mit dem Ende, an dem sich der Transponder befindet, durch ein Lesefeld geführt werden. Alternativ kommt auch eine Auslesung der bereits aufgeladenen Stämme durch das Stirngatter hindurch in Betracht. In beiden Fällen sind Lesereichweiten von 50 cm erforderlich und von etwa 1 m wünschenswert. Da der Ladekran stets mehrere Abschnitte gleichzeitig greift, ist in jedem Fall eine Pulkerfassung der Kennzeichnungen notwendig.

4.1.2 Technologieauswahl

Es wurde dargestellt, dass die zurzeit genutzten Kennzeichnungsmethoden in keiner Weise dafür geeignet sind, einen durchgängigen Informationsfluss zu unterstützen, da sie nur rudimentäre Basisdaten liefern. Die beschriebenen Prozessschritte in beiden Varianten der Holzerntekette erfordern zunächst eine Analyse und Vorauswahl potenziell geeigneter Identifikationsverfahren. Die im Wald- und Forstbereich herrschenden rauen Anforderungen erfordern eine robuste Kennzeichnung, die auch größere mechanische und klimatische Belastungen schadlos übersteht. Aktuell verwendete Methoden (vgl. Kapitel 2.1, Seite 9) tragen diesem Umstand Rechnung, sind jedoch nicht flexibel und können die notwendige Datenbasis nur unzureichend zur Verfügung stellen. Das Bedrucken des sägefrischen Holzes mit Barcodes oder anderen Codeformen mittels Direktdruck ist technisch denkbar, jedoch setzen durch die Lagerung im Wald schnell Farbveränderungsprozesse ein, die den Code unlesbar machen können, und auch Witterungseinflüsse wie Schnee, Eis und Regen erschweren die Identifikation in diesem Fall in großem Maß. Darüber hinaus sind erhebliche applikationstechnische Probleme zu

überwinden, wie sie analog auch im Sägewerk auftreten (vgl. Kapitel 3.2 ab Seite 33). Alternativ können jedoch Klebeetiketten verwendet werden, die mit einem Code bedruckt und anschließend appliziert werden. Diese unterliegen ebenso den Witterungs- und prozessbedingten Einflüssen, so dass auch diese Möglichkeit entfällt.

Insofern bietet sich allein die RFID-Technologie an, da sie auch unter schwierigen Umweltbedingungen einsatzfähig bleibt. Die folgende Tabelle 2 liefert eine Übersicht zur Eignungsbewertung aller in Kapitel 2 (Seite 9 ff.) vorgestellten Kennzeichnungsmethoden.

Tabelle 2: Eignungsbewertung von Kennzeichnungsverfahren für die Holzerntekette

Vergleich und Bewertung von Kennzeichnungstechnologien												
Technologie	Kriterium ¹											Geeignet
	Applikationsort	Applikationsart	Pulkerfassung	Lesereichweite	Stoffdurchdringung	Speicherkapazität	Informationen aktualisierbar	Robustheit	Standardisiert	Größe	Wiederverwendbar	
Farbspray	✓/✓	✓/✓	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
Kreide	✓/✓	✓/✓	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
Kunststoffplättchen	✓/✓	✓/✓	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/-	-/-	Nein
Barcode	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/-	-/-	Nein
OCR	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
Codablock F	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/-	-/-	Nein
Data Matrix	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
Aztec	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
QR Code	✓/✓	✓/✓	-/-	✓/-	-/-	✓/✓	-/-	-/-	✓/✓	✓/✓	-/-	Nein
RFID	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	Ja

¹ Vgl. Tabelle 1

✓/✓ f. motormanuelle Kette erfüllt / f. hochmechan. Kette erfüllt

Die Eignungsbewertung erfolgt dabei ebenfalls getrennt für die jeweilige Variante der Holzerntekette, um deren spezifische Anforderungen berücksichtigen zu können. Alle Kriterien werden letztlich ausschließlich durch die RFID-Technologie erfüllt, weshalb diese in den weiteren Kapiteln für die Umsetzung herangezogen wird.

4.1.3 Allgemeine Versuchsreihen

Im Hinblick auf die zuvor dargestellten Anforderungen an die einzusetzenden Transponder wurden umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt, um die geeignete Technologie zu identifizieren. Diese sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Um die Witterungseinflüsse auf die RFID-Tags untersuchen zu können, wurden jeweils vier Abschnitte unterschiedlicher Holzsorten (Eiche, Buche, Kiefer und Fichte) unter freiem Himmel gelagert und mit ausgewählten Transpondern bestückt, die im Rahmen der Versuchsreihen regelmäßig ausgelesen wurden. Insbesondere zu untersuchen waren die Leseigenschaften unter Extrembedingungen wie Schnee und Eis oder unter direkter Sonneneinstrahlung mit einer damit verbundenen Aufheizung der Transponder.

Dazu wurden die vier Abschnitte auf der Freifläche des LogIDLab® eingelagert (vgl. Abbildung 38) und dort fortwährend überwacht. Bereits von Beginn der Versuchsreihe an wurde deutlich, dass Standard-Klebeetiketten für den vorliegenden Einsatzfall aufgrund des zu schwachen Klebers nicht geeignet sind.



Abbildung 38: Langzeitversuch auf dem Freigelände des LogIDLab® in Dortmund
Quelle: Eigenerstellung

Über die Beobachtungsdauer hinweg konnte festgehalten werden, dass die Witterungseinflüsse großen Einfluss auf die Lebensdauer und damit die Funktionalität der Transponder haben können. In Abbildung 39 sind einige ausgewählte Beschädigungen der RFID-Tags beispielhaft dargestellt.

Während der kontinuierlichen Auslesungen wurde zum einen die Funktionalität der Transponder überprüft, zum anderen aber auch die Lesereichweite unter den gerade herrschenden Umweltbedingungen bestimmt. Die Nageltransponder eignen sich prinzipiell aufgrund ihrer Bauform und ihrer Applikationseigenschaften (sie lassen sich vollständig im Holz versenken und sind daher keinerlei mechanischen und nur noch sehr geringen klimatischen Belastungen ausgesetzt) sehr gut für den geplanten Anwendungsfall und wurden daher im Rahmen einer eigenen Testreihe speziell untersucht. Insgesamt wurden in die auf dem Freigelände lagernden Baumstämme 90 Nageltransponder

eingeschlagen, wovon bereits 17 direkt bei der Applikation zerstört wurden. Die Kunststoffnägel waren insbesondere mit dem sehr harten Buchenholz überfordert – die Versuche sind weiter unten (vgl. Kapitel 4.1.4 ab Seite 60) im Detail beschrieben.

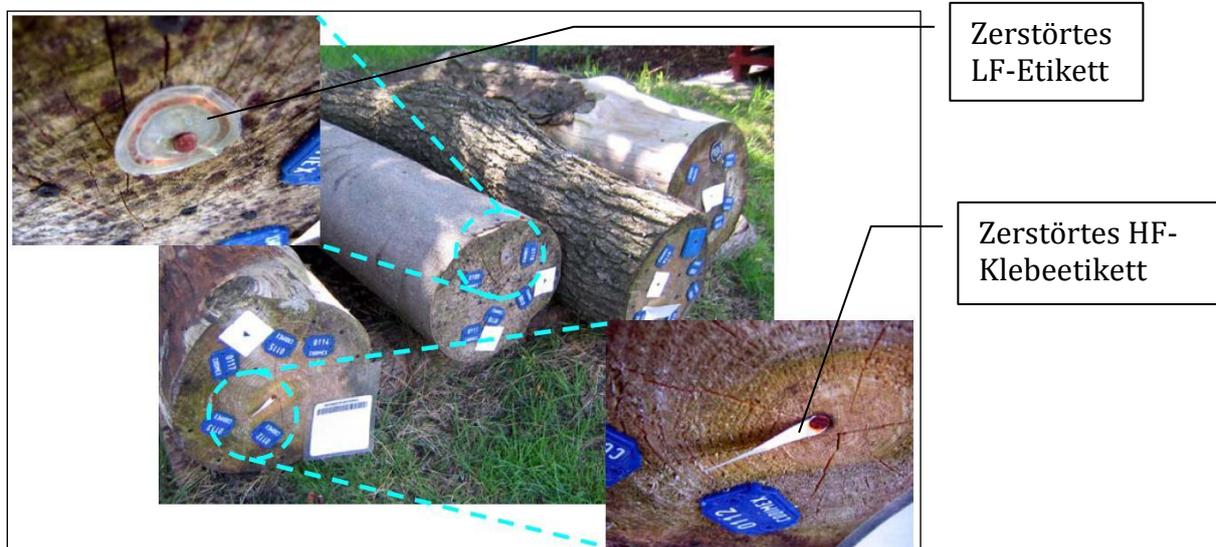


Abbildung 39: Beschädigungen der Transponder durch Witterungseinflüsse
Quelle: Eigenerstellung

Im Hinblick auf die Witterungsbeständigkeit lieferten die Nageltransponder dementsprechend gute Resultate, die auch nicht durch das sich bei wechselnder Feuchtigkeit dehnende und zusammenziehende Holz beeinträchtigt wurden. Alle nach dem Einschlag noch funktionsfähigen Transponder waren bis zum Ende des Testzeitraums und darüber hinaus noch einwandfrei auslesbar. Nachteilig für den Prozess ist die sehr geringe Lesereichweite der Nageltransponder von durchschnittlich etwa 2,5 cm (vgl. Tabelle 3), was zwar für die Erfassung per mobilem Lesegerät grundsätzlich ausreicht, für eine automatische Erfassung oder das Auslesen auf einem hohen Polter bzw. auf einem LKW jedoch völlig unzureichend ist.

Tabelle 3: Ausleseprotokoll Langzeitversuch (Auszug)

Ausleseprotokoll							
Datum der Auslesung	Transponder ID	Datum der Applikation	Funktionsfähig?	Umwelt	Temperatur	Lesereichweite	Funktionsdauer
12.05.05	0414EBFBOE	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF05A	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBD93A	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,3 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF2AF	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBECCO	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF337	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF9C1	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,3 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBE61C	08.03.05	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage

Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass die erzielbare Lesereichweite direkt vom benutzten Lesegerät abhängt. So standen nach Ende des Testzeitraums neue Mobilgeräte zur Verfügung, mit deren Hilfe die Erfassungsreichweite der Nägel auf bis zu 5 cm gesteigert werden konnte, was immerhin eine Verdopplung der bis dahin möglichen Performanz bedeutet. Doch auch die verbesserte Leistung reicht nicht für die vorliegenden Prozesse aus.

Allgemein konnten alle Transponder bei jeglichen Witterungsverhältnissen einwandfrei ausgelesen werden, auch durch Schneedecken und Eisüberzüge hindurch, wobei die erzielbare Lesereichweite sich nicht wesentlich von der ansonsten unter normalen Bedingungen erreichten unterschied. Dies ist vor allem durch die genutzten Frequenzbänder NF und HF zu erklären, die unempfindlich gegenüber Flüssigkeiten sind (vgl. Kapitel 2.3.1, Seite 11).

Wie bereits erwähnt, erwiesen sich die Klebeetiketten im Hinblick auf die Anforderungen als prinzipiell ungeeignet, da die Haftung für die unbehandelte und damit sehr raue und z. T. feuchte Oberfläche nicht ausreichend ist. Dies könnte durch Entwicklung spezieller Klebstoffe ggf. kompensiert werden, jedoch konnte dies im vorliegenden Fall nicht umgesetzt werden.

4.1.4 Praxisversuch: Fällung und Aufarbeitung

4.1.4.1 Allgemeine vorbereitende Testreihen

Ergänzend zu den bereits beschriebenen Versuchen im Freien wurden sowohl die Nageltransponder als auch die Plasto-Label (vgl. Kapitel 2.3.2.2, Seite 13) weiteren Laborversuchen unterzogen, um ihre Belastungsfähigkeit zu untersuchen und damit ihre mechanische Eignung für den Einsatzfall zu überprüfen. Dies geschah für die Nägel im Hinblick auf eine mögliche automatische Applikation und bei den Labeln, um deren maximale Belastbarkeit aufzuzeigen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Handhabung der Baumstämme nach dem Fällen wichtig, da bei diesen Prozessen sehr hohe Belastungen auf die Kennzeichnungen einwirken können. Der entsprechende Versuchsaufbau ist in der folgenden Abbildung 40 dargestellt.

Untersucht wurden fällfrische Schnittproben der Holzsorten Kiefer, Buche, Eiche und Fichte bei Raumtemperatur, wobei seitlich durch die Rinde sowie stirnseitig in Kernholz⁹ und Splintholz¹⁰ appliziert wurde. Durch die Lagerung im Labor verlor das Holz an

⁹ Der innere Bereich des Holzquerschnitts wird als Kernholz bezeichnet. Bei Kiefer und Eiche findet sich ein deutlich erkennbarer Farbkern, während Fichte und Buche zu den Reifholzbäumen zählen, bei denen der Kern lediglich austrocknet und farblich oft gleich bleibt.

¹⁰ Als Splintholz bezeichnet man das lebende Holz zwischen Rinde und Kernholz.

Feuchtigkeit, so dass die Testreihen Aufschluss darüber geben können, inwiefern Holzfeuchtigkeit und benötigter Kraftaufwand im Zusammenhang stehen.

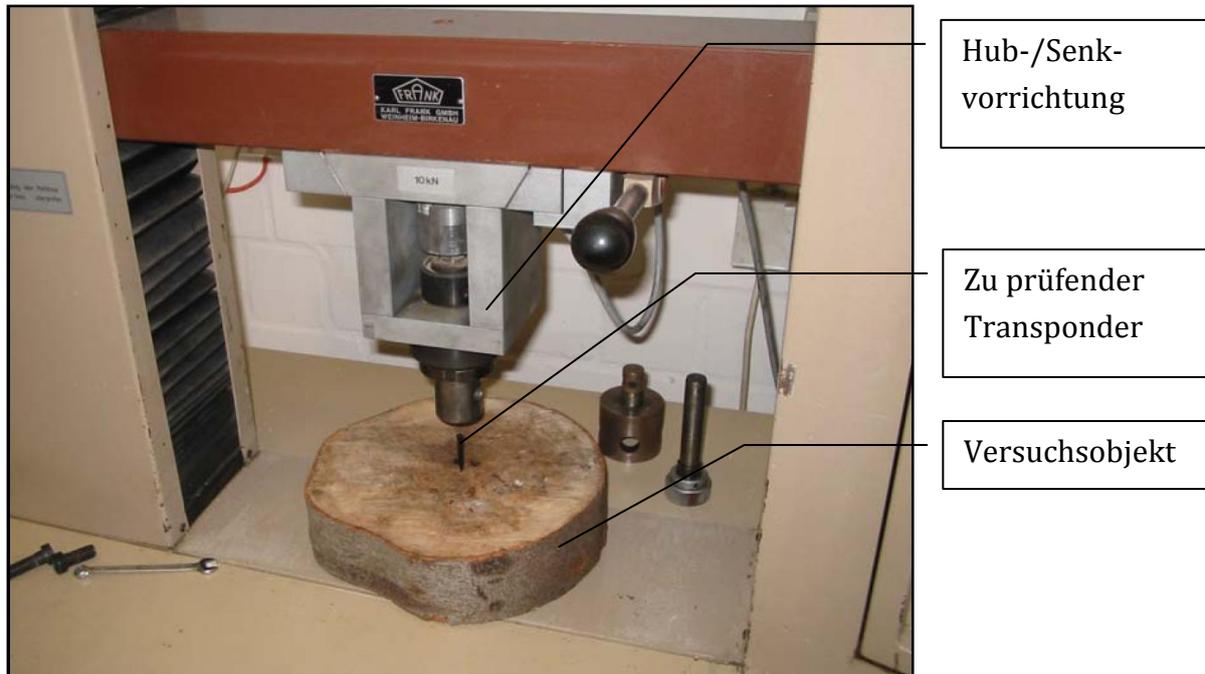


Abbildung 40: Versuchsaufbau Belastungstests Nageltransponder im LogIDLab®
Quelle: Eigenerstellung

Mit Hilfe einer hydraulisch betriebenen Maschine für Zug-/Druckprüfungen wurden Nageltransponder an drei unterschiedlichen Stellen (siehe weiter unten) mit kontinuierlichem Vorschub in das Holz getrieben und die Messwerte für Zeit- und Kraftaufwand mit einer speziellen Software protokolliert (die Ergebnisse sind als Diagramme weiter unten dargestellt). Ein weiterer Messparameter war die Holzfeuchtigkeit, die vor dem jeweiligen Versuch mit Hilfe eines entsprechenden Messgeräts an der Applikationsstelle ermittelt wurde (siehe Abbildung 41).



Abbildung 41: Messung der Holzfeuchtigkeit im LogIDLab®
Quelle: Eigenerstellung

Bei der Auswertung der im folgenden Kapitel dargestellten Ergebnisse ist zu beachten, dass der Nagel bei den Versuchen mangels einer geeigneten Vorrichtung nicht geführt werden konnte und daher nicht zwangsläufig senkrecht zur Fläche stand, d. h. die Kraft der Maschine wirkte in diesen Fällen nicht auf die Längsachse des Nagels. Dies führte nicht selten zum Bruch des Nagels, kann aber ebenso die gemessenen Eindrückkräfte verfälschen, da der Eintrittskanal des Nagels nicht dem Optimum entspricht (der Nagel steht schief und vergrößert durch den weiteren Druck die Applikationsstelle zu einem Langloch, ohne jedoch wesentlich tiefer in das Holz einzudringen). Da dies jedoch ebenso beim Einschlag mit einem Hammer vorkommt, sind die Resultate durchaus praxisnah. Bei den Applikationen durch die Rinde muss berücksichtigt werden, dass insbesondere bei sehr zerklüfteter Rindenstruktur und dadurch entstehende Luftlöcher etc. unterschiedliche Oberflächenstrukturen auftreten, die mehrere Applikationen am gleichen Prüfobjekt nur bedingt miteinander vergleichbar machen. Aufgrund des Charakters eines Naturproduktes waren die Versuche jedoch nicht weiter standardisierbar.

4.1.4.2 Ergebnisse der Belastungstests

Abbildung 42 bis Abbildung 44 zeigen die grafischen Auswertungen für das untersuchte Fichtenholz. Prüfgegenstand für alle Versuche waren Holzscheiben, die sowohl in frischem Zustand direkt nach der Fällung als auch später noch einmal mit einer durch die Lagerung entsprechend geringeren Holzfeuchte getestet wurden.

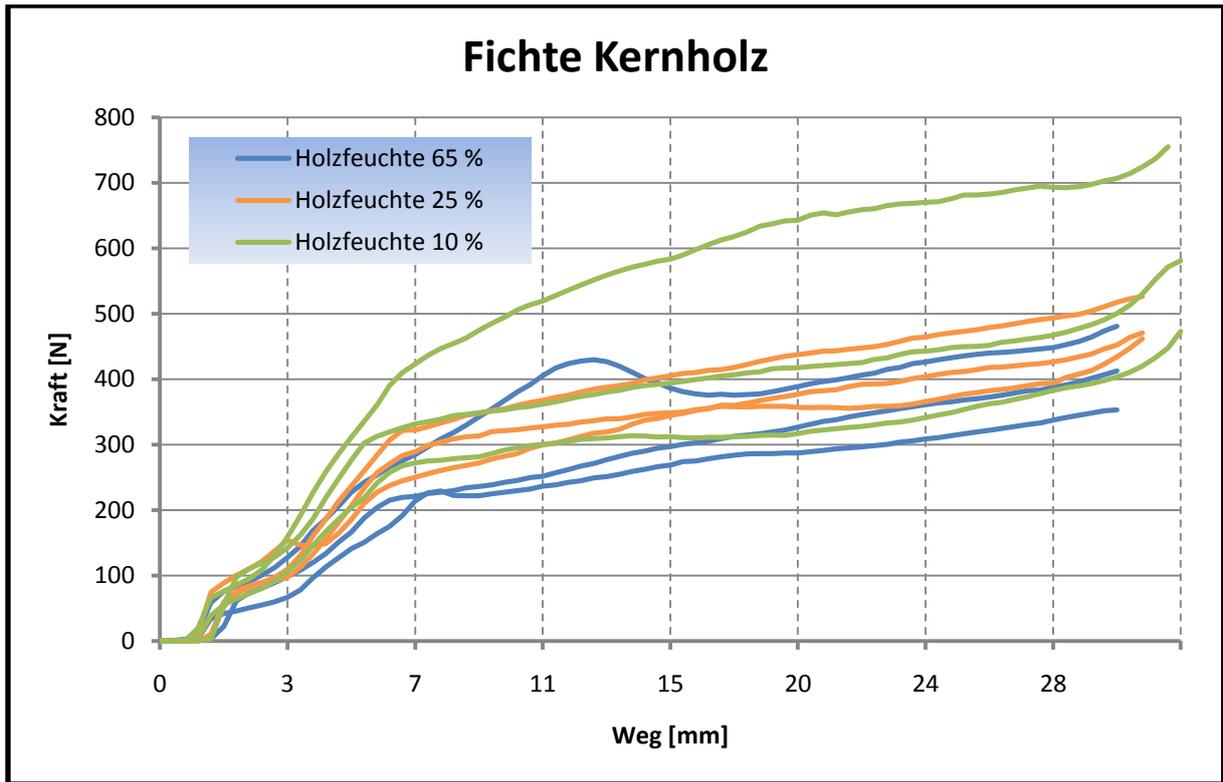


Abbildung 42: Applikationsdiagramm Fichte: Kernholz
Quelle: Eigenerstellung

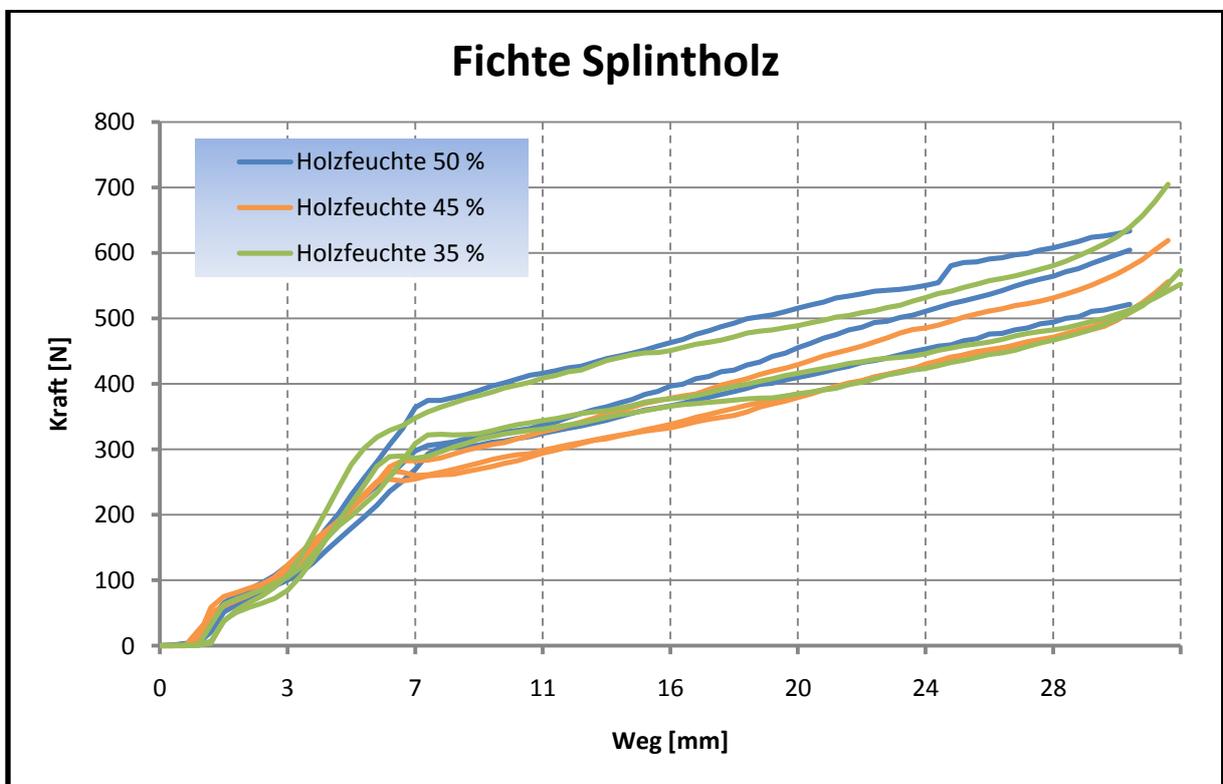


Abbildung 43: Applikationsdiagramm Fichte: Splintholz
Quelle: Eigenerstellung

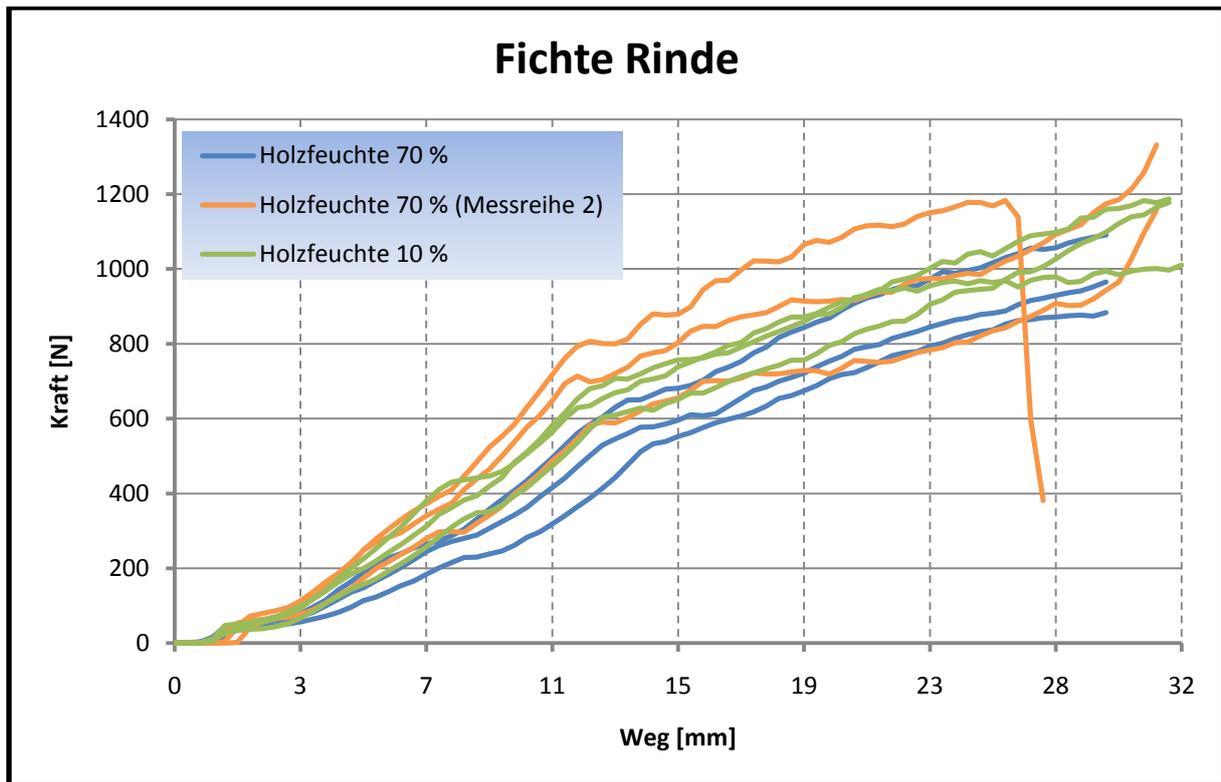


Abbildung 44: Applikationsdiagramm Fichte: Rinde
Quelle: Eigenerstellung

Wie in Abbildung 44 im Vergleich mit den beiden vorherigen zu erkennen ist, wurde bei der Fichte für die Applikation durch die Rinde der größte Kraftaufwand mit z. T. mehr als 1.300 Newton benötigt. Steil abfallende Linien in den Diagrammen deuten darauf hin, dass der Nagel beim Eindrückversuch zerbrochen ist. Interessant ist weiterhin, dass die Nägel bei der Applikation in das Splint- und Kernholz nur etwa halb so stark belastet wurden wie bei der Anbringung durch die Rinde, was dadurch begründet ist, dass der Einschlag im letzteren Fall quer zur Faserrichtung erfolgte. Die Holzfeuchtigkeit hat hingegen lediglich im Bereich des Kernholzes erkennbaren Einfluss – hier steigt der gemessene Kraftaufwand mit sinkender Feuchtigkeit an. Die gemessenen Werte beim Fichten-Splintholz sind nicht in dieser Form aussagefähig, insbesondere da die Feuchtigkeit sich nur geringfügig verringert hat, lassen allerdings eine gleichartige Tendenz vermuten.

Abbildung 45 bis Abbildung 47 zeigen die Versuchsergebnisse für das Kiefernholz.

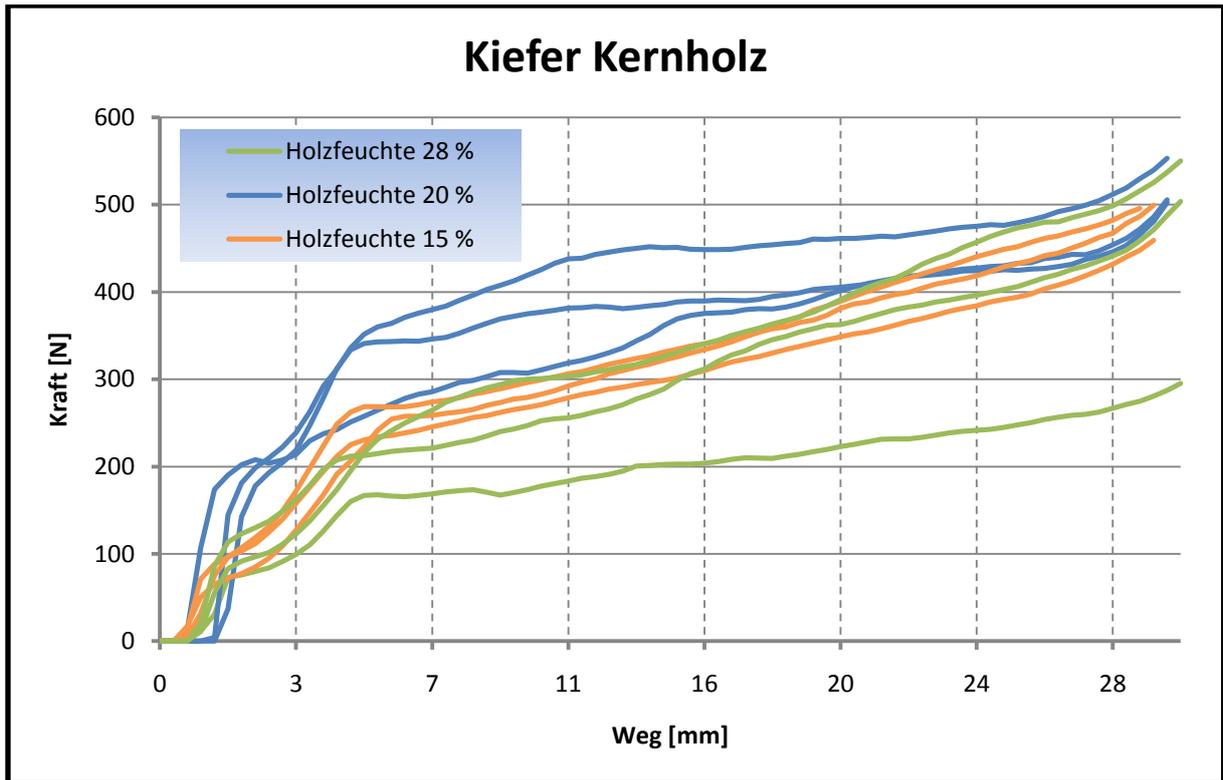


Abbildung 45: Applikationsdiagramm Kiefer: Kernholz
Quelle: Eigenerstellung

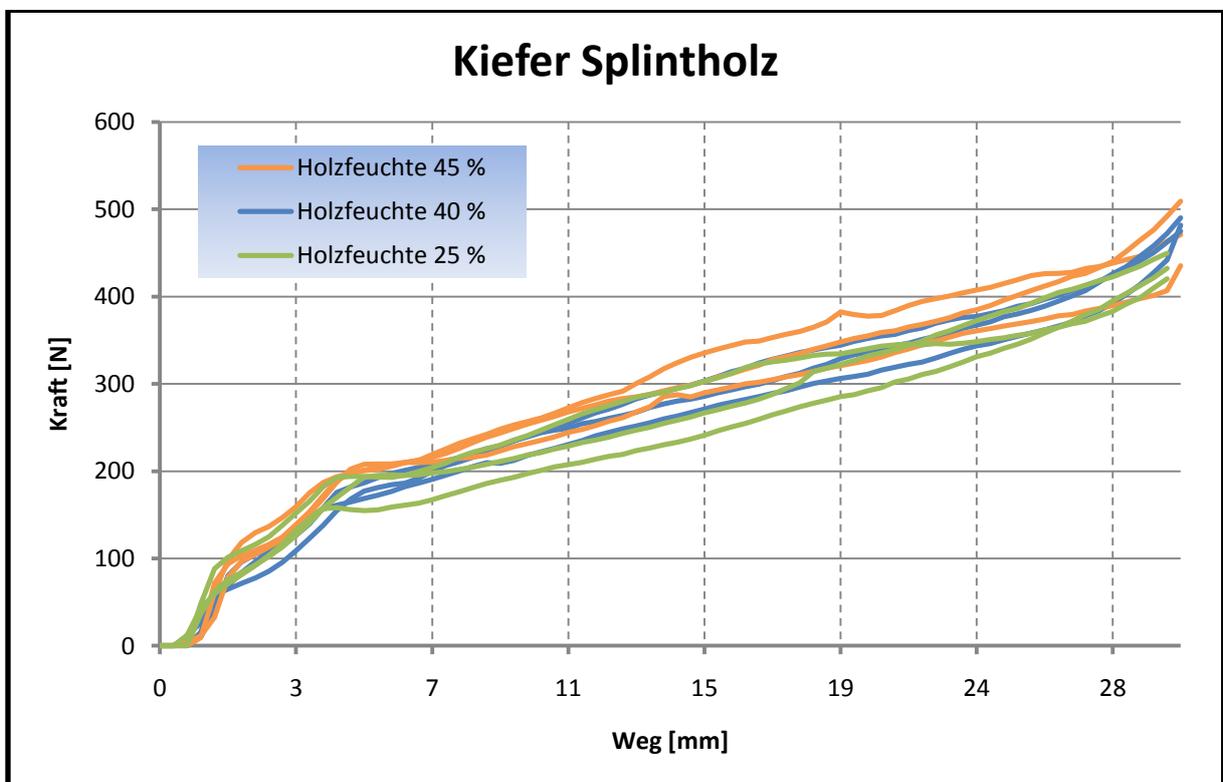


Abbildung 46: Applikationsdiagramm Kiefer: Splintholz
Quelle: Eigenerstellung

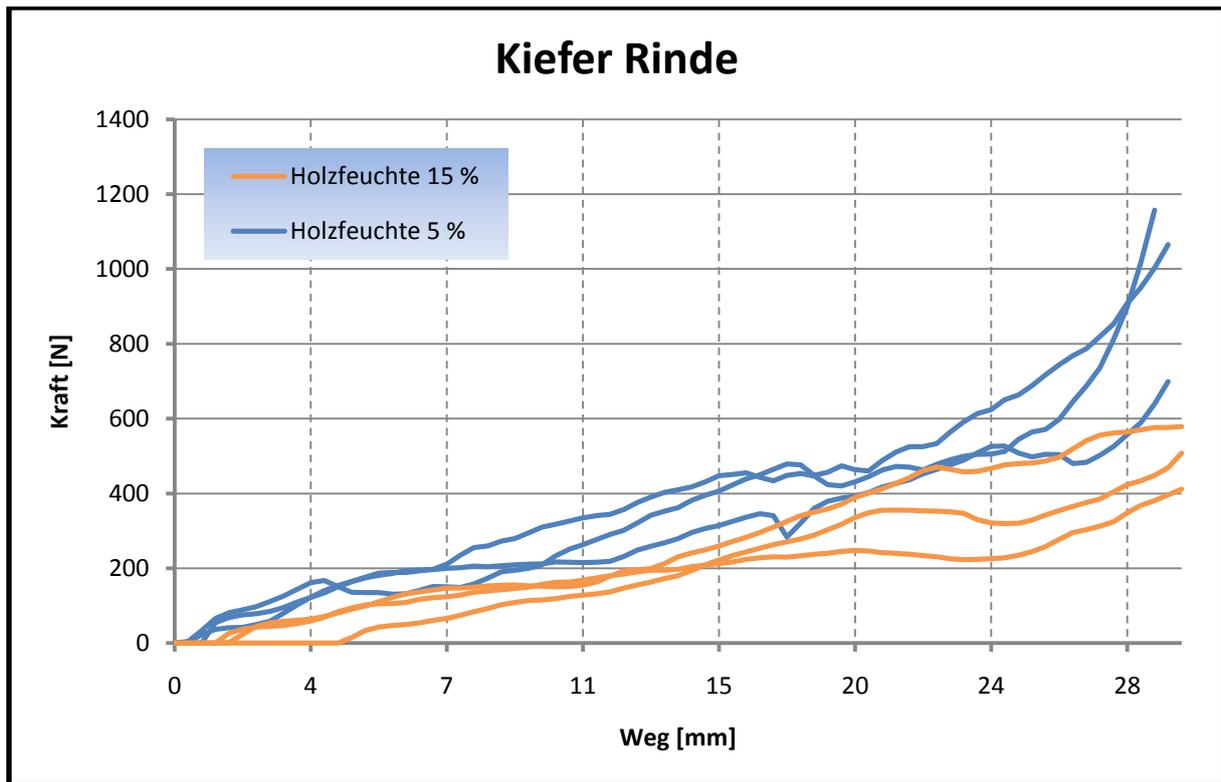


Abbildung 47: Applikationsdiagramm Kiefer: Rinde
Quelle: Eigenerstellung

Im Hinblick auf die Kiefer ist festzuhalten, dass die Applikation durch die Rinde nur an zwei Versuchstagen getestet wurde, da bereits zum ersten Test die Feuchtigkeit lediglich bei 15% und am zweiten Versuchstag bei nur noch 5% lag. Eine weitere Verringerung der Feuchtigkeit war im Zeitablauf nicht festzustellen. Es kann aufgrund der Messdaten die Schlussfolgerung gezogen werden, dass auch bei dieser Holzart der größte Kraftaufwand mit teilweise mehr als 1.100 N bei seitlicher Applikation erforderlich ist. Sowohl im Kern- als auch im Splintholzbereich ist kein Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf die benötigte Kraft feststellbar.

Auch bei der Eiche (Abbildung 48 bis Abbildung 50) war die Holzfeuchtigkeit bei seitlicher Applikation durch die Rinde bereits am zweiten Versuchstag auf 5% abgesunken, so dass insgesamt nur zwei Versuche durchgeführt wurden. Entgegen den Ergebnissen bei den Nadelhölzern ist festzustellen, dass sowohl für das Kern- als auch das Splintholz der notwendige Kraftaufwand tendenziell sinkt, je trockener das Holz ist.

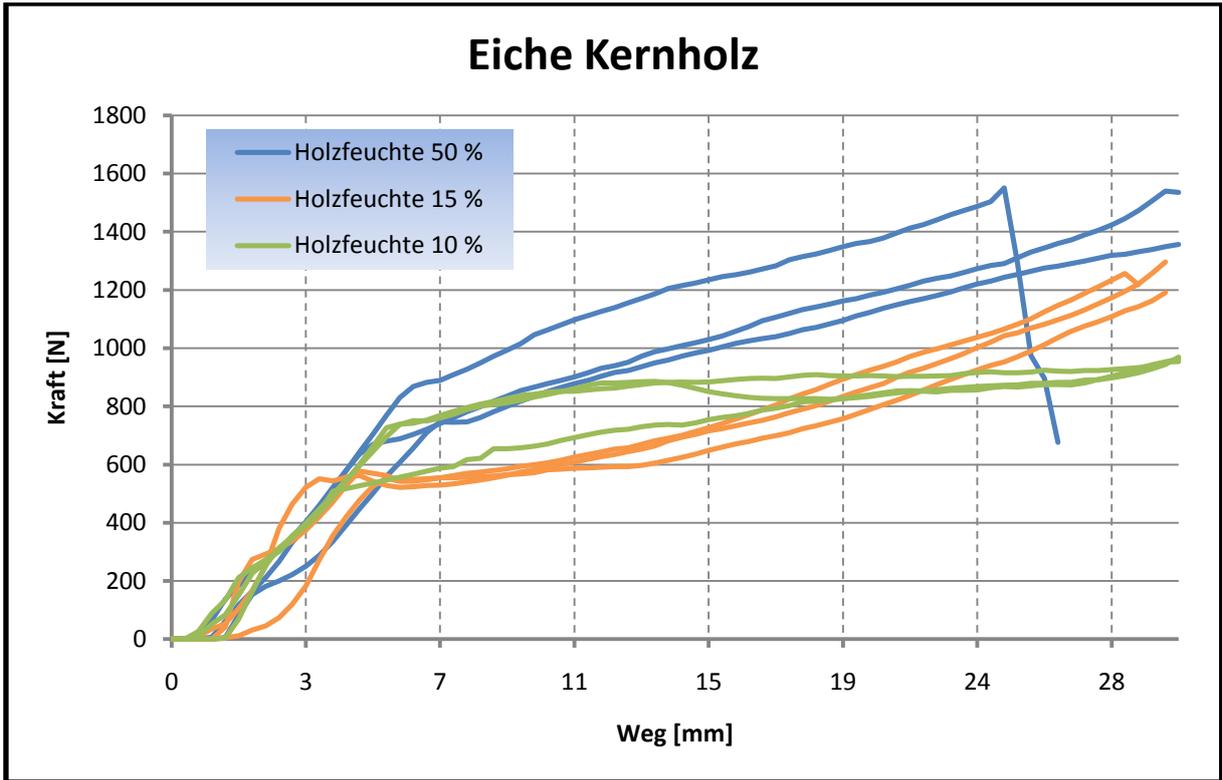


Abbildung 48: Applikationsdiagramm Eiche: Kernholz
Quelle: Eigenerstellung

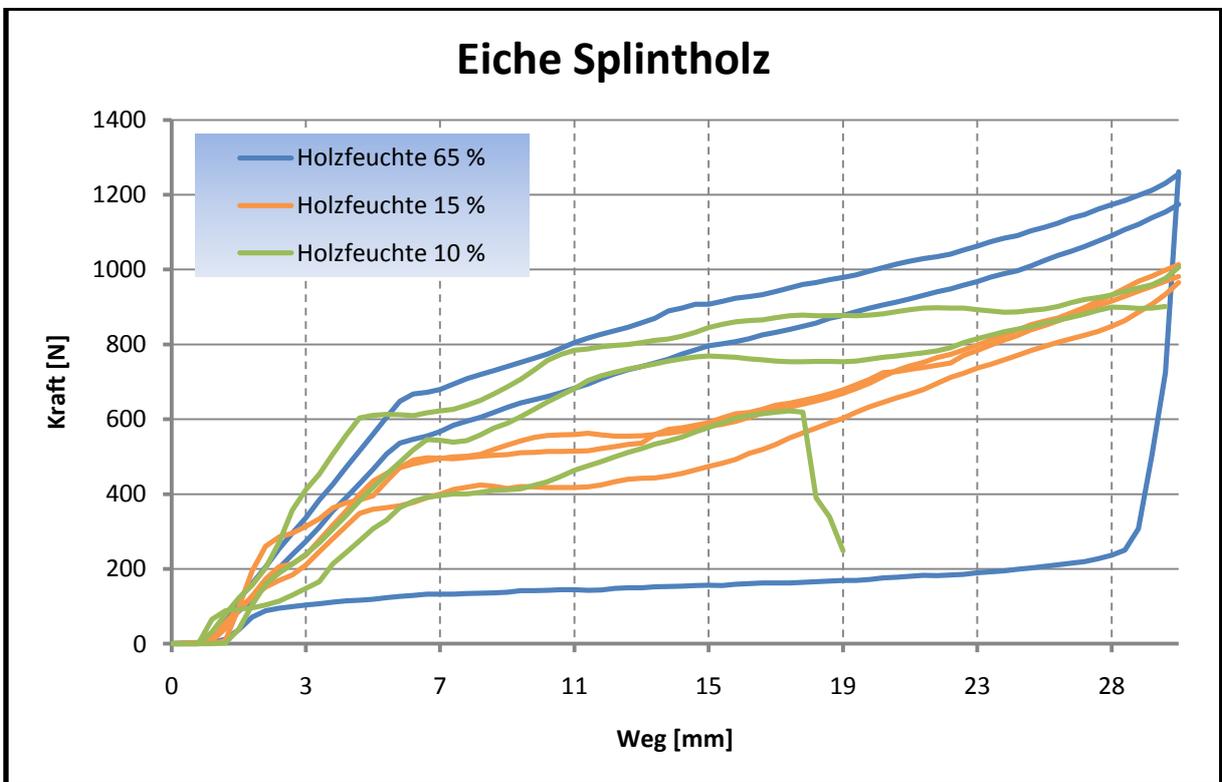


Abbildung 49: Applikationsdiagramm Eiche: Splintholz
Quelle: Eigenerstellung

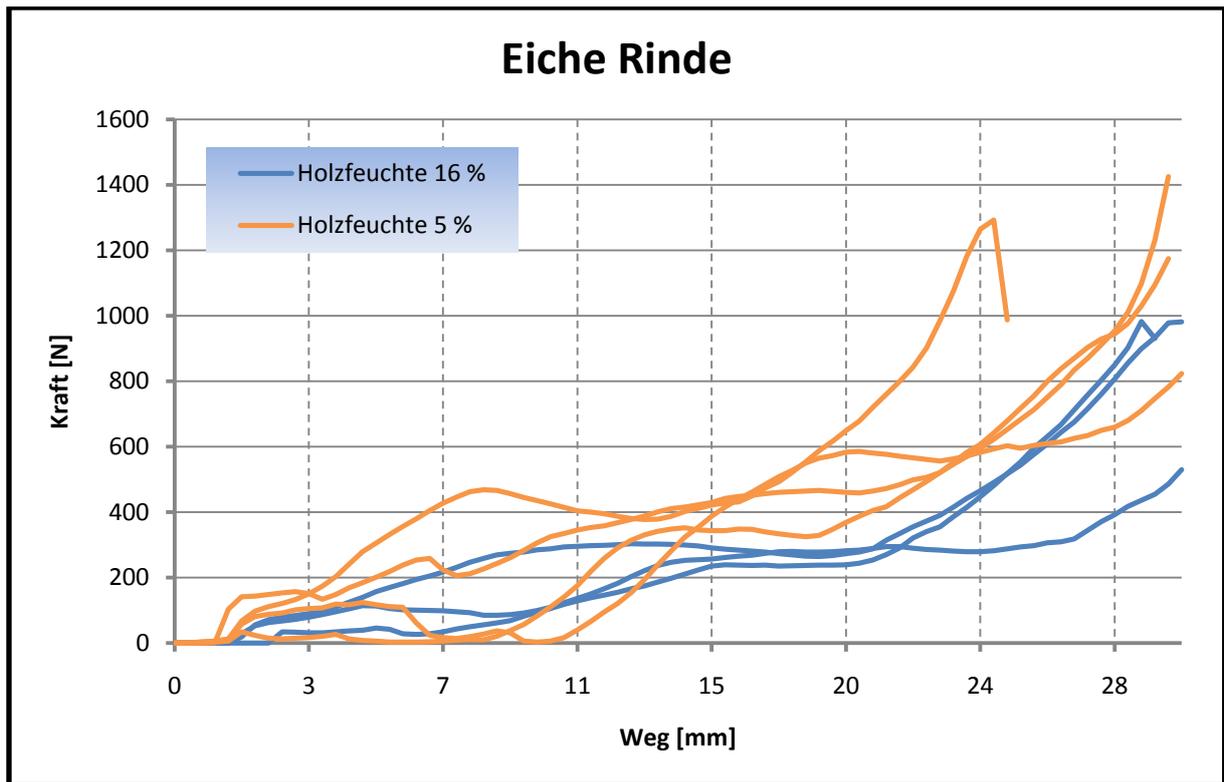


Abbildung 50: Applikationsdiagramm Eiche: Rinde
 Quelle: Eigenerstellung

Schließlich folgen von Abbildung 51 bis Abbildung 53 die Diagramme für die Baumart Buche. Auch hier konnten aufgrund der schnellen Trocknung nur zwei Versuche für die Rinde durchgeführt werden.

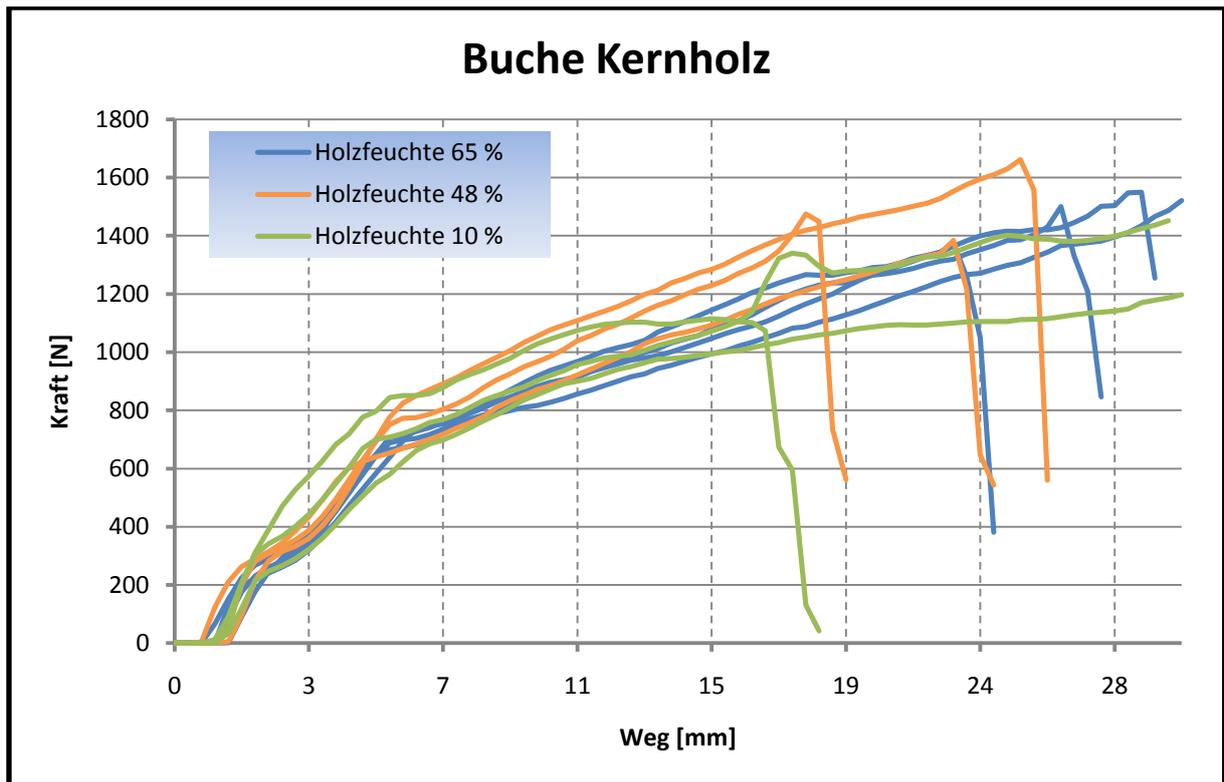


Abbildung 51: Applikationsdiagramm Buche: Kernholz
Quelle: Eigenerstellung

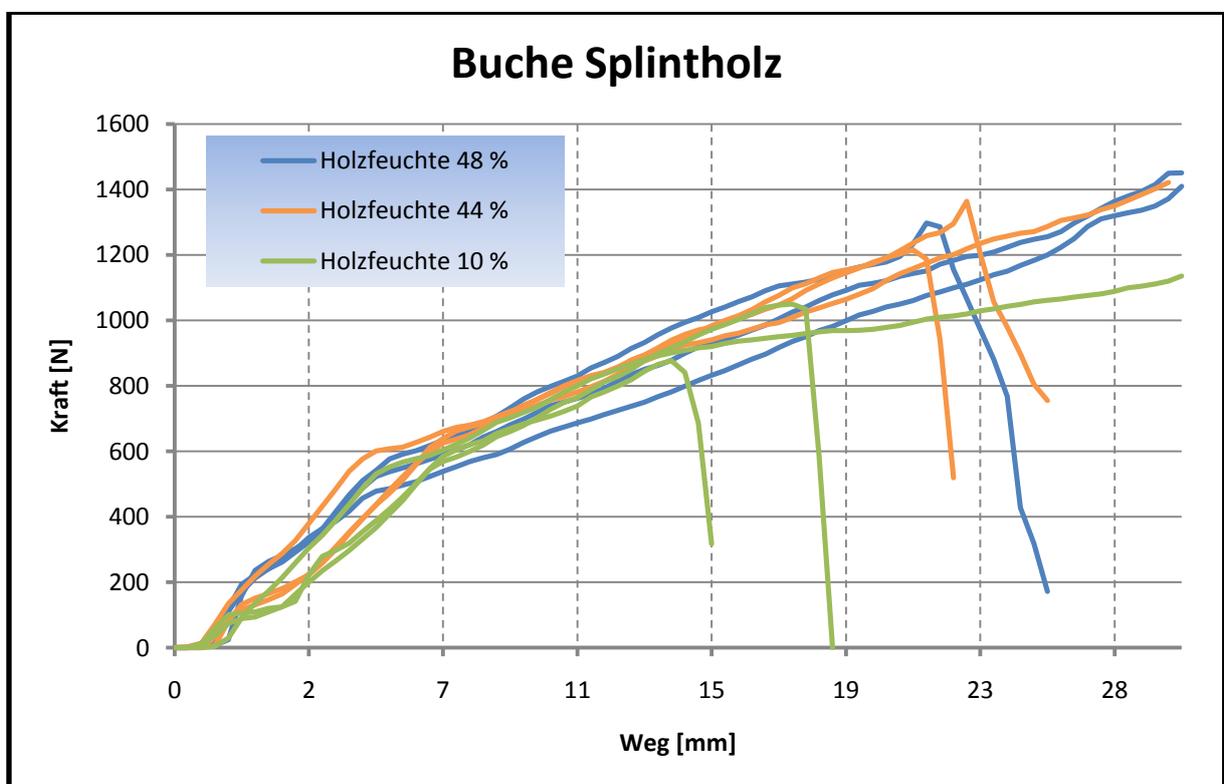


Abbildung 52: Applikationsdiagramm Buche: Splintholz
Quelle: Eigenerstellung

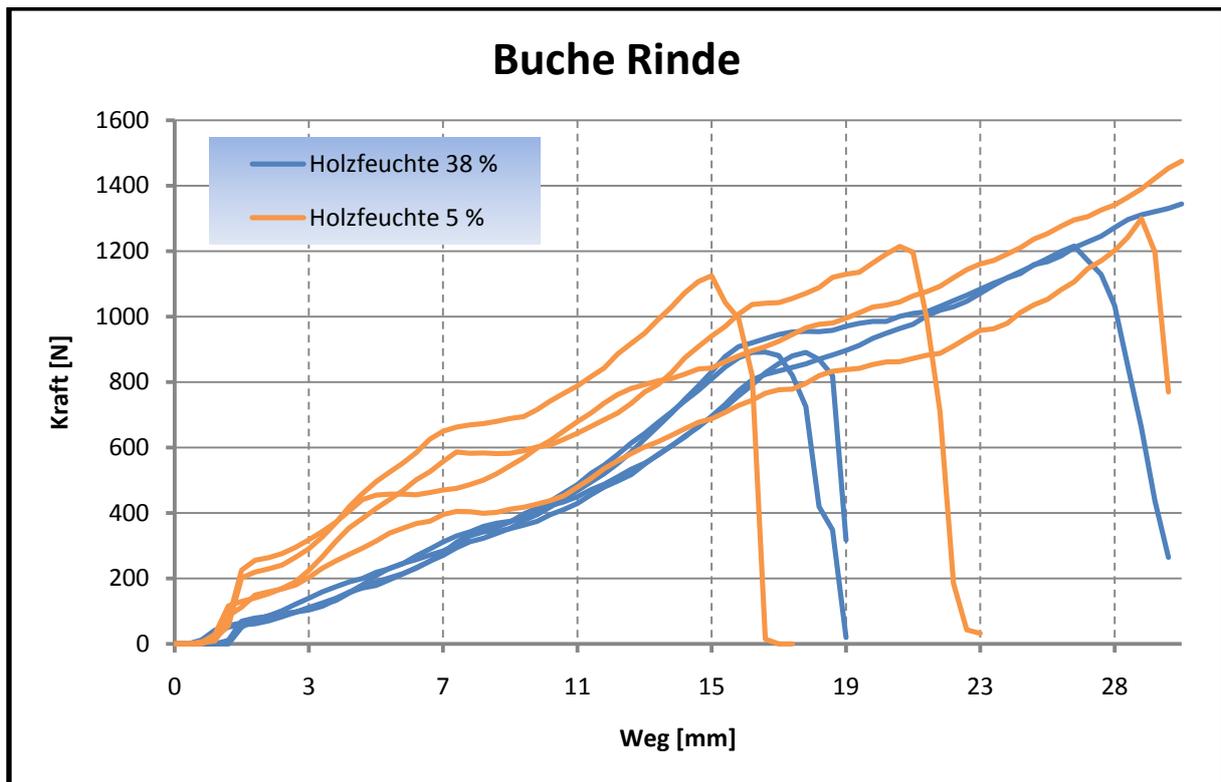


Abbildung 53: Applikationsdiagramm Buche: Rinde
Quelle: Eigenerstellung

Wie deutlich zu erkennen ist, stellte die Buche für die meisten Nägel ein unüberwindliches Hindernis dar – der stärkste Nagel brach bei einer Belastung von über 1.600 N im Kernholzbereich. Die Vielzahl der Brüche macht deutlich, dass für den sinnvollen Einsatz von Transpondernägeln bei Buche weitere, die Applikation vorbereitende Schritte wie etwa das Vorbohren von Löchern notwendig sind. Alternativ kommt nur die Verwendung eines belastungsfähigeren Kunststoffes in Frage, da Metallnägel aufgrund ihrer Inkompatibilität mit integrierten Transpondern von vornherein ausscheiden.

Der folgende Box-Plot (Abbildung 54) zeigt noch einmal in der Zusammenfassung die gemessenen Kräfte in Abhängigkeit von der Baumart. Deutlich ist zu erkennen, dass Buchenholz den stärksten Kraftaufwand erfordert, um einen Transpondernagel zu applizieren. Bei den drei anderen Holzarten fällt die große Spannweite der Werte bei der Applikation durch die Rinde auf, die sich durch Merkmale wie die Rindenstruktur im Allgemeinen und Risse bzw. Verhärtungen im Besonderen erklären lässt. Wie bereits die Einzelmessungen gezeigt haben, lässt sich kein direkter Zusammenhang zwischen Holzfeuchtigkeit und benötigtem Kraftaufwand ableiten.

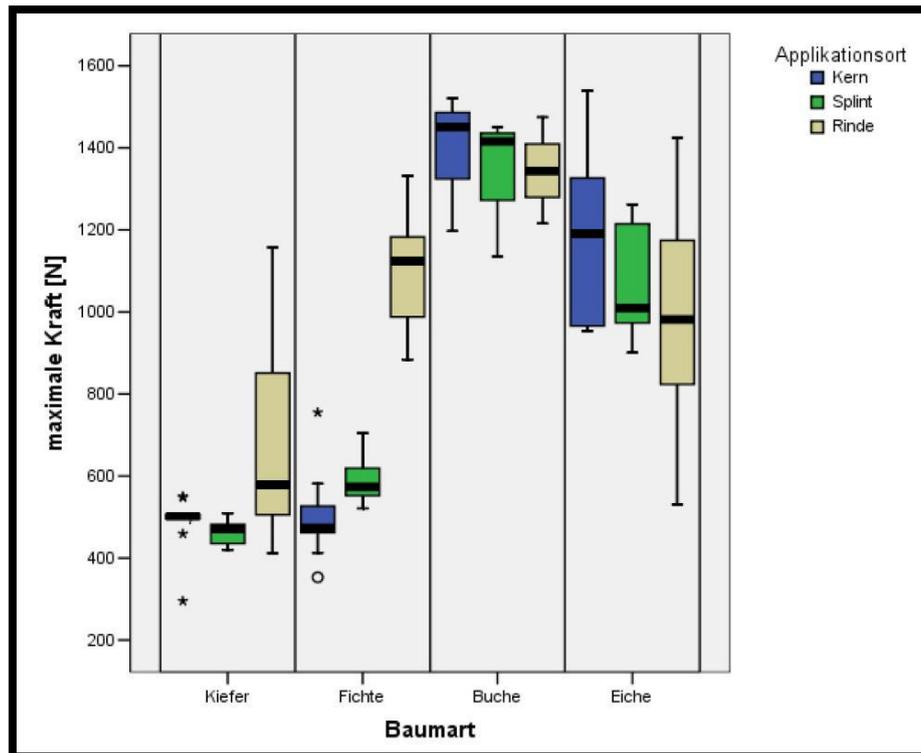


Abbildung 54: Box-Plot der gemessenen Kräfte in Abhängigkeit von der Baumart
Quelle: [13]

Neben den Testreihen für die Transpondernägel wurden außerdem spezielle Klebeetiketten der Marke „Plasto-Label“ (13,56 MHz) der Firma Schreiner LogiData (vgl. Kapitel 2.3.2.2 ab Seite 13) untersucht, die aufgrund ihrer Konstruktion dafür ausgelegt sind, auch große mechanische Kräfte abzufangen und den RFID-Chip funktionsfähig zu halten. Parallel zur Untersuchung ihrer Klebefähigkeit im Freiversuch (vgl. Kapitel 4.1.3, Seite 57 ff.) wurden daher Belastungstests durchgeführt, welche die erheblichen mechanischen Einwirkungen auf die Transponder u. a. bei den Be- und Entladevorgängen simulieren sollten.

Herkömmliche RFID-Klebeetiketten für den Einsatz im logistischen Umfeld sind aufgrund der Anforderungen ihres Einsatzgebiets (schnelle und einfache Applikationsmöglichkeit, Rollenware, niedriger Stückpreis) sehr flach, kaum dicker als normales Papier und damit gegen mechanische Einwirkungen so gut wie nicht geschützt. Der Transponder ist regelmäßig bereits nach geringen Belastungen unbrauchbar, weil in der meisten Zahl der Fälle die fragile Verbindung zwischen Chip und Antenne zerbricht. Das Plasto-Label fängt dagegen Stoß- und Druckbelastungen mit Hilfe einer Gel-Schicht ab und erlaubt so auch den Einsatz in anspruchsvollen Umgebungen.

Um die potenziell auftretenden Belastungen praxisnah zu simulieren, wurden im Rahmen von Fallversuchen ausführliche Testreihen durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in der folgenden Abbildung 55 dargestellt. Es wurde angenommen, dass die größten mechanischen Belastungen der Etiketten auftreten, wenn der Baumstamm beim Belade-

vorgang gegen das Stirngatter des Fahrzeugs gedrückt wird. Aus diesem Grund wurde für die Versuche eine Konstruktion gewählt, welche diese Verhältnisse möglichst genau widerspiegeln sollte. Das Etikett wurde dafür zunächst auf ein Stück Holz geklebt und dann zwischen zwei Gewichten mit einer Masse von jeweils 25 kg so fixiert, dass der Transponder plan zwischen dem oberen Gewicht und dem Holz positioniert war. Der gesamte Aufbau wurde anschließend auf eine Höhe von 1 m (gemessen von der Unterkante des unteren Gewichts) gezogen und schließlich durch Öffnen des Sicherungshakens fallen gelassen. Anschließend wurde die Funktionsfähigkeit des Transponders untersucht, indem ein Ausleseversuch mit einem entsprechenden Handlesegerät durchgeführt wurde. Um eventuelle fertigungsbedingte Toleranzen ausschließen zu können, wurde der Versuch insgesamt zehn Mal durchgeführt.

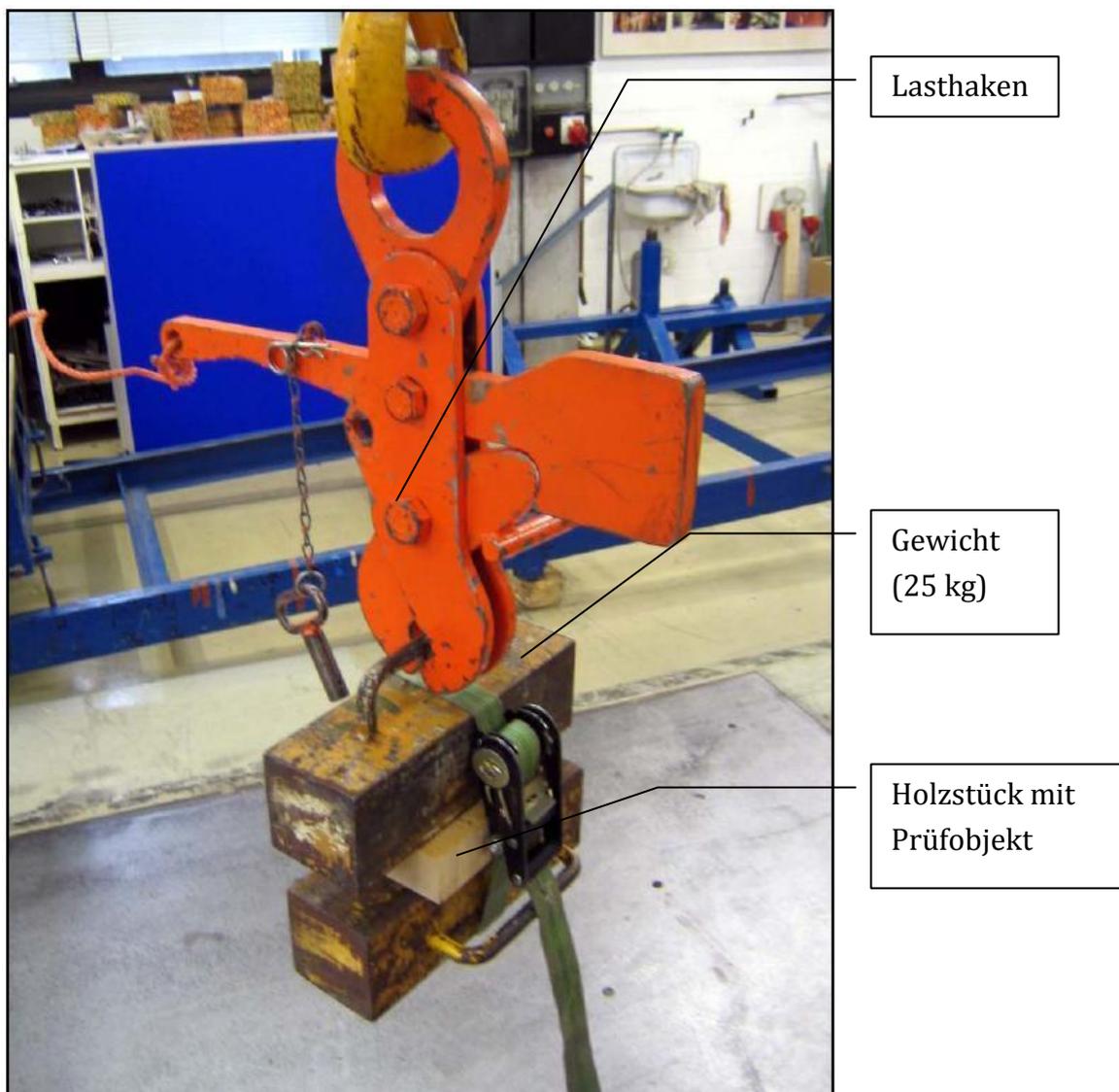


Abbildung 55: Versuchsaufbau für Falltests der Plasto-Label im LogIDLab®

Quelle: Eigenerstellung

Acht der zehn getesteten Etiketten konnten auch nach dem erfolgten Test noch fehlerfrei ausgelesen werden. Die Gel-Schicht der Transponder war in der Lage, die große Energie

des Aufpralls abzufangen, was sich insbesondere dadurch zeigte, dass die Stärke der Etiketten nach dem Versuch nur noch wenige zehntel Millimeter – im Vergleich zu 1,5 mm bei einem neuwertigen Etikett – aufwies. Als problematisch haben sich vor allem Holzsplitter erwiesen, die von unten in die ungeschützten Bereiche des Etiketts eindringen und im ungünstigen Fall den Transponder durch mechanische Beschädigung funktionsunfähig machten.

4.1.4.3 Zielgerichtete Testreihen und Entwicklungen

Aus den Ergebnissen der unterschiedlichen Versuche und Testreihen lassen sich mehrere Resultate im Hinblick auf die Zielstellung ableiten. Zunächst kann festgestellt werden, dass die Nageltransponder sich grundsätzlich gut dafür eignen, im Rahmen der Holzerntekette eingesetzt zu werden, da sie sehr robust und im applizierten Zustand praktisch unverlierbar sind. Jedoch ist ihre Reichweite zu gering, als dass sie in automatisierten Prozessen eingesetzt werden könnten, da hier eine Pulkerfassung bzw. Identifikation über größere Entfernungen hinweg erforderlich ist. Transpondernägel eignen sich daher ausschließlich für den Einsatz in der motormanuellen Kette. Die Belastungstests haben darüber hinaus gezeigt, dass eine prozesssichere Applikation der Transponder z. B. nur mit einer vorbereiteten Bohrung erfolgen kann.

Im Hinblick auf die hochmechanisierte Kette sind RFID-Systeme mit einer relativ hohen Reichweite erforderlich, was alle niedrigfrequenten Transponder ausschließt. Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung wurden daher ISO-Karten mit 13,56 MHz ausgewählt, da zum Zeitpunkt der Durchführung die am Markt verfügbaren UHF-Systeme technisch noch nicht ausgereift und unter Berücksichtigung der Anforderungen insgesamt nicht geeignet waren.

4.1.4.3.1 Motormanuelle Variante

Im Bereich der motormanuellen Holzerntekette wurden im Rahmen der Versuchsreihen an der TU München sowohl LF- als auch HF-Systeme getestet, wobei insgesamt fünf verschiedene Typen zum Einsatz kamen [13]. Ein besonderer Fokus lag dabei auf den Nageltranspondern, die in einem gesonderten Versuch – verbunden mit einer Zeitstudie – getestet wurden. Ausgelesen wurden die Transponder jeweils mit einem mobilen Handlesegerät vom Typ „Timbatec Recon“ der Firma Latschbacher, Freilassing.

Während des Feldversuches mit Fichtenholz stellte sich heraus, dass die Nageltransponder mit einem Hammer überaus problematisch zu applizieren waren. Bei der stirnseitigen Applikation wurden 12% der Transponder zerstört, während bei der Applikation durch die Rinde mit 67% die Mehrzahl der Nägel bereits beim Einschlag unbrauchbar wurde. Hauptgrund für diese hohe Verlustrate waren sehr niedrige Temperaturen zum Zeitpunkt des Versuchs, die eine seitliche Anbringung der Nägel stark behinderten, da das Rundholz in den Außenbereichen bereits gefroren war. In Zusammenarbeit mit den

Cambium Forstbetrieben im Odenwald wurde daher ein spezieller Hammer getestet, der ein Vorstanzen entsprechender Vertiefungen in das Holz ermöglicht. Im Zusammenspiel mit der Verwendung dieses Werkzeugs konnte die Verlustrate der Nageltransponder auf Null reduziert werden.

4.1.4.3.2 Hochmechanisierte Variante

Am Beginn der hochmechanisierten Kette steht die Holzernte mit dem Harvester. Aufgrund ihrer bereits beschriebenen, für die Forstwirtschaft sehr wichtigen Vorteile – Unverlierbarkeit und praktisch keine mechanischen Belastungen nach der Applikation – standen die Nageltransponder zunächst im Fokus der Untersuchungen. Ziel war es, einen handelsüblichen Druckluftnagler so umzurüsten, dass er für den Einsatz unter den rauen Umgebungsbedingungen bei der Holzernte und für die Integration in das Aggregat des Harvesters geeignet ist.

Zunächst war grundsätzlich festzulegen, an welcher Stelle die Applikation der Transpondernägel in das frisch aufgearbeitete Holz erfolgen sollte. Dazu wurden die nachfolgenden Prozesse auf ihren Ablauf hin untersucht, um auf dieser Basis eine Entscheidung treffen zu können, da die Transponder in jedem Fall möglichst automatisch ausgelesen werden sollten. Sowohl auf dem Forwarder als auch auf dem LKW sind zu diesem Zweck fest installierte Antennen anzubringen, welche gegen die großen mechanischen Belastungen ausreichend geschützt werden müssen, die bei den Be- und Entladevorgängen auftreten. Neben der Unterbringung in einem stabilen Kunststoffgehäuse bedeutet dies die Installation der Antennen an einer geschützten Position, die sich im Regelfall hinter dem Stirngatter der Ladefläche befindet, also direkt zwischen Gatter und Fahrerkabine. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Baumstämme bereits während des Ladeprozesses über an den Rungen angebrachte Antennen zu identifizieren.

Ausgehend von den mit den Positionierungen implizierten Ausrichtungen der Antennen ist eine Applikation der Transponder an der Stirnseite der Baumstämme optimal, da auf diese Weise die Lesereichweite und damit die Prozesssicherheit maximiert wird. Allerdings ist eine stirnseitige Applikation insofern problematisch, als dass sie nicht zeitgleich zu anderen Arbeitsschritten erfolgen kann und damit den Arbeitsprozess des Harvesters massiv beeinträchtigt. Im Hinblick auf die geforderte Produktivität dieses Systems ist dies für die Unternehmen nicht akzeptabel. Darüber hinaus ergeben sich umfangreiche technische Probleme, wenn eine Anbringung an der Stirnseite vorgesehen ist. So ist das Aggregat die einzige Stelle, an der ein entsprechender Applikator integriert werden kann. Zugleich ist dieses jedoch bereits so hoch integriert, dass nur sehr wenig Raum für zusätzliche Geräte und Ergänzungen vorhanden ist. Ein Anbau des Applikationsgeräts außerhalb des schützenden Gehäuses kommt nicht in Frage, da die notwendige Mechanik für eine stirnseitige Applikation nicht ausreichend gegen die auftretenden mechanischen Belastungen geschützt werden kann. Eine Integration in das Aggregat

hätte allerdings eine zumindest teilweise Neukonstruktion der gesamten Baugruppe erfordert.

Dies war jedoch nicht realisierbar, da der Hersteller des Aggregats für diese Bestrebung nicht zu gewinnen war. So musste stattdessen eine seitliche Applikation vorgenommen werden. Ein Vorteil dieser Variante ist neben der hohen Chance auf kostengünstige Umsetzbarkeit in die Praxis die Tatsache, dass die Applikation der Transponder parallel zum Sägevorgang erfolgen kann und damit keine zusätzliche Zeit aufgewendet werden muss, d. h. die Produktivität und Effizienz des Harvesters wird in keiner Weise beeinträchtigt.

Das Design des Applikationsgeräts wurde von vornherein dafür ausgelegt, dass es in den Sägekasten des Aggregats integriert werden kann. Kernstück des Geräts ist ein automatischer Druckluftnagler für Heftklammern, der diese mit bis zu 7 Bar Luftdruck in das Holz treiben kann. Aufgrund der unterschiedlichen Rindenstrukturen, die je nach Baumart von glatt über rauh bis hin zu borkig und zerfurcht reichen können, wurden Heftklammern mit einer Schenkellänge von 25 mm genutzt, die der verwendete Nagler problemlos auch in sehr hartes oder vereistes Holz vollständig eintreiben kann.

Das Magazin – ausgelegt für bis zu 160 Transponderkarten – befindet sich hinter dem Heftkopf. Aus diesem Grund ist die Vorrichtung schwenkbar, um eine Befüllung des Magazins zu ermöglichen. Alle beweglichen Teile werden über pneumatische Bauteile bewegt, wobei der zentrale Hubzylinder im Einsatz die gesamte Vorrichtung gegen die Schwerkraft bewegen muss. Ein kleinerer Zylinder ist für den Kartenausschub zuständig, und auch der Nagler selbst wird mit Druckluft betrieben. Die elektronische Ansteuerung ist über ein SPS-Modul geregelt, so dass mit einem einzigen Impuls, der z.B. durch einen Druckschalter oder auch vollautomatisch durch die Bordhardware des Harvesters ausgelöst wird, die gesamte Mimik in Gang gesetzt werden kann. Voraussetzungen für den Betrieb der Applikationsvorrichtung sind 7 Bar Druckluft und 24 V Spannungsversorgung.

Das Funktionsprinzip des Geräts kann anhand der Abbildung 56 folgendermaßen beschrieben werden: Zunächst wird der Baum durch den Harvester mit dem Aggregat aufgearbeitet. Vor dem Trennschnitt wird der Applikationsvorgang durch einen elektrischen Impuls ausgelöst, der bewirkt, dass das Gerät über einen pneumatischen Hubzylinder (5) eine Karte (1) aus dem Magazin fördert und bereitstellt, wobei diese zugleich durch ein RFID-Lesegerät (2) ausgelesen wird. Der Impuls wurde im Piloteinsatz durch einen umfunktionierten Knopf im Führerhaus des Harvesters von Hand ausgelöst, kann jedoch prinzipiell auch in die Bordelektronik integriert werden und dann bspw. den Sägeimpuls abgreifen.

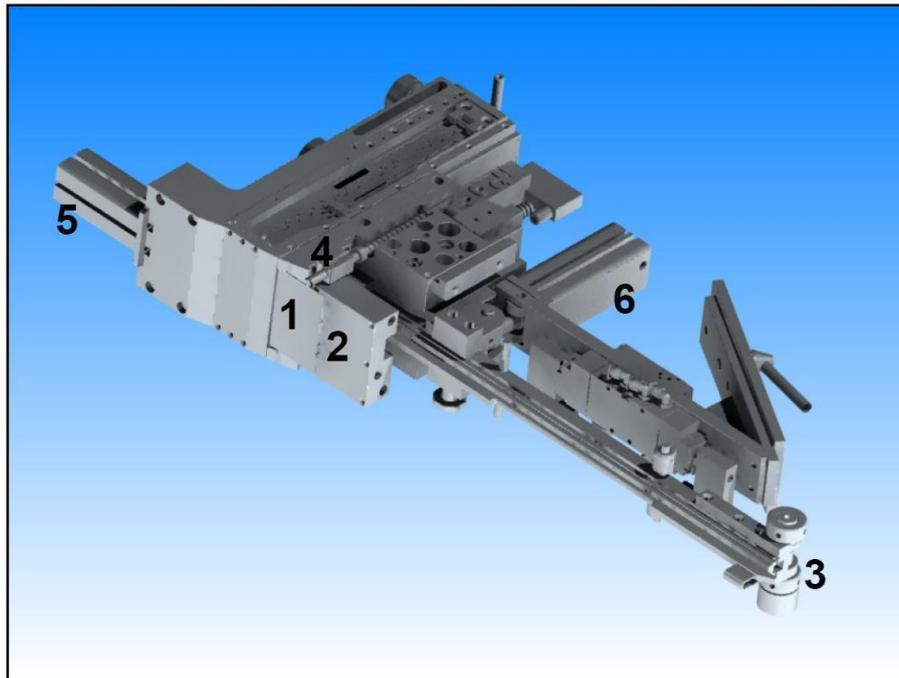


Abbildung 56: CAD-Modell der Applikationsvorrichtung
Quelle: Eigenerstellung

Legende zu Abbildung 56	
Ziffer	Beschreibung
1	Transponderkarte
2	RFID-Antenne in Spezialgehäuse
3	Drehachse
4	Druckbolzen
5	Pneumatikzylinder Kartenvorschub
6	Pneumatikzylinder Ein-/Ausschwenken

Nachdem die Karte bereitgestellt und ausgelesen wurde, schwenkt die Applikationsvorrichtung mit Hilfe eines weiteren Zylinders (6) über die Drehachse (3) aus dem Sägekasten heraus. Der Schuss wird durch einen hervorstehenden Bolzen (4) ausgelöst, der beim Kontakt mit dem Stamm in eine Führung hineingedrückt wird und dadurch einen im Inneren dieser Führung verborgenen Druckkontakt betätigt. Die Karte wird mit einer Heftklammer am Holz befestigt. Danach schwenkt die Vorrichtung sofort wieder in die Ausgangsposition zurück, wodurch die Karte, die, um ein Herunterfallen zu vermeiden, mit Hilfe kleiner hervorstehender Kanten vor dem Nagelgerät in Position gehalten wird, automatisch aus der Halterung gezogen wird. Auf diese Weise können auch unterschiedlich dicke Stämme markiert werden, da nicht zwingend der gesamte zur Verfügung stehende Hub ausgenutzt werden muss. Sobald der Schusskontakt auslöst, schwenkt das Gerät wieder zurück.

4.1.4.4 Durchgeführte Praxisversuche

Um die Übertragung der eingelesenen Transpondernummern in den Computer des Harvesters zu ermöglichen, ist die Applikationsvorrichtung mittels WLAN an diesen angeschlossen. Die Sendeantenne befindet sich innerhalb des Sägekastens neben der SPS-Steuereinheit und ist damit weitgehend vor mechanischen Belastungen geschützt, während der Datenempfang über einen im Führerhaus positionierten Access-Point geregelt wird. Die Praxistests zeigten eine zuverlässige Datenübertragung auch bei maximal ausgefahrenem Kran und bewiesen damit die für den alltäglichen Einsatz notwendige Prozesssicherheit.

Die abschließenden Tests im Rahmen eines Praxiseinsatzes in einem Fichtenbestand in Hessen zeigten die grundsätzlichen Möglichkeiten des Applikationsgerätes auf [13]. Das in einen zweiten Sägekasten montierte Gerät wurde unterhalb des Kastens mit der Motorsäge am Harvester angebracht, wie in Abbildung 57 zu sehen ist.

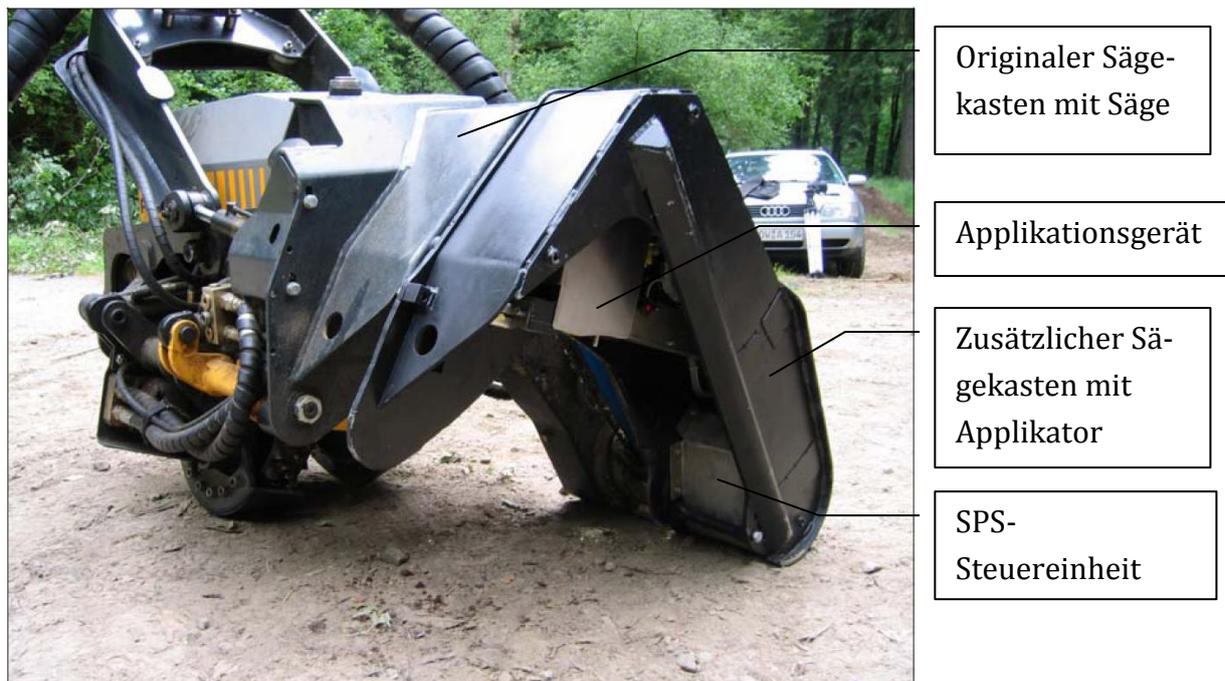


Abbildung 57: Applikationsgerät am Harvesteraggregat montiert

Quelle: Eigenerstellung

Der Probeeinsatz verlief durchgehend zufrieden stellend; das Applikationsgerät arbeitete vom Anfang bis zum Ende bis auf einige Male, wo sich Transponderkarten beim Ausschub aus dem Magazin verklemmten, fehlerfrei. Auf Basis der Testergebnisse kann gesagt werden, dass die Applikationsvorrichtung in der entwickelten Form grundsätzlich einsatzfähig, jedoch nicht für einen dauerhaften Einsatz im forstlichen Umfeld geeignet ist. Dies ist insbesondere begründet in dem Umstand, dass aufgrund knapper Entwicklungsressourcen nur bedingt geeignete Materialien verwendet werden konnten, die den harten Einsatz- und Umgebungsbedingungen dauerhaft nicht standhalten. Kön-

nen im Rahmen einer realen Umsetzung besser geeignete Materialien verwendet werden, kann ein dauerhafter Einsatz problemlos erfolgen.

4.1.5 Praxisversuch: Rückung und Stapelung an der Waldstraße

Zunächst galt es festzustellen, welche RFID-Technologie sich am besten für den praktischen Einsatz eignet. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen eines umfangreichen Versuchs verschiedene Konfigurationen und Kombinationen von Transpondern und Schreib-/Lesegeräten ausführlich getestet. In Zusammenarbeit mit einem lokalen Forstunternehmer in NRW konnten die Testreihen an einem originalen Stirngatter vorgeommen werden, das zur Verfügung gestellt wurde (vgl. Abbildung 58).



**Abbildung 58: Für die Versuche genutztes Stirngatter eines Forwarders
Quelle: Eigenerstellung**

Eine wesentliche Rahmenbedingung für die Tests war die Prämisse, dass die Transponder stirnseitig appliziert sind. In diesem Fall gibt es zwei Möglichkeiten, die Antennen sinnvoll anzubringen: Innen (die Antenne befindet sich zwischen Holz und Stirngatter), und außen (das Stirngatter befindet sich zwischen Holz und Antenne). Die innere Anbringung ist jedoch aufgrund der entstehenden sehr hohen mechanischen Belastung durch die beim Beladen gegen das Stirngatter und damit dann auch gegen die Antennen gedrückten Baumstämme problematisch, so dass sich die Testreihen darauf konzentrierten, das am besten geeignete System zur Erfassung der Transponder durch das Gatter hindurch zu identifizieren. Es wurden jedoch beide Varianten der Antennenanbringung (innen und außen) getestet, um die Unterschiede der erzielbaren Reichweiten aufzuzeigen. Grundsätzlich ist eine direkte Montage von RFID-Antennen auf metallischen Untergründen sehr kritisch, da das Metall die Antennen sehr stark verstimmt. Dies hat zur

Folge, dass die Antennen auf diesen Untergrund – idealerweise bereits herstellerseitig – speziell abgestimmt werden müssen, was allerdings nicht reversibel ist. Das Equipment ist folglich, sobald es einmal eingestellt wurde, für keinen anderen Einsatzfall mehr nutzbar. Für die mit direkter Beteiligung des Antennenherstellers durchgeführten Testreihen wurden daher neben Standardkomponenten ohne Abstimmung spezielle Antennen verwendet, die mit Hilfe von Reglern in gewissen Grenzen feinabgestimmt werden konnten.

Im Hinblick auf die Interpretation der weiter unten vorgestellten Testergebnisse ist zu sagen, dass das Stirngatter eine massive Stärke von 3 cm starken vertikalen Stahlstreben aufwies, die zusätzlich durch 6 cm starke horizontale Streben stabilisiert wurden (vgl. Abbildung 58). Aufgrund der für die Aufgabenstellung in Frage kommenden Alternativen (vgl. Kapitel 4.1.2, Seite 56) wurden die Frequenzen 125 kHz und 13,56 MHz getestet, wobei neben der Positionierung der Antenne auch die relative Ausrichtung der Transponder als Parameter festgehalten wurde, um eine aufgrund von Erfahrungswerten wahrscheinliche Lageabhängigkeit mit ihren Auswirkungen identifizieren zu können.

Die folgenden Tabellen zeigen die jeweils gemessenen, maximalen Reichweiten in Abhängigkeit von der verwendeten Antenne und deren Positionierung im Verhältnis zum Stirngatter. Als Referenzwert sind gleichwertige Messungen ohne Metalluntergrund angegeben, so dass der Einfluss des Metalls erkennbar wird.

Tabelle 4: Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, 400x400 mm)

Antennentyp: SAT-A40-LR-O 13,56 MHz 400 x 400 mm			
Transpondertyp ¹¹	Reichweite in mm		
	Ohne Metalluntergrund	Innen ¹ (abgestimmt)	Außen ² (abgestimmt)
I-Code 1 54x86 mm	850	650	400
I-Code 1 140x180 mm	1.100	850	520
ISO 15693 54x86 mm	920	690	450
ISO 15693 45x45 mm	860	630	430
I-Code 80x130 mm	1.130	830	530
¹ Die Antenne befindet sich zwischen Holz und Stirngatter ² Das Stirngatter befindet sich zwischen Holz und Antenne			

Es wird deutlich, dass die Reichweite zum einen durch den Einfluss des Metalls erkennbar reduziert wird, zum anderen jedoch trotz der Positionierung der Antenne an der Außenseite des Stirngatters durch dieses hindurch zum Teil immer noch mehr als 50 cm weit gelesen werden kann. Dies ist im Bereich der HF-Frequenzen ein beachtliches Ergebnis und verdeutlicht, wie durch eine exakte Abstimmung aller genutzten Komponenten sowohl aufeinander als auch auf die Umgebungseinflüsse die Leistungsfähigkeit optimiert werden kann.

Die folgende Aufstellung ist analog zu Tabelle 4 aufgebaut und stellt die Messresultate für eine andere Antenne („SAT-JueKri“) dar.

¹¹ Es wurden verschiedene Chipsätze getestet, um eventuelle herstellerepezifische Unterschiede identifizieren zu können. Die Bezeichnung „I-Code“ steht für den Hersteller Philips, während ISO-Transponder eine entsprechende Normkonformität aufweisen. Für jeden Transpondertyp muss im Schreib-/Lesegerät ein eigenes Protokoll hinterlegt sein, um die Chips auslesen zu können.

Tabelle 5: Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, 350x1350 mm)

Antennentyp: SAT-JueKri 13,56 MHz 350 x 1.350 mm			
Transpondertyp	Reichweite in mm		
	Ohne Metalluntergrund	Innen ¹ (abgestimmt)	Außen ² (abgestimmt)
I-Code 1 54x86 mm	850	620	430
I-Code 1 140x180 mm	1.100	960	540
ISO 15693 54x86 mm	920	640	500
ISO 15693 45x45 mm	860	560	350
I-Code 80x130 mm	1.130	870	560
¹ Die Antenne befindet sich zwischen Holz und Stirngatter			
² Das Stirngatter befindet sich zwischen Holz und Antenne			

Im direkten Vergleich der beiden getesteten Antennen sind trotz der unterschiedlichen Abmessungen und Geometrien kaum Leistungsunterschiede zu erkennen. Die Metallstreben des Stirngatters sind der wesentliche Einflussfaktor auf die erzielbare Lese-reichweite, weshalb diese nur marginal durch Abweichungen bei der Bauform der Antenne beeinflusst werden kann.

Neben den HF-Systemen im 13,56 MHz-Bereich wurden auch LF-Antennen und Transponder im Frequenzspektrum um 125 kHz getestet. Ziel war vor allem der direkte Vergleich zwischen beiden Frequenzen, um deren jeweilige Eignung für die späteren Praxisversuche und die weiteren Entwicklungen zu überprüfen. In Tabelle 6 sowie in Tabelle 7 sind die gemessenen Reichweiten analog zu den bisherigen Ergebnissen dargestellt.

Tabelle 6: Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (125 kHz, 210x210 mm)

Antennentyp: SAT-A4-LR-P 125 kHz 210 x 210 mm			
Transpondertyp	Reichweite in mm		
	Ohne Metalluntergrund	Innen ¹ (abgestimmt)	Außen ² (abgestimmt)
Glaskapsel 3x12 mm	170	130	70
Nagel 3x30 mm	170	160	100
Coin Ø 20 mm	230	200	120
Coin Ø 30 mm	280	200	120
Coin Ø 50 mm	400	360	230
Karte 54x85 mm	440	380	240
¹ Die Antenne befindet sich zwischen Holz und Stirngatter			
² Das Stirngatter befindet sich zwischen Holz und Antenne			

Tabelle 7: Messergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (125 kHz, 500x800 mm)

Antennentyp: SAT-A6-P(o) 125 kHz 500 x 800 mm			
Transpondertyp	Reichweite in mm		
	Ohne Metalluntergrund	Innen ¹ (abgestimmt)	Außen ² (abgestimmt)
Glaskapsel 3x12 mm	120	Nicht möglich	Nicht möglich
Nagel 3x30 mm	210	Nicht möglich	Nicht möglich
Coin Ø 20 mm	320	Nicht möglich	Nicht möglich
Coin Ø 30 mm	230	Nicht möglich	Nicht möglich
Coin Ø 50 mm	730	80	Nicht möglich
Karte 54x85 mm	800	140	Nicht möglich
¹ Die Antenne befindet sich zwischen Holz und Stirngatter			
² Das Stirngatter befindet sich zwischen Holz und Antenne			

Als offensichtliches Resultat der Messungen ist festzuhalten, dass der niedrigfrequente Bereich um 125 kHz für die definierten Anforderungen im Hinblick auf den Einsatz auf einem Forwarder nicht geeignet ist, da die in diesem Zusammenhang zu erzielende Lesedistanz von mindestens 50 cm mit dieser Technologie nicht einmal annähernd er-

reicht wird – zum Teil sind die Transponder aufgrund des Metalleinflusses überhaupt nicht mehr auslesbar, wie die oben dargestellten Ergebnisse verdeutlichen. Diese Erkenntnis korrespondiert mit der Entscheidung, HF-Karten durch den Harvester applizieren zu lassen.

Anders als bei der motormanuellen Holzerntekette ist es allein schon aufgrund der hohen mit einer einzigen Ladung zu transportierenden Anzahl an Stämmen erforderlich, diese durch auf dem Fahrzeug fest installierte Antennen zu erfassen. Da es sich um Kurzholz handelt, können je nach Durchmesser bis zu mehrere Dutzend Stämme zugleich an die Waldstraße gerückt werden, während im Langholzbereich der motormanuellen Variante i.d.R. lediglich zwei bis vier Stämme abtransportiert werden.

Auf der Basis der Anforderungen in diesem Prozess (vgl. Kapitel 4.1.1.2, Seite 55) wurde daher eine Antennenbauform entwickelt, welche durch das verwendete, sehr robuste Material auch den Aufprall eines Baumstamms während des Verladevorgangs übersteht. Im Hinblick auf eine Stringenz im Hinblick auf die zuvor ermittelten Testergebnisse wurde eine HF-Antenne gewählt, damit die durch das Applikationsgerät befestigten HF-Karten erkannt werden konnten. Darüber hinaus wurde sie so konstruiert, dass sie relativ flexibel an verschiedenen Stellen der hochmechanisierten Holzerntekette zum Einsatz kommen konnte und so weitere Spezialentwicklungen überflüssig machte.

Ergänzt wurden die beschriebenen Versuche durch weitergehende Untersuchungen – insbesondere im Hinblick auf Rückung und Transport – an der TU München [13]. Dabei konnten bei stirnseitiger Applikation der Transponderkarten je nach Anwendungsfall immerhin Lesereichweiten von 50 cm bis zu ca. 100 cm realisiert werden, so dass eine relativ sichere Auslesung der Transponder während der Versuche möglich war. Eine seitliche Anbringung der HF-Karten hingegen verringerte die erzielbare Lesereichweite erheblich, was unter anderem mit der im Vergleich zur stirnseitigen Applikation deutlich schlechteren Ausrichtung der Transponderantenne zur Antenne des Lesegerätes zusammenhängt. Darüber hinaus konnte verifiziert werden, dass durch die Verwendung von Transpondern kein zusätzlicher Zeitaufwand für das Erkennen der Abschnitte erforderlich ist, da dieser Vorgang problemlos in den bestehenden Arbeitsablauf integriert werden kann.

4.1.6 Einsatz von UHF-Transpondern

Im Rahmen der in Kapitel 1.2 (Seite 7) erläuterten Arbeitsteilung wurde der Einsatz von UHF-Transpondern an der TU München getestet [14]. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere sogenannte "OnMetal"-Tags geeignet sind, da diese bereits auf einen bekannten Untergrund (integriert im Gehäuse) abgestimmt und damit unempfindlich gegen Verstimmungen durch andere Untergründe sind. Die Versuche haben gezeigt, dass aufgrund der im Vergleich zu LF und HF deutlich verbesserten Reichweite eine

Pulkerfassung der Stämme insbesondere am Wareneingang des Sägewerks ermöglicht wird, so dass dort aufwendige manuelle Kontrollen entfallen können. Problematisch sind die Transponder allerdings aufgrund ihrer konstruktiven Ausführung, da sie üblicherweise mittels Nägeln oder Schrauben befestigt werden. Eine derartige Applikation am Rundholz sichert zwar den Transponder hinreichend, führt jedoch zu erhöhtem Aufwand beim Entfernen im Sägewerk. Aus diesem Grund wurde zum Teil in internationalen Forschungsvorhaben [52] bereits damit begonnen, UHF-Transponder aus Spezialmaterialien herzustellen, die für die Unternehmen, die Sägerestholz verarbeiten, unkritisch sind.

4.2 Teil 2: Prozesse im Sägewerk

4.2.1 Anforderungsbeschreibung

Wie in Kapitel 3.2.11 ab Seite 51 dargestellt wurde, existieren bislang keinerlei definierte Identifikations- und Applikationspunkte für Kennzeichnungen nach dem Wareneingang. Die folgende Abbildung 59 baut auf der bereits gezeigten Abbildung 37 (Seite 52) auf und verdeutlicht die Stellen, an denen Auslesung und Neukennzeichnung im Hinblick auf einen durchgängigen Informationsfluss erforderlich sind.

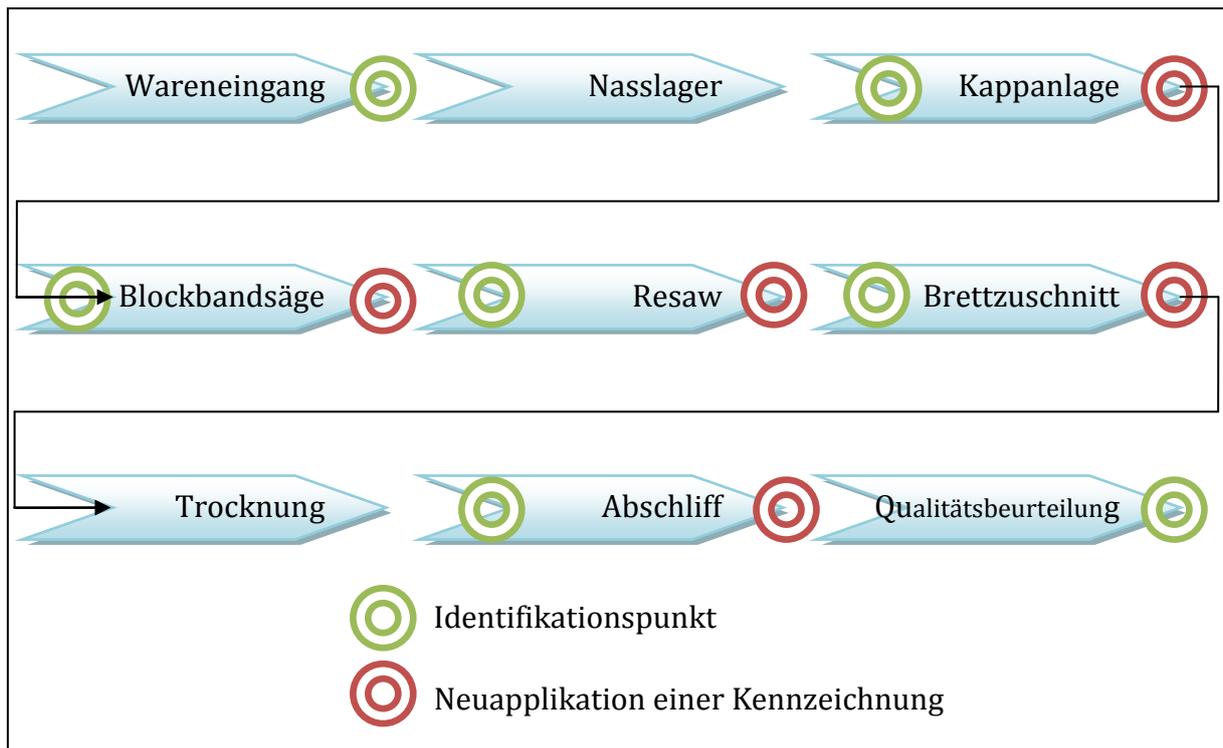


Abbildung 59: Geplante Prozessabfolge im Sägewerk mit Identifikationspunkten
Quelle: Eigenerstellung

Insgesamt ergeben sich fünf Stellen in der Prozessfolge, an denen eine Neuapplikation der Kennzeichnung aufgrund prozessbedingter Umstände erforderlich wird. An insgesamt sieben Stellen werden die Informationen ausgelesen – am Wareneingang und nach der Qualitätsbeurteilung lediglich zur Erfassung der Daten und Speicherung in der Datenbank, an allen anderen Punkten mit dem Ziel der Datensicherung vor der Ergänzung um weitere Informationen und Neukennzeichnung. Die Grafik ist von links oben nach rechts unten zu lesen: Zunächst werden die Stämme beim Wareneingang erfasst und gelangen dann (ggf. nach einer Zwischenstation im Nasslager) zur Kappanlage, wo die Stämme erst erfasst und nach dem Zuschnitt erneut gekennzeichnet werden. Die Blockbandsäge bereitet die Abschnitte für die Brettsäge (Resaw) vor. An beiden Stationen werden nach der anfänglichen Erfassung der Kennzeichnungen diese prozessbedingt entfernt oder zerstört, weshalb eine Neukennzeichnung nach jedem Prozessdurchlauf

erforderlich ist. Der Abschleiff entfernt jede Codierung auf den Brettern, d.h. auch an dieser Stelle müssen sie zunächst ausgelesen und anschließend erneuert werden. Nach der Qualitätsbeurteilung (Grading) erfolgt ein letztmaliges Auslesen zur internen Verbuchung.

4.2.1.1 Anlieferung / Wareneingang

Eine Kennzeichnung der einzelnen Stämme mit Transpondern vereinfacht den Kontrollvorgang erheblich und ermöglicht unter den notwendigen technischen Voraussetzungen eine Erfassung der Baumstämme bereits während der Einfahrt auf das Werksgelände. Auf diese Weise können im Idealfall 100% der Lieferungen kontrolliert werden, ohne den Wareneingang zu verzögern. Dies wird z. B. durch den Einsatz von Transpondern ermöglicht, die jeweils an den Stämmen bereits im Wald angebracht wurden und bei der Durchfahrt des Werkseingangstores durch fest installierte Antennen erfasst werden. An dieser Stelle ist die Möglichkeit der Pulkerfassung, also der Identifikation mehrerer oder im Idealfall aller Stämme auf einem LKW, entscheidend für einen zügigen und unproblematischen Prozessablauf, so dass die Möglichkeit geschaffen wird, die erforderliche Zeitspanne für eine vollständige Kontrolle größtmöglich zu verkürzen.

4.2.1.2 Nasslager

Werden die Stämme nicht direkt verarbeitet, sondern im Nasslager zwischengelagert, besteht die Anforderung, dass am Holz angebrachte Kennzeichnungen diese Phase schadlos überstehen, d. h. sie müssen auf rigide Witterungseinflüsse (Eis, Schnee, Dauernässe) ausgelegt sein. Dabei ist zu beachten, dass sich die Schnittfläche der Stämme durch die genannten Bedingungen sehr dunkel bis schwarz verfärbt und später als ansonsten unbrauchbarer sogenannter Kappschnitt im Restholz verwertet wird.

4.2.1.3 Kappanlage und Entrindung

Nach bzw. während der Erzeugung eines Abschnittes muss dieser neu markiert werden, damit die Informationskette nicht unterbrochen wird – zum Beispiel kann durch ein Direktdruckverfahren eine Abschnittsnummer appliziert werden. Wurde jeder Baumstamm – wie in Kapitel 4.1 ab Seite 53 beschrieben – mit einem Transponder gekennzeichnet, muss die zuvor ausgelesene Information, i.d.R. eine Identifikationsnummer in einem bestimmten Format (z. B. 96-Bit EPC), mit der Nummer des Abschnittes informationstechnisch in einer Datenbank verknüpft werden, so dass die Rückverfolgbarkeit an dieser Stelle abgesichert wird. Da diese Markierung nur bis zur unmittelbar folgenden Blockbandsäge halten muss, kann sie sehr einfach aufgebaut sein und die Markierungstechnologie bspw. in das Schwert (vgl. Abbildung 21, S. 36) integriert werden. Eine weitere mögliche Kennzeichnungsstelle ist der nachgelagerte Begutachtungsquerförderer (vgl. Abbildung 22, S. 37), auf dem die Abschnitte durch einen Mitarbeiter beurteilt und mittels einem Farbstrich so gekennzeichnet werden, dass die folgende Blockbandsäge

ein möglichst optimales Resultat erzielen kann. Durch die intern bereits vorhandene Datenspeicherung ist eine sichere Zuordnung zum ursprünglichen Stamm möglich.

Die konkrete Art der Markierung, insbesondere im Hinblick auf die Wahl der Symbologie und Tinte, stellt eine große Herausforderung dar und muss intensiv untersucht werden, um eine spätere automatische Auslesbarkeit sicherstellen zu können. Neben dem erforderlichen Kontrast spielt auch der Applikationsuntergrund eine große Rolle, da die Markierung auf der Schnittfläche orthogonal zu den Holzfasern aufgebracht wird und damit eine starke Kapillarwirkung verbunden mit einem Konturenverlust der Markierung zu erwarten ist. Zudem ist die Oberfläche uneben und ggf. mit Rissen durchzogen, so dass insgesamt nur ein großflächiger Code verwendet werden kann, der im Bedarfsfall von einem Mitarbeiter bei der Auslesung per Hand eingegeben wird, sollte die automatische Auslesung nicht funktioniert haben.

Im Ergebnis sollen nach diesem Schritt Rundholz-Abschnitte mit definierter Länge zur Verfügung stehen, die jeweils so markiert sind, dass sie dem ursprünglichen Baumstamm zugeordnet werden können. Die Abschnitte durchlaufen anschließend den Entrindungsprozess, jedoch hat dieser aufgrund der stirnseitig angebrachten Markierungen keinerlei Relevanz. Auch die zur Entrindung genutzten Iris-Messer sind unkritisch, da die Abschnitte in einem Umlaufsystem um die Kappanlage herum transportiert werden und somit ihre Ausrichtung stets behalten. Die Entrindungseinheit ist so angebracht, dass die Abschnitte mit der Seite auf die Iris-Messer treffen, die nicht gekennzeichnet wurde. Durch die Verwendung einer Entrindungsanlage, die nicht auf Kontakt, sondern durch Sensoren gesteuert die Iris-Messer öffnet, kann die Beschädigung einer stirnseitig applizierten Kennzeichnung vollständig vermieden werden.

Die folgende Abbildung 60 zeigt als Modifikation von Abbildung 23 (Seite 38) einen möglichen Prozessablauf unter Berücksichtigung der skizzierten Anforderungen. Der eintreffende Baumstamm sollte bereits vor dem Metalldetektor erfasst werden. Dieser ist ggf. so zu modifizieren, dass er nicht jeden Baumstamm mit RFID-Tag als kontaminiert betrachtet, sondern zwischen Metalleinschlüssen und Transpondern unterscheiden kann. Nach dem Kappschnitt kann der Transponder ggf. einem Kreislaufsystem zugeführt, ansonsten der Entsorgung zugeführt werden. Auf die entstehenden Stirnflächen ist nach dem Zerteilen des Stammes in Abschnitte die aus dem Transponder gelesene Identifikation neu zu applizieren, um den Informationsfluss fortsetzen zu können. Die mögliche Art der Applikation ist im Speziellen zu untersuchen, um ein möglichst optimales Ergebnis zu erzielen.

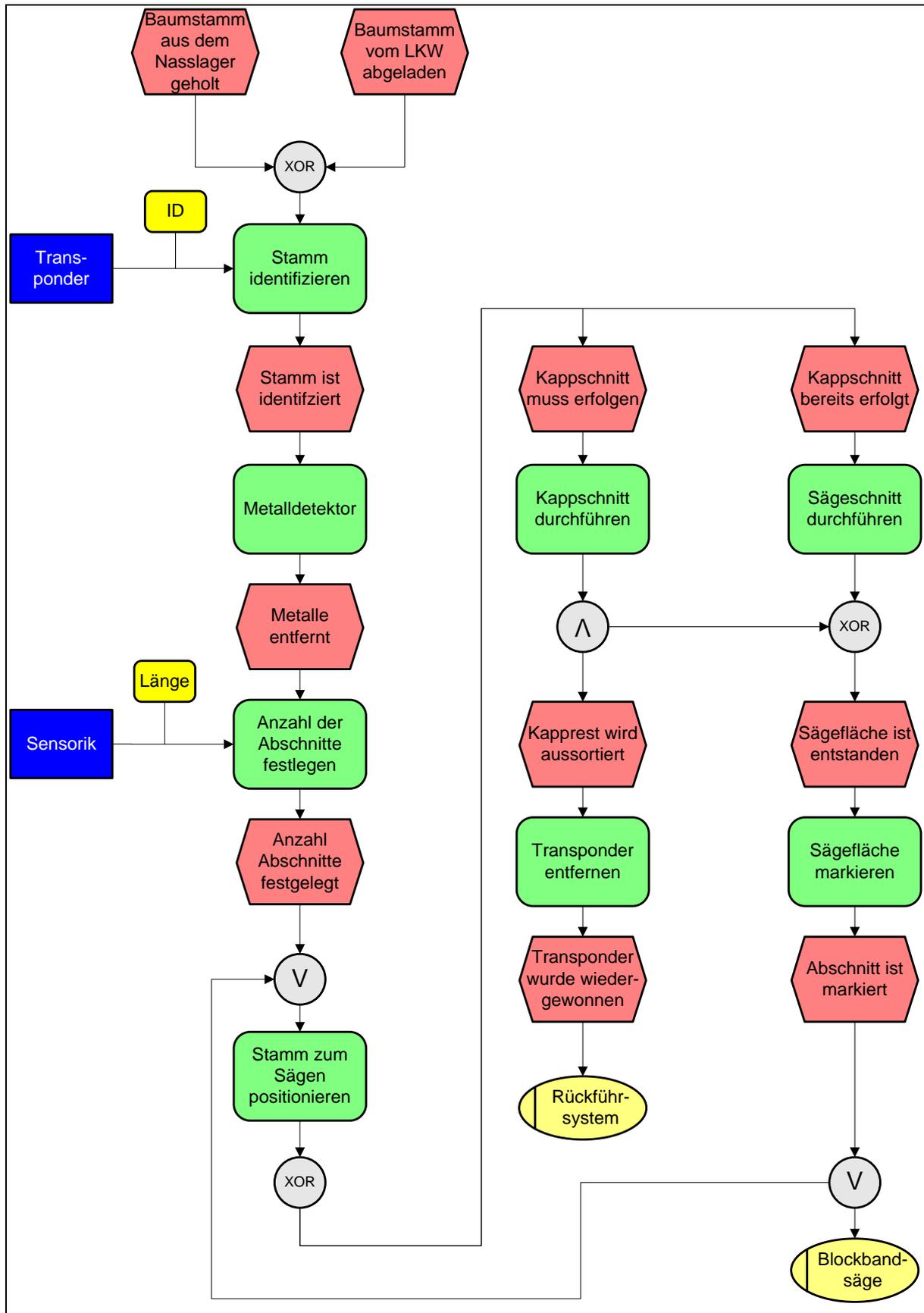


Abbildung 60: EPK der Kappanlage basierend auf den Anforderungen
Quelle: Eigenerstellung

4.2.1.4 Blockbandsäge

Aufgrund des Einspannens zwischen den Pinolen wird eine an der Stirnseite des Abschnitts befindliche, an der vorgelagerten Kappanlage aufgebrauchte Kennzeichnung voraussichtlich in der überwiegenden Zahl der Fälle zerstört, da die Pinole den Abschnitt nicht nur durch Anpressdruck fixiert, sondern auch mit Widerhaken in das Holz eindringt und damit die Oberflächenstruktur beeinflusst. Es muss daher sichergestellt werden, dass die stirnseitig markierten Abschnitte bereits vor dem Einspannen identifiziert werden, was wiederum impliziert, dass diese so auf der Quarförderung ausgerichtet sind, dass der Maschinenführer den Code notfalls manuell ablesen kann, sofern es sich z. B. um einen OCR-Code handelt. Da die Zuführung zur Blockbandsäge nicht kontinuierlich, sondern in Intervallen arbeitet, kommen die Abschnitte ausreichend lang zur Ruhe, um einen applizierten Code manuell sowie automatisiert auslesen zu können.

Sobald die Sägeflächen entstanden sind, müssen diese markiert werden, um die Informationskette nicht zu unterbrechen. Dies ist vor allem mit Blick auf die Möglichkeit, dass einzelne Model in einem Puffer zwischengelagert werden und damit die Reihenfolge der Abschnitte bzw. Stämme verschoben wird, sinnvoll. Als Ergebnis sind im Idealfall alle vier Seiten des fertigen Models bereits markiert, so dass später an der Resaw eine eindeutige Identifikation unabhängig von der Lage des Models möglich ist. Dabei ist es nicht unbedingt erforderlich, die Markierung exakt parallel zur späteren Längsachse des Bretts auszurichten, da die Ausleseelektronik dies softwareseitig korrigieren kann. Die Markierung selbst sollte auf einem internen Nummernkreis basieren, um die Codegröße so gering wie möglich zu halten und damit über die Einsparung von Druckkosten die Markierung möglichst kostengünstig zu gestalten.

Im Hinblick auf die Kennzeichnungstechnologie ist zu beachten, dass sich der Abschnitt während des Sägevorgangs ständig in Bewegung befindet, d. h. der Applikationsmechanismus ist entweder fest positioniert und drückt auf die vorbeifahrende Oberfläche, oder der Druckkopf ist ebenfalls beweglich und der Bewegung der Sägemaschine angepasst, z.B. um ansonsten zu hohe Bewegungsgeschwindigkeiten auszugleichen. Der konkrete Aufbau ist jedoch abhängig von der gewählten Applikationsmethode und -technik.

Trifft ein neuer Abschnitt an der Anlage ein, muss er zunächst identifiziert werden. Sobald dann die Schwarten entfernt wurden und das sogenannte „Opening Face“, also die spätere Oberfläche des ersten Bretts aus diesem Abschnitt, sichtbar ist, muss diese Fläche markiert werden. Bereits an dieser Stelle des Gesamtprozesses kann es vorkommen, dass die Blockbandsäge die nachgelagerten Sägen unterstützt und auch einzelne Bretter zuschneidet. In diesem Fall muss die Markierung auf den Seiten nach dem Sägevorgang erneut aufgebracht werden. Das fertige Model wird anschließend an die Resaw weitergeleitet.

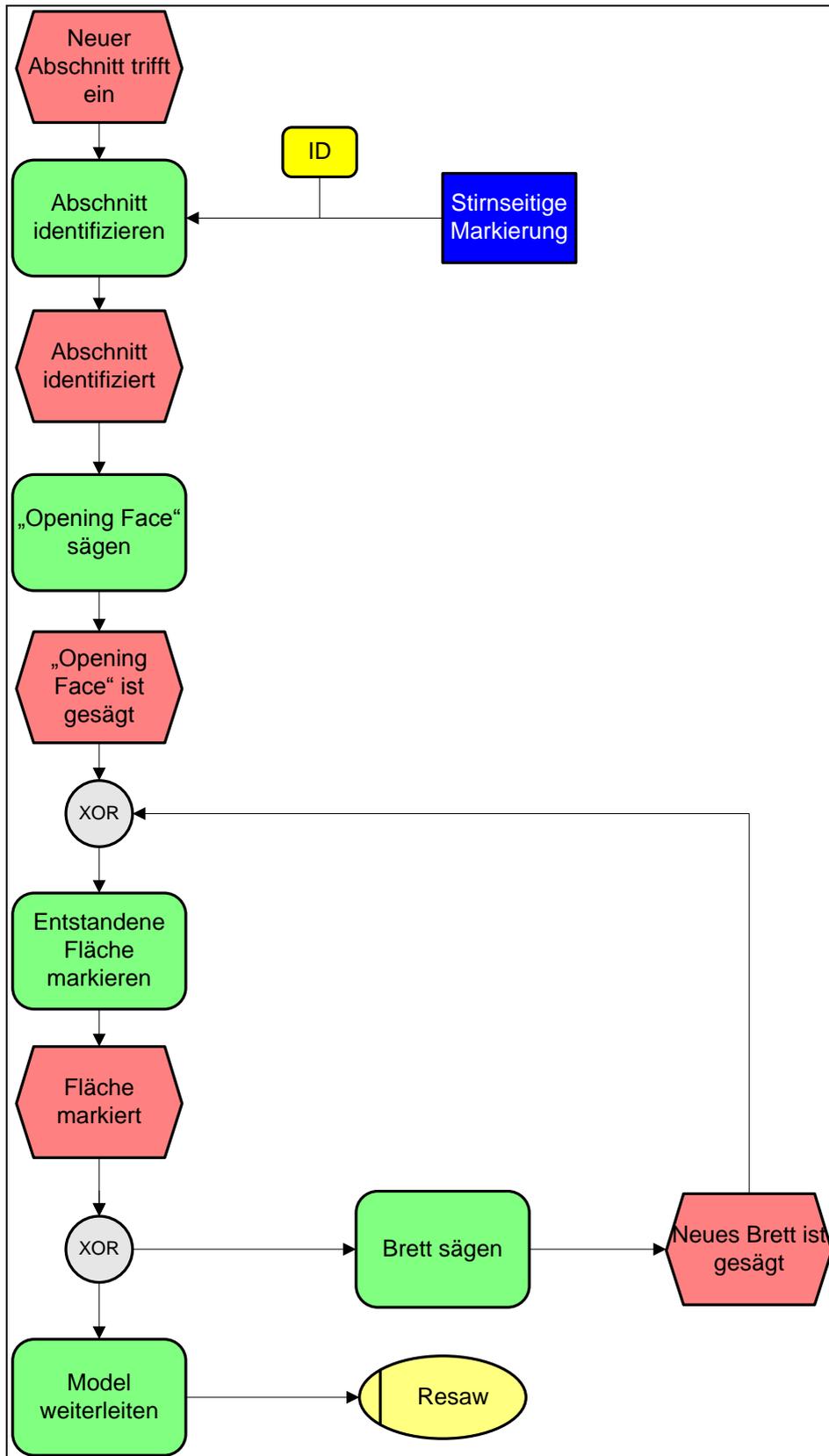


Abbildung 61: EPK der Blockbandsäge basierend auf den Anforderungen
Quelle: Eigenerstellung

Abbildung 61 zeigt die EPK des Prozesses, die bereits in Abbildung 27 (S. 42) gezeigt wurde, ergänzt um den Identifikations- und Kennzeichnungsteil. Vor allem wenn die

Blockbandsäge zur Unterstützung der nachfolgenden Sägen selbst Bretter erzeugt, spielt der Kennzeichnungsprozess an dieser Stelle eine wichtige Rolle, da auch diese mit einer Markierung versehen werden müssen, soll der Informationsfluss nicht lückenhaft sein.

4.2.1.5 Resaw

Wie bereits in Kapitel 3.2.5 auf Seite 42 beschrieben wurde, werden die Model zu Beginn des Prozesses aus Sicht des Maschinenführers rechtsbündig ausgerichtet, so dass sie an der Führungsschiene entlanglaufen. Dies kann dazu genutzt werden, das jeweilige, von vier Seiten gekennzeichnete Model auf einer Seite zu identifizieren und auf einer anderen, frisch gesägten Seite neu zu markieren, wenn das Model nicht von der Blockbandsäge kommt, sondern nach einem Sägeschnitt wieder dem Resaw-Kreislauf zugeführt wurde.

Sofern die Model noch Waldkanten aufweisen bzw. eher rechteckige als quadratische Abmessungen haben, neigen sie nach dem Sägevorgang bedingt durch das Umsetzen auf den Querrörderer dazu, um 90° in die neue Förderrichtung zu kippen. Im Hinblick auf die vierseitig anzubringenden Markierungen bedeutet dies, dass das Kippen durch technische Maßnahmen zwingend verhindert werden muss, damit die kennzeichnungsfreie Seite später korrekt ausgerichtet ist und somit neu markiert werden kann.

Bei der Auslesung und Markierung ist zu berücksichtigen, dass die Model ihre geometrischen Abmessungen mit jedem Sägeschnitt verändern und insgesamt im Durchmesser stetig abnehmen. Zudem sind die Model von vornherein nicht identisch, sondern aufgrund des Charakters eines Naturproduktes im Gegenteil stets unterschiedlich. Dies bedeutet, dass bspw. die Entfernung der zu lesenden Codes zur Erfassungselektronik von Model zu Model stark schwanken kann, sofern keine definierte Ausrichtung erreicht werden kann. Das gleiche gilt für die Neuapplikation von Kennzeichnungen.

Die Fördergeschwindigkeit der Anlage beträgt auf bestimmten Teilstücken nach Angaben des Herstellers maximal 100 Meter pro Minute. Darüber hinaus erzeugt die Maschine sehr starke, stochastische Vibrationen, die sowohl für die Applikations- als auch für die Lesetechnik schädlich sein können. Vor allem wenn Model mit sehr großem Durchmesser gehandhabt werden, sind die Schocks und Vibrationen extrem stark – es liegen allerdings keine konkret bezifferbaren Nennwerte für die Amplitudenstärke vor.

Darüber hinaus ist ein wichtiger Faktor, dass der horizontale Abstand zwischen Lesegerät und Applikator nicht zu groß ist. Unter Beachtung der Fördergeschwindigkeit ist es daher entscheidend, die ausgelesene Information des Models sehr schnell zu verarbeiten und an den Applikator weiterzuleiten, damit dieser die korrekten Markierungen auf das Model applizieren kann. Die Applizierung wiederum erfordert den Rückgriff auf Messdaten der Maschine, da die prozessbedingt erforderliche mittige Applikation nur dann erfolgen kann, wenn insbesondere die vertikale Mittelposition feststeht. Diese ist jedoch

unter anderem davon abhängig, ob noch eine Waldkante existiert oder ob die Brettfläche bereits die gesamte Fläche des Modells einnimmt. Dies bedeutet, dass im Falle des Direktdrucks der Druckkopf zur Markierung der Modelle zumindest vertikal verfahrbar sein muss.

Eine technisch aufwendige mittige Positionierung kann dann entfallen, wenn ein Code gewählt wird, der über die gesamte Brettbreite appliziert wird (z. B. Barcode), da in diesem Fall spätere Besäumungs- und Trimmvorgänge keinen Einfluss auf die Lesbarkeit des Codes haben. Eine weitere denkbare Alternative besteht in der Mehrfachapplikation von Codes. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die verwendeten Kettenförderanlagen auch dann weiterlaufen, wenn die Modelle auf ihnen an einer bestimmten Position angehalten werden. Dadurch verursachen sie Abriebeffekte und Verfärbungen durch eingeriebenes Kettenöl, so dass applizierte Codes möglicherweise nicht mehr den vollen Kontrast bieten. Die Verwendung einer fluoreszierenden Tinte könnte diesen Nachteil aufheben.

Die folgende Abbildung 62 zeigt im Kontrast zu Abbildung 29 (S. 44), wie der Identifikations- und Kennzeichnungsprozess an dieser Stelle integriert werden kann. Nachdem das Modell identifiziert wurde, muss entschieden werden, ob eine Neuapplikation erforderlich ist – kommt das Modell frisch von der Blockbandsäge, sind bereits alle Seiten markiert und eine erneute Applikation würde möglicherweise den vorhandenen Code unlesbar machen. Alle weiteren Prozessschritte sind identisch zum bisher geschilderten Ablauf.

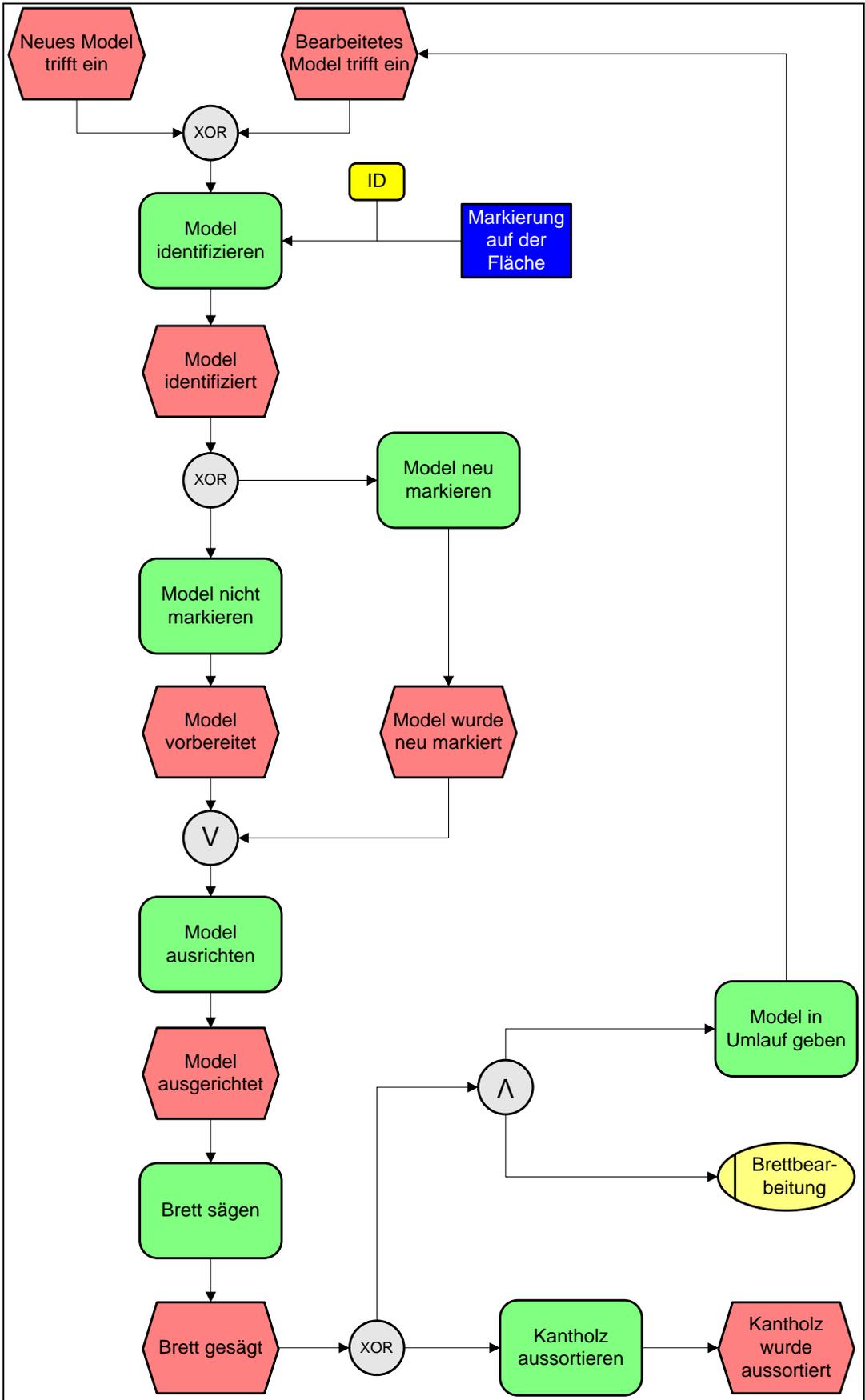


Abbildung 62: EPK der Resaw basierend auf den Anforderungen
Quelle: Eigenerstellung

4.2.1.6 Brettzuschnitt

Der Umstand, dass die Rohbretter zum Teil umfangreicher Nachbearbeitung im Sinne von Breiten- und Längenänderung unterzogen werden müssen und sich damit ihre Geometrie wesentlich ändern kann, sind die Möglichkeiten für eine Kennzeichnung limitiert.

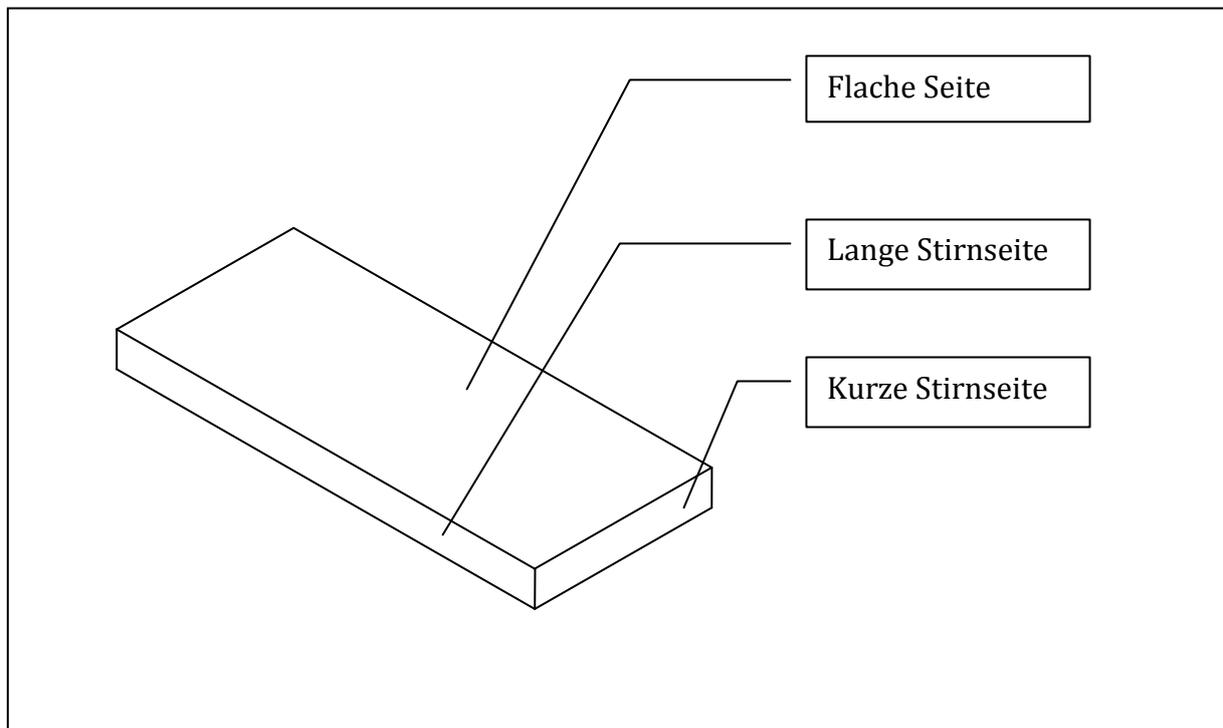


Abbildung 63: Referenzbegriffe für Applikationspositionen am Brett
Quelle: Eigenerstellung

In Abbildung 63 sind Begriffe definiert, um die folgenden Aussagen gezielt referenzieren zu können. Eine Kennzeichnung auf der kurzen Stirnseite wird heutzutage bereits genutzt (vgl. Kapitel 2.3.1, S. 11), jedoch macht dieses Verfahren an dieser Stelle keinen Sinn, da insbesondere durch das Trimmen die Länge verändert und damit ein dort befindlicher Code zerstört wird. Eine Kennzeichnung auf der langen Stirnseite ist aus den gleichen Gründen nachteilig, weshalb allein eine Applikation auf der flachen Seite verbleibt.

Bei dieser Methode ist jedoch zu berücksichtigen, dass Längsspaltungen der Bretter erfolgen, so dass ein einzelner Code entweder zerstört oder nur noch auf einem Teilstück erhalten wird. Somit muss die Kennzeichnung so appliziert werden, dass sie unabhängig von späteren Teilungsvorgängen auf allen Bereichen erkennbar ist. Dies kann entweder erfolgen, indem ein einzelner Code über die gesamte Brettbreite appliziert wird, oder indem mehrere Codes über die Fläche verteilt appliziert werden.

4.2.1.7 Trocknung

Aufgrund des in Kapitel 3.2.7 (S. 48) beschriebenen Vorgangs sind Klebeetiketten möglicherweise keine Alternative zum Direktdruckverfahren, da diese sich – sofern kein teurer Spezialklebstoff verwendet wird – während der Dämpfung ablösen würden. Dies wurde bereits im Rahmen von entsprechenden Experimenten nachgewiesen[53]. Darüber hinaus ist für Markierungen im Direktdruckverfahren zu beachten, dass die Aluminiumprofile durch Reibung und Druck ebenfalls das Holz und damit auch einen dort applizierten Code beeinflussen können.

4.2.1.8 Abschleiff

Im Hinblick auf die vorgelagerten Prozessschritte ist an dieser Stelle zu beachten, dass durch das Schleifen jegliche Kennzeichnungen unabhängig von der Applikationsart auf der Brettfläche verloren gehen. Aufgeklebte Etiketten sind daher neben der zu erwartenden erhöhten Abnutzung der Schleifbänder auch aus diesem Grund wenig empfehlenswert. Der Schleifvorgang selbst impliziert mehrere Schwierigkeiten:

Zunächst müssen vor dem Durchlaufen der Maschine alle Bretter identifiziert werden. Da – wie bereits erwähnt – bis zu zehn Bretter zugleich bearbeitet werden und diese aufgrund der vorherigen Markierungsvorgänge an der Blockbandsäge und Resaw nur einseitig markiert sind, müssen Lesegeräte sowohl ober- als auch unterhalb der Förder-technik angebracht werden, um eine vollständige Auslesung sicherzustellen. Dabei ist insbesondere eine intensive Ausleuchtung wichtig, um eine ausreichende Kontraststärke bzw. bei fluoreszierender Tinte eine optimale Lesbarkeit zu erzeugen.

Schließlich ist es erforderlich, die Bretter nach dem Schleifen wieder neu zu kennzeichnen, sie also mit den gleichen Informationen zu versehen, die sie auch vor der Entfernung der Kennzeichnung hatten. Da ab dieser Stelle die Bretter für die Auslieferung vorbereitet werden, ist daher ein ggf. zuvor genutzter interner Nummernkreis voraussichtlich nicht mehr ausreichend. Auch die Art der Markierung im Sinne der Symbologie kann abweichen und sollte so gewählt werden, dass die Kunden die Informationen sicher dekodieren können. Da der Großteil der Kunden von Sägewerken die Bretter direkt weiterverarbeitet, wäre ein aufgeklebtes Etikett allerdings eher hinderlich, weshalb eine neue Direktkennzeichnung die größte Akzeptanz bei den Kunden finden dürfte.

Um eine sichere Applikation der Codes nach dem Schleifvorgang zu gewährleisten, ist eine standardisierte bzw. definierte Ausrichtung der einzelnen Bretter erforderlich. Dazu können sie zum Beispiel an einem gemeinsamen Anschlagpunkt fixiert und dann an einer definierten Stelle neu gekennzeichnet werden. Der Kennzeichnungsvorgang selbst kann entweder durch einen verfahrbaren Applikator erfolgen oder im Zuge des weiteren Transports durch einen fest installierten Applikator, den jedes Brett passieren muss. Auch an dieser Stelle wäre ein Streifencode über die gesamte Brettbreite wünschens-

wert, da so die Applikation technisch bedeutend einfacher zu realisieren ist, als wenn jedes Brett getrennt und gezielt gekennzeichnet werden muss. Die folgende Abbildung 64 zeigt die im Vergleich zu Abbildung 36 (S. 50) modifizierte EPK des Prozesses.

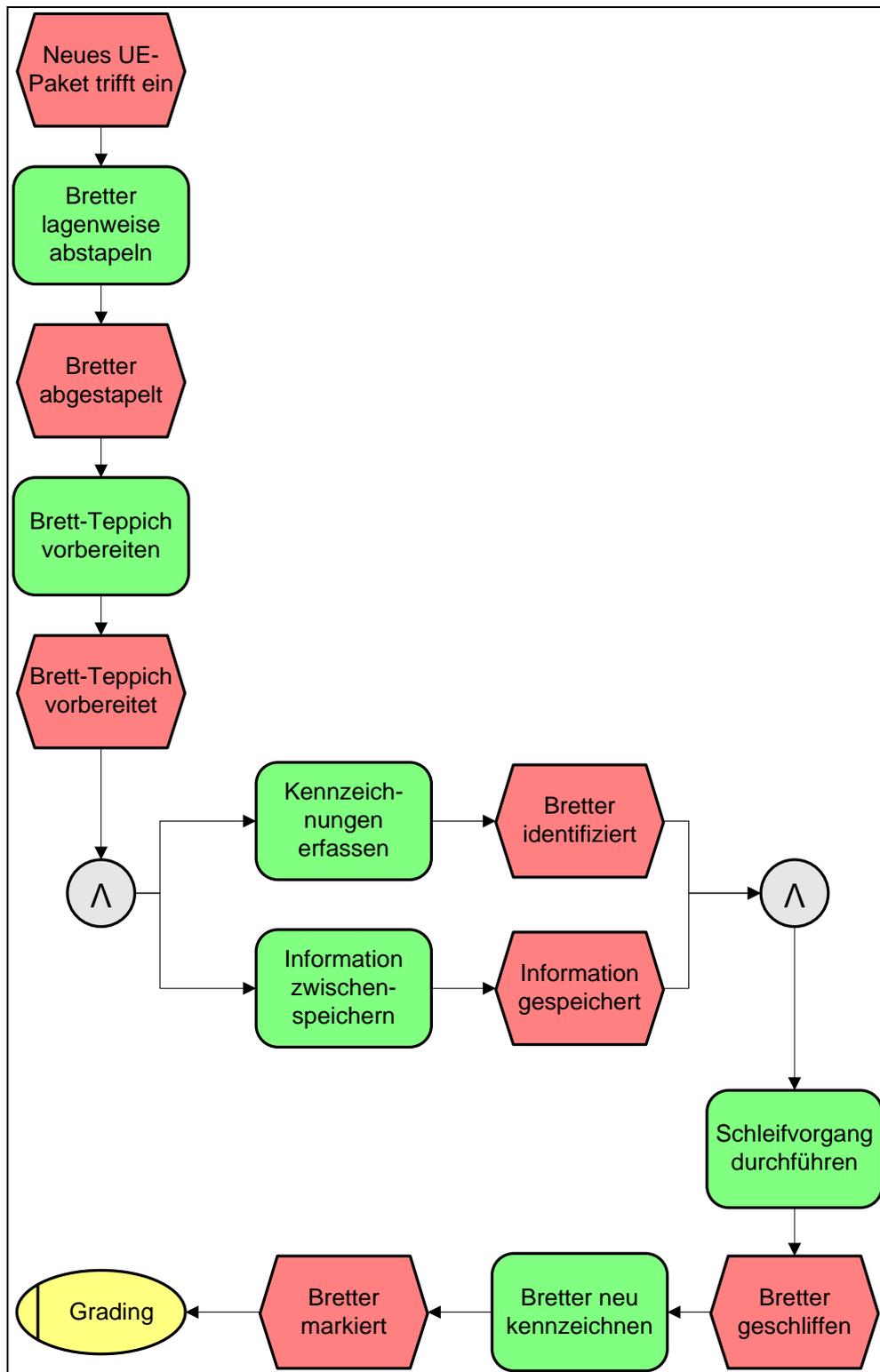


Abbildung 64: EPK des Schleifprozesses basierend auf den Anforderungen
Quelle: Eigenerstellung

4.2.1.9 Qualitätsbeurteilung

Dieser Arbeitsschritt konnte bisher nicht automatisiert werden, da es für die Bestimmung der Qualität eines Bretts keine technischen Möglichkeiten gab. Da jedoch an dieser Stelle planmäßig (wie zuvor beschrieben) jedes Brett bereits eine maschinell aufgebraute Kennzeichnung besitzen soll, kann zukünftig diese nach der Beurteilung durch den Grader um ein entsprechendes Merkmal ergänzt werden, das dann ebenfalls aufgedruckt werden kann. Nachdem die Qualität des Brettes feststeht, wird dieses als „Wareneingang“ verbucht und als im Bestand befindlich gemeldet. So ist der Verkauf zeitnah über die vorhandenen Mengen und Qualitäten informiert und kann ggf. bestimmte Abmessungen oder Qualitäten anfordern. Hierfür ist es jedoch zwingend notwendig, die Graderzeichen auf den Brettern automatisch zu erkennen und den Brett- bzw. Stammnummern in einer Datenbank zuzuordnen.

Auf diese Weise besitzt das einzelne Brett nach dem Durchlaufen aller Arbeitsschritte ein aufgebrautes Kennzeichen, das seine Herkunft bis zum Baum dokumentiert und dem Käufer darüber hinaus Aufschluss über die eingestufte Qualität gibt. Diese Kennzeichnung muss so gewählt und aufgebracht sein, dass sie von den Kunden sicher gelesen werden kann. Dies ist eine besondere Herausforderung, da die Dekodierung ab diesem Punkt aufgrund der Vielzahl der am Markt verfügbaren Systeme nicht mehr definiert werden kann. Damit die Kunden nicht auf Hochleistungsgeräte angewiesen sind, wenn Sie die Brettinformationen lesen wollen, ist daher besondere Sorgfalt auf die Auswahl der Symbologie und die Qualität der Aufbringung zu legen. Dies kann z. B. durch die Applizierung eines Klebeetiketts nach dem Grading geschehen, um einen ausreichenden Kontrast sowie eine einfache Entfernbarkeit sicherzustellen.

Der Nummernkreis ist nun wieder so zu wählen, dass er eindeutig ist und auch nach langer Zeit noch den Ursprungsdaten zugeordnet werden kann. Solange dazu keine Regelungen (z. B. durch Richtlinien oder Gesetze) existieren und damit keine Grenze bekannt ist, bis zu der die Daten gespeichert werden müssen, ist diese pragmatisch und auf der Basis praktischer Anforderungen unternehmensindividuell festzulegen. Eine Rückführung auf die Transpondernummer des ursprünglichen Baumstamms ist allerdings nicht sinnvoll, da diese idealerweise einem Kreislaufsystem unterliegen und damit ihre IDs fortlaufend neu verwendet werden, so dass jedem Baum bzw. Brett letztlich eine eigene Seriennummer aus einem ausreichend großen Nummernsystem zugeordnet werden muss.

4.2.1.10 Versand

An dieser Stelle ist die Kennzeichnung auf der flachen Seite der Bretter ein potenzieller Nachteil, da die Markierungen im Stapel nicht mehr gelesen werden können. Sollte dies in einem nachgelagerten Schritt bei einem Kunden erforderlich sein bzw. zu Effizienz-

steigerungen beitragen, so kann bspw. über eine gesonderte Chargenkennzeichnung der Informationsbedarf abgedeckt werden.

4.2.2 Technologieauswahl

4.2.2.1 Anwendbarkeit von RFID

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit eine Holzkennzeichnung im Sägewerk mit Transpondern technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Die Nutzung dieser Technologie hätte unter anderem den Vorteil, dass kein Medienbruch entsteht, wenn der Transponder vom Baumstamm entfernt wird und die einzelnen Abschnitte neu gekennzeichnet werden müssen. Die hohe Speicherkapazität ermöglicht es darüber hinaus, die bereits im Wald vergebene Kennzeichnung vollständig mitzuführen und so eine kontinuierliche Rückverfolgung zu ermöglichen.

Aus technischer Sicht ergibt sich dabei jedoch das grundsätzliche Problem der Applikation. Die Sägewerke stellen typischerweise Bretter in unterschiedlichen Stärken her, weshalb die Mindeststärke Maßstab für die maximalen Abmessungen des Transponders sein muss, soll er stirnseitig appliziert werden. Dies jedoch macht prozesstechnisch keinen Sinn, da die Rohbretter über Besäumung und Trimmung in ihren Abmessungen zum Teil auch mehrfach verändert werden und der Transponder jedes Mal erneut entfernt und wieder appliziert werden müsste (vgl. Kapitel 3.2.6, Seite 46).

Ein aufgeklebtes Transponderetikett ist als Alternative denkbar, weist jedoch insbesondere den Nachteil auf, dass sich bei der Applikation Holzfasern in die Elektronik drücken und diese damit unbrauchbar machen können, sofern es sich nicht um ein besonders robustes und damit kostenintensives Etikett handelt. Darüber hinaus ist ggf. eine Spezialentwicklung des Klebstoffs erforderlich, damit die Etiketten weder während der Brettbearbeitung noch beim Trocknungsvorgang verloren gehen – auch wenn „die Gegenwart [...] bestimmt [wird] durch Kleber für nahezu jeden Einsatzbereich“ [54]. Anderweitig befestigte Transponder, z. B. durch Verspreizen im Holz oder mittels Tackerklammern bzw. durch Anschrauben, sind von vornherein ausgeschlossen, da das Brett physisch nicht beeinträchtigt werden darf. Zudem kann die so bewirkte Konturveränderung des Bretts dazu führen, dass die Maschinentauglichkeit (z. B. Transport auf Ketten- oder Rollenförderern) nicht mehr gewährleistet ist.

Alle Faktoren zusammen führen zur der Schlussfolgerung, dass Transponder zur Kennzeichnung auf Abschnitts- und Brettebene im Sägewerk technisch grundsätzlich nicht geeignet sind. Aus wirtschaftlicher Sicht bleibt festzuhalten, dass die Kennzeichnung eines einzelnen Bretts Kosten von 0,01 € nicht überschreiten darf (vgl. dazu auch Kapitel 6 ab Seite 173), was letztlich dazu führt, dass die Transponder mehrfach verwendet werden müssten, da der Einkaufspreis weit über diesem Wert liegt, denn einfache und preisgünstige Klebeetiketten können den mechanischen Belastungen im Transportpro-

zess der Bretter nicht standhalten, so dass auf entsprechend robustere und damit teurere Bauformen zurückgegriffen werden müsste. Ein werksinternes Rückführsystem jedoch wäre konzeptionell übermäßig aufwendig und auch technisch nur schwer zu realisieren. Insofern scheiden Transponder zur Brett Kennzeichnung bereits im Vorfeld aus.

4.2.2.2 Überprüfung weiterer Kennzeichnungsverfahren

Basierend auf den in Kapitel 4.2.1 (Seite 85 ff.) beschriebenen Anforderungen wurden im Rahmen der Versuchsdurchführung alle weiteren denkbaren Technologien zur Kennzeichnung auf ihre Tauglichkeit hin überprüft. Die folgenden Tabellen stellen eine Übersicht der zur Bewertung angesetzten Kriterien sowie ihrer Ausprägungen zur Verfügung.

Tabelle 8: Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz (Teil 1)

Potenzielle Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz I												
Kriterium	Code	Barcode ¹	Datamatrix	Aztec-Code	OCR	Zufallspunkte	Farbklecke (Zufall)	Farbpunkte (gezielt)	Barcode mit Farbstrichen ¹	Proprietäre Farbbalken ¹	Mustererkennung	Markierung durch Stanzen
		Schlechtester Kontrast zum Untergrund	a	-	-	-	-	--	0	+		
b	++		++	++	++	+	+	++	++	++		
c	0		0	0	0	-	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Lesbarkeit ohne Hardware	a	-	--	--	++	--	--	--	-	0	--	-
	b	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
	c	-	--	--	++	--	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Softwarekosten ²	a	++	+	+	++	--	--	--	--	--	--	--
	b	-	-	-	-	--	--	--	--	--		
	c	++	+	+	++	--	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Betriebskosten ²	a	+	+	+	+	0	0	+	0	-	+	0
	b	0	0	0	0	-	-	-	--	--		
	c	-	-	-	-	-	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Lesbarkeit nach Trocknung ³	a	+	+	+	+	+	0	+	+	+	++	k. A.
	b	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0	+	+	+		
	c	+	+	+	+	+	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Nutzbarkeit vorhandener Hardware	a	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	--
	b	-	-	-	-	-	0	0	0	0		
	c	++	++	++	++	+	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Investitionskosten ²	a	0	0	0	0	0	0	-	--	--	-	--
	b	-	-	-	-	-	0	-	--	--		
	c	--	--	--	--	--	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		
Wartungskosten ²	a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	-
	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	c	0	0	0	0	0	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.		

a) Normale Tinte b) Fluoreszierende Tinte c) Laser-Markierung ++ sehr gut + gut 0 zufriedenstellend - schlecht -- sehr schlecht

¹ Über die gesamte Brettbreite quer zur Maserung gedruckt
² Auf Basis der Erkenntnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in Kapitel 6 ab Seite 173
³ Auf Basis der Resultate der Kapitel 4.2.2 ff. (S. 98 ff.)

Die aufgeführten Angaben zu fluoreszierender Tinte sind rein theoretischer Natur, da es am Markt keine verfügbaren Systeme gibt, die eine Dekodierung von Codes aus fluoreszierender Tinte ermöglichen. Es ist lediglich möglich, eine solche Tinte als „vorhanden“ zu erkennen, mithin eine „ja/nein“-Analyse durchzuführen. Denkbar ist, bei Einsatz von fluoreszierender Tinte ein Schwarzweiß-Bild zu nutzen, um so den Kontrast zu maximieren und von der tatsächlichen Farbgebung zu abstrahieren. In diesem Fall müsste zwar kein Detektor für die Fluoreszenz eingesetzt werden, jedoch würde im fotografischen Abbild der Code aufgrund der Leuchtkraft invertiert, d. h. sonst schwarze Balken erscheinen sehr hell, die sonst hellen Lücken erscheinen dunkel. Dies erfordert eine aufwendige Anpassung der Hard- und Software. Insofern soll diese Alternative aufgrund ihrer Vorteile insbesondere mit Blick auf die Kontrast-Unabhängigkeit zum Untergrund hier mit behandelt werden.

Tabelle 9: Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz (Teil 2)

Potenzielle Kennzeichnungsverfahren für Schnittholz II											
Code Kriterium	Barcode ¹	Datamatrix	Aztec-Code	OCR	Zufallspunkte	Farbleckse (Zufall)	Farbpunkte (gezielt)	Barcode mit Farbstrichen ¹	Proprietäre Farbbalken ¹	Mustererkennung	Markierung durch Stanzen
Minimale Codegröße	+	+	+	0	-	-	0	-	-	k. A.	--
Maximale Codegröße	+	+	+	+	++	++	+	++	++	k. A.	++
Minimale Speicherkapazität	+	+	+	+	+	+	+	+	+	k. A.	0
Maximale Speicherkapazität	+	++	++	0	0	0	0	+	0	k. A.	-
Skalierbarkeit	++	++	++	+	++	+	++	++	++	++	0
Robustheit gegen Konturverlauf	--	-	-	--	0	0	0	-	++	k. A.	k. A.
Robustheit gegen Teilverlust ²	++/--	+	+	--	--	--	-	++/--	++/--	--	--
Robustheit gegen Farbveränderung	0	0	0	0	--	--	-	-	-	k. A.	k. A.
Robustheit gegen Risse u. ä.	--	-	-	--	0	0	--	++	++	0	--
Summe „sehr gut“ (I + II)	7	5	5	7	2	1	2	5	6	1	1
++ sehr gut + gut 0 zufriedenstellend - schlecht -- sehr schlecht											
¹ Über die gesamte Brettbreite quer zur Maserung gedruckt											
² Bei Strichcodes: Teilverlust in Längsrichtung / Verlust eines oder mehrerer Balken											

Die Tabellen sind logisch in drei Spaltenbereiche unterteilt. Die linke Seite umfasst alle Markierungsformen, die mit normaler, einfarbiger Tinte aufgebracht werden können. Es folgen die Varianten mit mehrfarbiger Tinte sowie zwei Verfahren, die nicht mit einem

aufgedruckten Code arbeiten und daher auch keinen Tintenbedarf haben. Ihre Eigenschaftsbewertung erfolgt daher einheitlich je Kriterium und nicht separiert nach Farbtyp.

Neben der Verwendung klassischer Codes (wie z. B. Barcodes) ist im Holzbereich auch denkbar, die zu identifizierenden Teile mit einem zufälligen Tintenmuster zu besprühen. Zusammen mit der Holzstruktur ergibt diese Lösung theoretisch eine eindeutige Identifizierbarkeit. Zur Vermeidung von Kontrastproblemen können diese Zufallspunkte auch (mehr)farbig sowie – statt zufällig – auch gezielt im Sinne eines Musters aufgebracht werden. Durch das Ersetzen der freien Flächen eines Barcodes durch eine andere Farbe können auch dort Kontrastschwierigkeiten minimiert werden, während proprietäre Farbbalken, die über die gesamte Breite des Bretts appliziert werden, bei entsprechender Deckfähigkeit der Farben am robustesten gegen Kontrastprobleme und geometrische Veränderungen des Bretts sind.

Erstes Bewertungskriterium ist als sehr kritische Größe der im schlechtesten Fall erzielbare Kontrast zum Untergrund, denn davon hängt im Wesentlichen die Identifizierbarkeit in nachfolgenden Prozessschritten ab. Mit normaler Tinte ist voraussichtlich aufgrund der Holzeigenschaften (Verfärbungen, Risse etc.) sowie durch den Einfluss der im Sägewerk eingesetzten Fördertechnik (z. B. Abriebeffekte durch die Kettenförderer) nur schwer ein hinreichender Kontrast erzielbar, wohingegen mehrfarbige Codes Vorteile aufweisen. Favorit ist zunächst die fluoreszierende Tinte, da sie unabhängig vom Untergrund stets einen guten Kontrast liefert. Das Einbrennen der Codes mit Hilfe eines Lasers ist eine weitere Option, jedoch sind hier die Kontrastprobleme analog zum Tintencode zu sehen, sofern auf einen Farbumschlag und keine Gravur abgehoben wird. Die leicht bessere Bewertung resultiert aus der Tatsache, dass der Laser die Oberflächenstruktur verändert und damit auch auf schwierigen Untergründen potenziell einen besseren Kontrast erzielen kann. Ein Schwarzer Code auf dunkelbraunem Hintergrund ist jedoch auch hier kaum lesbar. Für zufallsbasierte Markierungen gab es generell einen Punkt Abzug, weil durch die zufällige Streuung der Punkte die Software nicht erkennen kann, ob wirklich alle erforderlichen Merkmale erkannt wurden. Anders ist es bei „normalen“ Codes, die eine definierte Anfangs- und Endcharakteristik aufweisen.

Eine visuelle Mustererkennung ist grundsätzlich unabhängig vom Kontrastverhältnis, jedoch kommen – speziell an der Kappanlage – durchaus auch große und sehr dunkle Flächen vor, die letztlich mangels erkennbarer Struktur auch nicht mehr als Identifikationsmerkmal dienen können. Wird ein Code eingestanzt, so ist stets ein bestimmter Lichteinfall nötig, um ihn erkennen zu können, und der erzielbare Kontrast geht im schlechtesten Fall gegen Null. Wie bereits zuvor dargestellt wurde, konnte zudem bereits in anderen Vorhaben nachgewiesen werden, dass das Einstanzen sowohl aus mechanischen Gründen als auch im Hinblick auf die erzielbare Informationsdichte bzw. Speicherkapazität für die Rückverfolgung von Holzprodukten nicht geeignet ist[55].

Zweiter Punkt ist die Lesbarkeit des Codes ohne Hardware, bspw. bei einem Systemausfall. Hier hat OCR den größten Vorteil, da die Zeichen jederzeit mit bloßem Auge identifizierbar sind, sofern die Tinte nicht fluoreszierend ist und damit wieder Hilfsmittel erforderlich sind bzw. sofern die Codes nicht zu stark verwischt oder ausgebleicht sind. Barcodes und proprietäre Farbbalken können immerhin noch durch Rückrechnen mit Hilfe der Zuordnungstabellen von Hand decodiert werden, jedoch ist dies eine sehr mühselige Aufgabe, die den Aufwand nur in den wenigsten Ausnahmefällen rechtfertigt. Ähnlich verhält es sich mit eingestanzten Kennzeichnungen.

Die Softwarekosten sind sehr stark abhängig vom eingesetzten Code. Während für die Codierung und Decodierung bereits am Markt eingesetzter Codes Standardsoftware herangezogen werden kann, sind für alle anderen Kennzeichnungen die Ansteuerungen und Berechnungsroutinen erst noch zu erstellen und damit im Verhältnis deutlich aufwendiger. Dies gilt jedoch genauso für den Einsatz fluoreszierender Tinte, da auch hierfür keine Dekodierlogik bekannt ist (siehe dazu auch die Erläuterungen weiter oben).

Der nächste wichtige Punkt bewertet die Betriebskosten im Sinne der Ausgaben für Tinte (Drucker) oder Strom (Laser). Dieser Faktor hängt stark von der verwendeten Codegröße und der Deckkraft ab, jedoch ist der Bedarf tendenziell geringer, je definierter ein Code ist bzw. je weniger Platz grundsätzlich benötigt wird. Ein OCR-Code benötigt z.B. mehr Platz als ein Datamatrix-Code für dieselben Informationen, jedoch nicht zwingend mehr Tinte. Zufallsbasierte Codes hingegen haben einen tendenziell höheren Tintenbedarf, während die Mustererkennung völlig ohne variable Kosten auskommt.

Aus technischer Sicht entscheidend ist, ob die applizierten Kennzeichnungen auch nach dem Trocknungsvorgang noch maschinell auslesbar sind. Der Dämpfungs- und Trocknungsprozess kann bis zu zwei Monate dauern und hat die Funktion, das Holz auf 7% Restfeuchte zu bringen und verkaufsfertig einzufärben. Diese natürliche Farbveränderung hat Einfluss auf den Kontrast aufgebracht Codes, während der Trocknungsprozess selbst die Farben des Codes ausbleichen kann. Bei farbigen Codes besteht daher die Gefahr, dass die ursprünglichen Farbwerte nicht erhalten bleiben und damit der Code anschließend nicht mehr identifizierbar ist.

Analog zur weiter oben in diesem Kapitel bereits besprochenen Software verhält es sich mit der Einsetzbarkeit vorhandener Hardware. Für proprietäre oder zufallsbasierte Codes sowie für den Fall fluoreszierender Tinte müssen entweder Geräte völlig neu entwickelt oder zumindest vorhandene Sensoren und Kameras stark angepasst werden – insbesondere im Hinblick auf die fluoreszierende Tinte existieren am Markt lediglich Systeme, die zwar eine ja/nein-Erfassung ermöglichen, nicht jedoch ganze Codes dekodieren können. Insofern ist es für dieses Kriterium immer am günstigsten, bereits im Einsatz befindliche Technologien zu nutzen und ggf. nur geringfügig anzupassen.

Die Investitionskosten beziehen sich auf die bei der erstmaligen Installation des Markierungssystems entstehenden Aufwendungen und umfassen dabei jeden Scanner und jeden Applikationsmechanismus an allen relevanten Stellen im Werk. Die einzelne Bewertung ist dabei jeweils relativ zu den anderen Technologien zu sehen, nicht jedoch absolut. Es ist dabei offensichtlich, dass bereits am Markt vorhandene Systeme ohne größere Anpassungen günstiger sind als stark anzupassende oder gar neu zu entwickelnde Mechanismen.

In Bezug auf die zu erwartenden Wartungskosten kann gesagt werden, dass sie grundsätzlich unabhängig von der genutzten Codesymbolik sind. Ausnahmen sind aus der Sache heraus die Verfahren Stanzen und Mustererkennung. Die Tintendüsen verstopfen aufgrund der rauen Umgebungsbedingungen (insbesondere Holzspäne und Staubentwicklung) schnell und müssen daher oft gereinigt werden, was in analoger Form auch für die Lasersysteme gilt.

Die Bewertungen über die minimale und maximale Codegröße beziehen sich auf den Informationsgehalt je Fläche. Barcodes oder insbesondere auch OCR-Kennzeichnungen dürfen eine gewisse Mindestgröße nicht unterschreiten, sollen sie noch auslesbar sein. Gestanzte Kennzeichnungen müssen ausreichend groß sein, um eine Erkennung durch Steuerung des Lichteinfalls zu ermöglichen. Analog sind die Angaben zur minimalen und maximalen Speicherkapazität zu verstehen.

Die Anforderung der Skalierbarkeit betrifft ein System dann, wenn sich die Einsatzbedingungen ändern und/oder der Anwendungsbereich erweitert werden soll. Wichtige Kriterien sind bspw. die Integrierbarkeit neuer bzw. zusätzlicher Hardwarekomponenten sowie die Hinzunahme weiterer Kennzeichnungs- bzw. Identifikationsstellen.

Bei Direktdruckverfahren ist es von entscheidender Bedeutung, dass der applizierte Code anschließend auch wieder auslesbar ist. Wichtigste Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Zeichen, Punkte oder Striche nicht zu stark verwischen, da ansonsten die softwareseitige Erkennung fehlschlagen kann. Die Robustheit gegen Konturenverlauf ist daher ein sehr wichtiges Kriterium und kann nur durch proprietäre Farbbalken erfüllt werden, da bei diesen allein die Reihenfolge der Farben entscheidend ist.

Teilverluste sind grundsätzlich für alle Codearten schädlich, die Informationen nicht redundant speichern. Daher weisen die Symboliken Datamatrix und Aztec an dieser Stelle große Vorteile auf. Jedoch muss weiter zwischen der konkreten Art der Beschädigung unterschieden werden: So ist es bspw. für einige Strichcodes unerheblich, wenn sie oben oder unten in der waagerechten gekürzt werden, da die Striche an sich und damit auch die Informationen erhalten bleiben. Fallen hingegen an der linken oder rechten Seite vertikale Teile des Codes weg, so ist er nicht mehr auslesbar. Daher wurden in der Ta-

belle für die Balkencodes jeweils zwei Bewertungen vorgenommen, um beide Aspekte zu berücksichtigen.

Farbveränderungen sind dann problematisch, wenn dies entweder bei einfarbigen Codes zu einem Ausbleichen führt und damit der notwendige Kontrast nicht mehr gegeben ist, oder sich bei mehrfarbigen Codes der Farbwert einzelner Farben so verändert, dass eine Zuordnung zu der ursprünglichen Farbe nicht mehr möglich ist und damit eine Fehlidentifikation erfolgt. Der oben genannte Punkt „Lesbarkeit nach Trocknung“ bezieht sich ebenfalls auf diese Tatsache und gibt in der Tabelle die Testergebnisse wieder.

Risse im Holz treten insbesondere auf der Brettebene recht häufig auf, so dass die Applikationsstelle eigentlich gut ausgesucht werden muss. Dies ist jedoch in hoch automatisierten Prozessen nicht umsetzbar, weshalb Risse und andere Oberflächenschäden den Einsatz bestimmter Codes von vornherein stark erschweren. Unabhängig davon lassen sich mit Blick auf den Bearbeitungsprozess im Sägewerk nur Markierungen einsetzen, die sich über die gesamte Brettbreite erstrecken und damit allein aufgrund ihrer Größe definitiv auslesbar sind. Als einzige Alternative bietet sich die Mehrfachapplikation kleinerer Codes an.

4.2.2.3 Heuristische Technologieauswahl

Die letztliche Auswahl eines zu verwendenden Codes ist allein basierend auf den Ergebnissen der tabellarischen Auswertung kaum möglich, da anwendungsspezifische Gegebenheiten den Ausschlag zwischen den zwei am besten bewerteten Technologien (Barcode und OCR, vgl. Tabelle 9, S. 100) geben müssen. Ergänzend wird im Folgenden noch die Applikation von Farbbalken betrachtet, die im Rahmen der Bewertung auf dem dritten Rang liegt.

Wichtigstes Beurteilungskriterium an dieser Stelle ist der Bearbeitungsprozess der einzelnen Bretter, bei dem diese sowohl in ihrer Breite und Länge verändert als auch längs geteilt werden. Bei Verwendung von OCR besteht an dieser Stelle das Problem, dass diese Codes zum einen zentral (vertikal und horizontal) auf das Brett appliziert werden müssen, damit das Trimmen und Säumen sie nicht beschädigt, und dass sie zum anderen unbrauchbar werden, wenn eine Längsspaltung des Bretts – die nach Angaben des Sägewerksbetreibers durchaus regelmäßig vorkommt – genau durch den Code führt. Abhilfe schafft lediglich eine Mehrfachapplikation auf ein Brett, ist jedoch technisch anspruchsvoll und darüber hinaus aufgrund des tendenziell höheren Tintenverbrauchs auch vergleichsweise kostenintensiv.

(Farb-)balken hingegen können von vornherein über die gesamte Brettbreite – quer zur Faserrichtung – appliziert werden, so dass eine sensorgesteuerte Codepositionierung nicht in dem Maße wie zuvor beschrieben erforderlich ist. Darüber hinaus ist eine Längsspaltung des Bretts unkritisch, weil auf jedem der Teilstücke der Code weiterhin

vollständig vorhanden ist. Schließlich wird die Neuapplikation nach der Schleifanlage deutlich vereinfacht, da dieser Vorgang bspw. mit mehreren auf einem Schlitten montierten Druckköpfen, der quer über den Brettteppich fährt, gelöst werden kann. Ein deutlicher Nachteil an dieser Lösung besteht im Vergleich zu den anderen beiden genannten darin, dass es keine vorgefertigte Codier- und Decodierlösung am Markt gibt, wohl aber geeignete Scannerhardware zur Farbwerterkennung. Um eine automatische Erfassung für die Farbbalken zu realisieren, ist daher eine vollständige und somit kostenintensive Eigenentwicklung erforderlich. Letztlich ergibt sich folgende Rangfolge der zu untersuchenden Kennzeichnungslösungen:

1. Strichcode mit normaler Tinte oder per Laser, einfarbig
2. Strichcode mit fluoreszierender Tinte, einfarbig
3. OCR-Codes mit normaler Tinte oder per Laser
4. Proprietärer Barcode mit Farbstrichen, zweifarbig
5. Proprietärer Barcode mit Farbstrichen, vierfarbig
6. Proprietäre Farbbalken, vielfarbig

Die für eine Umsetzung optimale Variante ist in der Aufzählung als erstes genannt. Sowohl Applikations- als auch Auslesetechnik sind am Markt standardisiert vorhanden und müssten lediglich in geringem Umfang auf den vorliegenden Anwendungsfall angepasst werden. Die größten Probleme macht dabei der inhomogene und z. T. mehrfarbige Untergrund, weshalb die nächstbeste Alternative darin besteht, den Code mit fluoreszierender Tinte zu applizieren und auf diese Weise das Kontrastproblem zu eliminieren. Dabei ist abzuwägen, ob die erheblichen Mehrkosten durch die Spezialtinte einer potenziell geringeren Erkennungsrate bei Verwendung normaler Tinte vorzuziehen sind – es kann durchaus sein, dass eine geringere Leserate wirtschaftlich gesehen (in gewissen Grenzen) nicht ausschlaggebend ist und daher auf den Einsatz fluoreszierender Tinte verzichtet werden kann.

Wenn sich der oben dargestellte Ansatz als technisch nicht durchführbar erweist, z. B. weil der Verlauf der Balken durch die Kapillarwirkung der Holzfasern zu stark ist, müssen die weiteren Alternativen geprüft werden. Dazu zählt trotz der zuvor genannten Nachteile auch der OCR-Code, der durch am Markt verfügbare standardisierte Systeme appliziert und ausgelesen werden kann. Aber auch andere Technologien sind zu überprüfen. Dabei ist es zunächst naheliegend, das Konzept des Strichcodes weiter zu verfolgen und entweder die Markierung per Laser durchzuführen oder die „Lücken“, also die im Normalfall weißen Bestandteile eines Barcodes, durch eine andere Farbe zu ersetzen. Problematisch an dieser Stelle ist voraussichtlich die notwendige Unterscheidung in

breite und schmale Balken, wenn eine klare Konturenabgrenzung nicht gelingt. Dann ist es erforderlich, jeder Variante (im Original jeweils breite und schmale Balken in schwarz und weiß) eine eigene Farbe zuzuweisen, also mit insgesamt vier Farben zu arbeiten. Von dieser Stelle an ist der Schritt zu einem eigenen Strichcode mit mehr als vier Farben nicht mehr weit, dies sollte aufgrund des hohen technischen Aufwands und der hohen Tintenkosten bei Mehrfarbdruck jedoch die letzte Option sein. Stattdessen ist insbesondere zu prüfen, inwiefern Barcodes eingesetzt werden können, bei denen allein die Erkennung der schwarzen Bestandteile notwendig ist (bspw. Code 25 Interleaved industrial, vgl. Kapitel 2.3.3.1, S. 20).

Von vornherein ausgeschlossen werden muss außerdem nicht zwangsläufig der Laser, der zwar in durchgeführten Testreihen ein sehr scharfes Konturenbild erzeugen konnte und auch auf sehr dunklen Oberflächen einen ausreichend hohen Kontrast erzielte, jedoch aufgrund der hohen Feuchtigkeit des Holzes mit deutlich höherer Energieleistung als üblich betrieben werden muss und damit die Sicherheitsbestimmungen im Sägewerk aufgrund der dadurch erhöhten Brandgefahr potenziell nicht mehr erfüllt. Die Praxisversuche im Sägewerk haben allerdings gezeigt, dass entsprechende Vorsichts- und Schutzmaßnahmen getroffen werden können, so dass zumindest grundsätzlich ein Lasermarkiersystem zum Einsatz kommen kann (vgl. Kapitel 4.2.4, S. 123).

Die theoretische Alternative der Applikation von Codes mit fluoreszierender Tinte ist bei eingehender Betrachtung nicht in die Praxis umsetzbar, da ein mit dieser Tintenart applizierter Code von den verfügbaren Systemen nicht decodiert werden kann. Fluoreszierende Tinte wird ausschließlich dazu verwendet, um eine digitale Logik implementieren zu können, d. h. um zu erkennen, ob sich ein Gegenstand im Lesefeld befindet oder nicht. Die nur unter UV-Licht sichtbare Tinte kann lediglich detektiert, nicht jedoch in verwertbare optische Informationen umgewandelt werden. Die bereits weiter oben beschriebene Alternative durch Erfassung als Schwarzweiß-Bild ist softwaretechnisch nur mit großem Aufwand umsetzbar und erfordert die Anpassung durch den jeweiligen Hersteller des Kamerasystems. Insofern scheidet die experimentelle Kennzeichnung mit dieser Tintensorte aus – sie kann allenfalls als Startmarkierung eines proprietären Strichcodes verwendet werden, um kenntlich zu machen, von welcher Richtung aus er decodiert werden muss.

4.2.2.4 Versuchsbasierte Technologieauswahl

Im Rahmen von Vorversuchen wurde die grundsätzliche Umsetzbarkeit der noch zur Verfügung stehenden Alternativen überprüft. Dabei wurde zunächst untersucht, inwieweit OCR-Codes zum Einsatz gelangen können, wobei im Rahmen der Versuche auch Datamatrix-Codes zur Ergänzung getestet wurden.

4.2.2.4.1 Applikation mittels Tintendirektdruck

Appliziert wurden die Codes direkt im Sägewerk auf ausgesuchten Rohbrettern, die zuvor in Wasser eingeweicht worden waren und damit über 100% Brettfeuchte aufwiesen. Damit sollte der am schlechtesten mögliche Zustand simuliert werden. Die verwendeten Tinten basierten auf Wasser, Ethanol, Aceton und Methylethylketon (MEK). Die folgenden Abbildungen zeigen, dass zwei unterschiedliche Ansätze zur Applikation gewählt wurden: Zum einen kam ein mobiles Handgerät zum Einsatz, mit dem durch manuelles Verfahren auf der zu bedruckenden Oberfläche der Code appliziert werden kann (vgl. Abbildung 65), zum anderen diente ein auf einem Tisch installierter Drucker zur Bedruckung manuell am Druckkopf vorbei geführter Bretter (vgl. Abbildung 66).



Abbildung 65: Applikation von OCR-Codes mittels Handapplikator
Quelle: Eigenerstellung

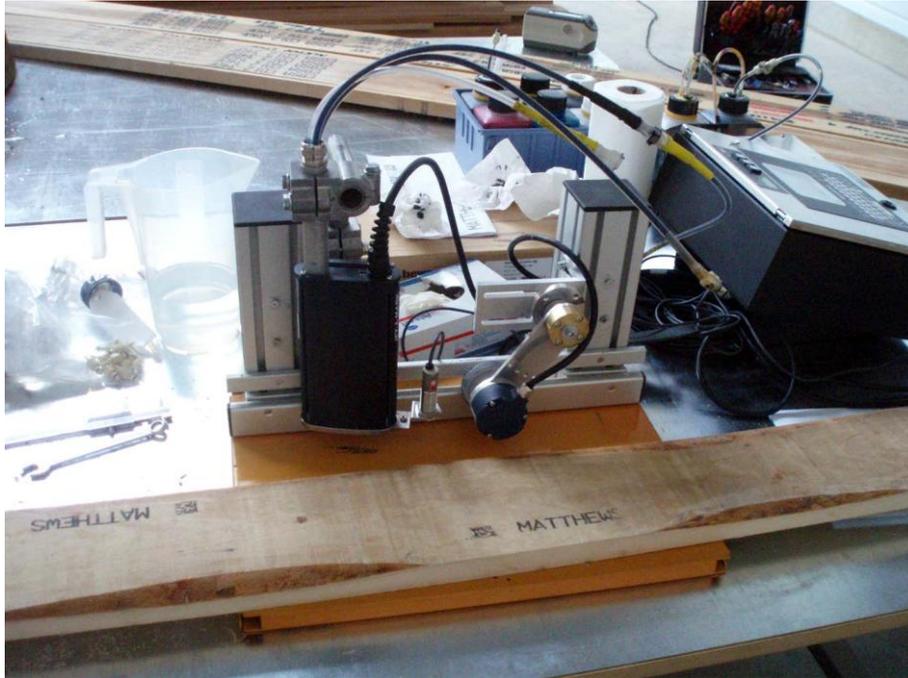


Abbildung 66: Applikation von OCR / Datamatrix durch stationären Drucker
Quelle: Eigenerstellung

Es wurde bereits im ersten Ansatz deutlich, dass wasserbasierte Tinte nicht geeignet ist (vgl. Abbildung 67). Die aufgedruckten Schriftzeichen waren schon nach wenigen Sekunden stark verlaufen und konnten nicht mehr als solche erkannt werden.

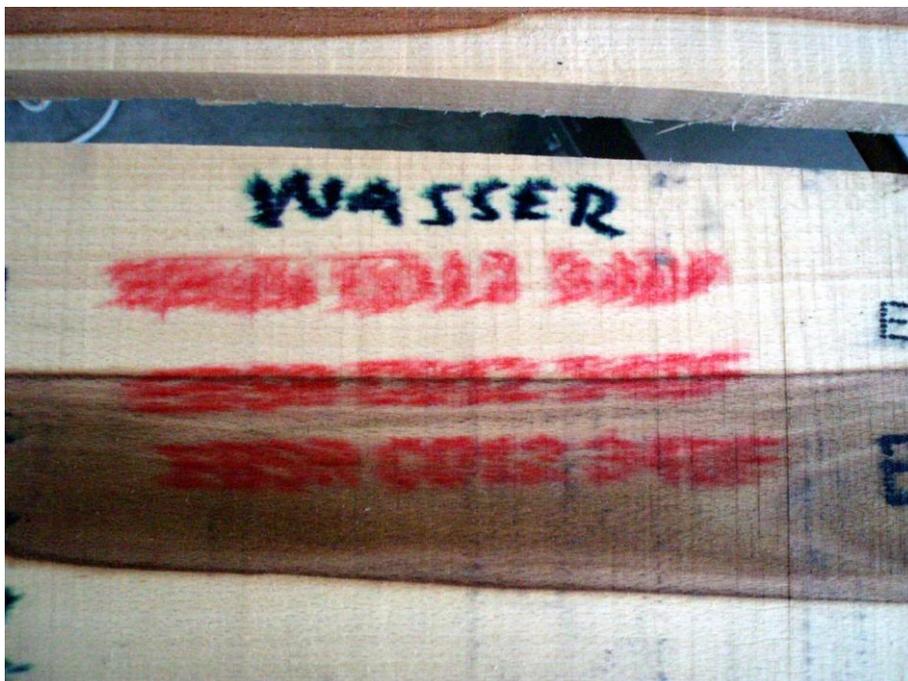


Abbildung 67: Applizierte OCR-Codes mit wasserbasierter Tinte
Quelle: Eigenerstellung

Ein wenig besser war das Ergebnis mit auf Ethanol basierender Tinte (vgl. Abbildung 68), jedoch konnten auch hier die Zeichen durch manuelle Einwirkung noch verwischt werden.

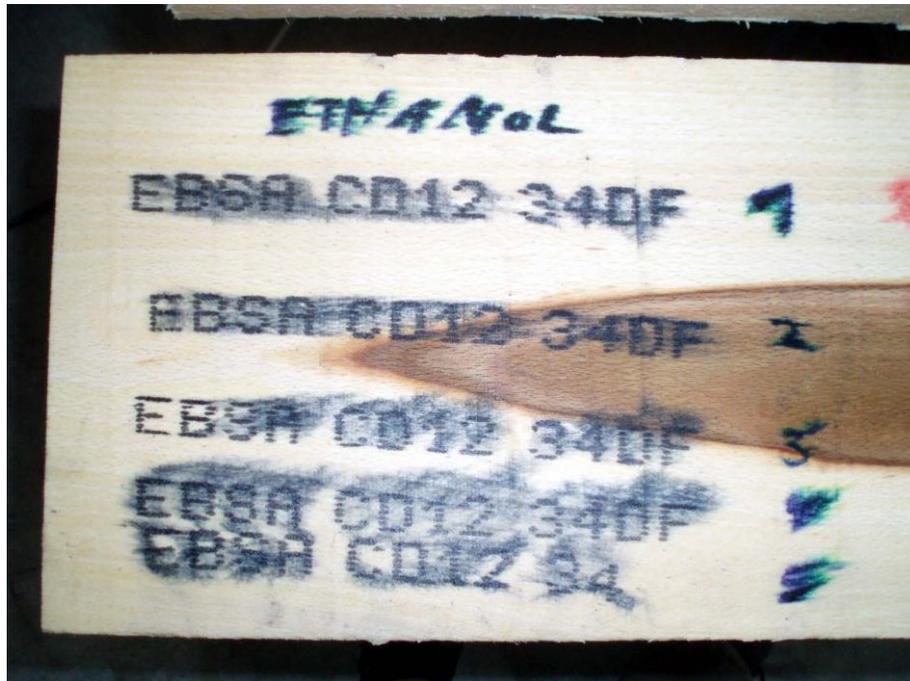


Abbildung 68: Applizierte OCR-Codes mit Ethanol-Tinte
Quelle: Eigenerstellung

Das beste Resultat konnte mit Aceton-Tinte erzielt werden (vgl. Abbildung 69), die sich in wenigen Sekunden mit den Holzfasern verband und damit fixiert war. Aufgrund der sehr hohen Holzfeuchte konnten auch hier noch Verwischungen erzeugt werden, jedoch konnten diese den Erkennungsgrad der Zeichen nicht merklich beeinträchtigen.



Abbildung 69: Applizierte OCR-Codes mit Aceton-Tinte
Quelle: Eigenerstellung

Auch die MEK-Tinte konnte überzeugende Ergebnisse liefern (vgl. Abbildung 70), jedoch stellte der verwendete Tischdrucker höhere Anforderungen an das zu kennzeichnende Objekt, als die zum Test verwendeten Rohbretter erfüllen konnten – so wiesen die genutzten Bretter zum Teil größere Unebenheiten auf, die eine präzise Führung am Druckkopf verhinderte. Dies resultierte in einer nur begrenzten Einsatzfähigkeit des Druckers im Rahmen der Versuchsreihen.



Abbildung 70: Applizierte OCR-Codes mit MEK-Tinte
Quelle: Eigenerstellung

Die markierten Bretter wurden anschließend dem Sägewerksprozess wieder zugeführt und zusammen mit anderen Brettern wie üblich getrocknet. Der Test in den Trockenkammern sollte zeigen, inwiefern die Codes durch den heißen Dampf und das gleichmäßige Austrocknen des Holzes auf 7 % Restfeuchte beeinträchtigt werden. Nach vier Wochen konnten die Ergebnisse ausgewertet werden. Wie erwartet konnte die wasserbasierte Tinte kaum noch als solche identifiziert werden (vgl. Abbildung 71), und die zum leichteren Wiederauffinden der einzelnen Codes gedachte Zusatzmarkierung durch einen „Edding“ hatte sich ebenfalls verflüchtigt.



Abbildung 71: Wasserbasierte Kennzeichnung nach der Trocknung
Quelle: Eigenerstellung

Die Ethanol-Tinte war ebenfalls stark verlaufen und dadurch praktisch nicht mehr auslesbar (vgl. Abbildung 72), während die auf Aceton und MEK basierenden Tinten die geringsten erkennbaren Einbußen erlitten hatten (vgl. Abbildung 73 und Abbildung 74).



Abbildung 72: Ethanol-Tinte nach der Trocknung
Quelle: Eigenerstellung



Abbildung 73: Aceton-Tinte nach der Trocknung
Quelle: Eigenerstellung



Abbildung 74: MEK-Tinte nach der Trocknung
Quelle: Eigenerstellung

Basierend auf den Resultaten kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass grundsätzlich ein OCR-Code in Frage kommt, sofern MEK oder auf Aceton basierende Tinte verwendet wird. Der in Abbildung 74 zu sehende Datamatrix Code ist zwar mit geeigneter Technik auslesbar, jedoch in den Abmessungen zu klein für den Anwendungsfall und mit den verfügbaren Standarddruckern nicht größer applizierbar. In der gezeigten Abmessung ist die Gefahr zu groß, dass der Code während der Bearbeitung der Rohbretter verloren geht.

Die erfolgreiche, d.h. konturenscharfe Applikation eines Barcodes unter den im Sägewerk herrschenden Bedingungen ist eine große Herausforderung, weshalb daneben die Möglichkeit untersucht wurde, einen proprietären Code aus farbigen Strichen zu verwenden. Dazu wurden im Rahmen einer eigenen Testreihe 11 Farben auf ihre Tauglichkeit überprüft (vgl. Abbildung 75). Kriterien der Bewertung waren unter anderem die Deckkraft, die erzielbare Konturenschärfe und der Grad der Vermischung von Farben beim Überdrucken.



Abbildung 75: Für den Farbttest verwendete Farben

Quelle: [14]

Mit Hilfe eines Farbwert-Messgeräts wurde der Lab-Farbwert¹² jeder einzelnen applizierten Farbe bestimmt, um ihn mit dem Ergebnis nach der Trocknung vergleichen und somit eine Aussage über den Einfluss des Prozesses auf die Farbechtheit treffen zu können. Darüber hinaus wurden die gemessenen Farbwerte systematisch ausgewertet (vgl. Tabelle 10).

¹² Der Lab-Farbraum (Luminance L, Grün-Rot a, Blau-Gelb b) ist in der DIN 6174 definiert, umfasst alle wahrnehmbaren Farben und besitzt den Vorteil, dass die gemessenen Werte geräteunabhängig sind. Das verfügbare Messgerät kann keine sonst üblichen RGB-Werte (Rot, Grün, Blau) messen, allerdings können die einzelnen Farbwerte weitgehend verlustfrei zwischen den Farbräumen umgerechnet werden.

Tabelle 10: Auswertung der Farbwert-Analyse

Testreihe zur Ermittlung von Farbabweichungen durch den Trocknungsprozess													
Farbe	Datum Applikation	Datum Auslesung	Deckungsgrad Applikation	Deckungsgrad Auslesung	Applikation			Auslesung			Differenz Deckung	Delta E	Delta H
					L	a	b	L	a	b			
9005 Tiefschwarz	09.04.08	22.05.08	10	8	18,64	0,28	-0,53	20,41	1,03	0,3	2	2,09	1,01
9003 Weiß	09.04.08	22.05.08	4	3	82,33	0,19	1,13	71,3	5,95	14,57	1	18,32	0,94
1018 Zinkgelb	09.04.08	22.05.08	5	3	70,84	-1,6	56,95	65,1	7,42	52,69	2	11,51	9,24
2001 Signal Rot-Orange	09.04.08	22.05.08	9	8	47,5	37,22	35,94	42,68	31,06	30,02	1	9,81	0,02
8007 Rehbraun	09.04.08	22.05.08	9	9	34,98	11,96	15,56	34,23	13,09	19,34	0	4,02	1,29
3000 Feuerrot	09.04.08	22.05.08	9	7	41,89	41,44	24,56	38,1	35,64	22,76	2	7,16	1,50
6017 Maigrün	09.04.08	22.05.08	9	7	50,48	19,88	26,98	45,19	-15,86	23,55	2	36,29	35,54
5015 Himmelblau	09.04.08	22.05.08	9	8	50,42	13,17	28,89	44,8	-12,06	-17,59	1	53,18	51,85
4006 Verkehrs-Purpur (Signal)	09.04.08	22.05.08	9	7	42,93	38,74	0,4	41,89	32,69	8,37	2	10,06	8,67
4005 Blau-Lila	09.04.08	22.05.08	9	6	42,69	7,94	-21,12	46,63	2,52	-10,68	3	12,41	2,01
7001 Silbergrau	09.04.08	22.05.08	9	4	61,03	0,18	1,08	56,23	3,3	7,09	5	8,30	0,79

Im Rahmen des Tests kamen ausschließlich RAL-Farbtöne zum Einsatz, deren Zusammensetzung ebenfalls auf Lab-Farbwerten basiert (vgl. Abbildung 76).

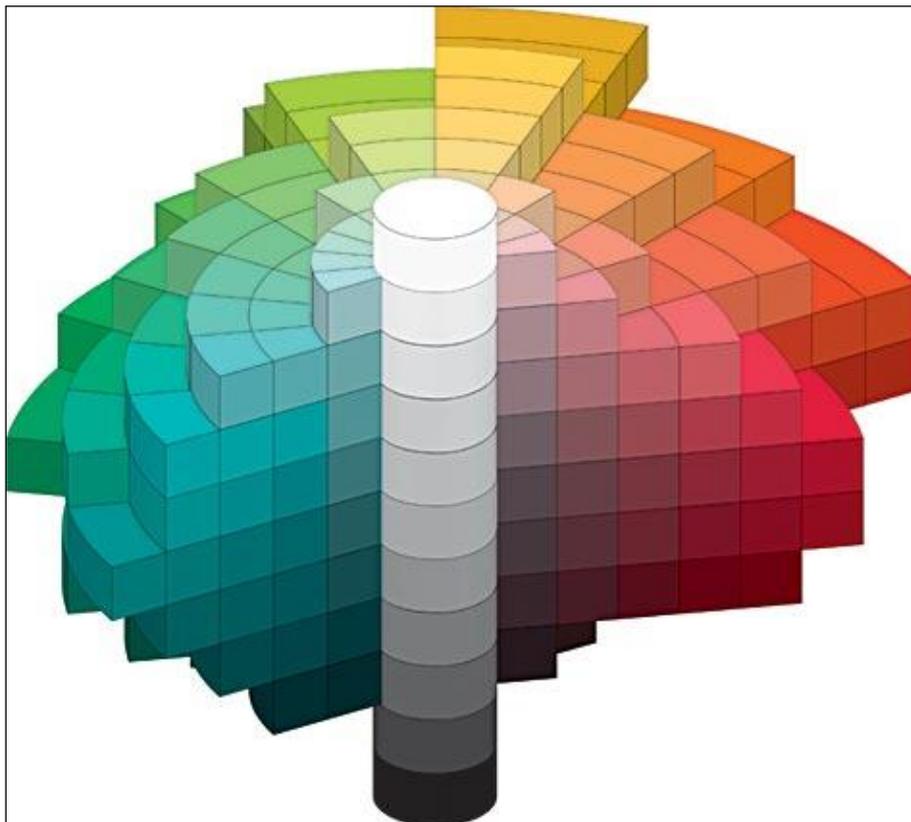


Abbildung 76: RAL-Farbraum, Farbkörperausschnitt mit Unbuntachse
Quelle: [56]

Die in der Tabelle angegebenen Messwerte stellen die gemessenen Farbwerte im Lab-Farbraum dar. Um die Werte vor und nach der Trocknung miteinander vergleichen zu

können, wurde das Maß Delta E für den Farbabstand (E = Euklidischer Abstand) [57; 58; 59] sowie Delta H für die Farbtondifferenz (H = „hue“) anhand folgender Formeln bestimmt:

$$\Delta E_{a,b} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

$$\Delta H = \sqrt{(\Delta E)^2 - (\Delta L)^2 - \left(\sqrt{a_1^2 + b_1^2} - \sqrt{a_2^2 + b_2^2}\right)^2}$$

Formel 4-1: Berechnung der Farbabstände

Quelle: [40]

Für den Farbabstand gilt gemäß Tabelle 11, dass bei einem Wert größer als 5,0 ein anderer Farbton angenommen wird, ab 4,0 ist bereits ein deutlicher Farbunterschied erkennbar. Werte zwischen 0 und 1 sollten generell angestrebt werden, wobei für den vorliegenden Anwendungsfall ein Wert zwischen 0 und 0,5 wünschenswert ist, um eine exakte Decodierung sicherstellen zu können. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass diese Werte in keinem Fall erreicht werden – mit 2,09 liegt der unterste gemessene Grenzwert bereits weit über dem unteren Limit der Skala. Ausreißer nach oben sind die Farben Grün und Blau, bei denen jedoch sehr wahrscheinlich ein Messfehler bei der ersten Messung kurz nach der Applikation vorliegt, da die Holzfarbe stark durch die Farbe schien.

Tabelle 11: Bewertungsmaßstab für Farbabstände "Delta E"

ΔE	Bewertung
0,0 ... 0,5	kein [...] Unterschied
0,5 ... 1,0	Unterschied kann für das geübte Auge bemerkbar sein
1,0 ... 2,0	merklicher Farbunterschied
2,0 ... 4,0	wahrgenommener Farbunterschied
4,0 ... 5,0	wesentlicher Farbunterschied, der selten toleriert wird
oberhalb 5,0	die Differenz wird als andere Farbe bewertet

Quelle: [40]

Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Falle einer Farbmarkierung die einzustellenden Toleranzen recht großzügig bemessen werden müssen, um eine Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Darüber hinaus treten fehlerhafte Messungen auf, wenn die Farbe nicht ausreichend opak ist und dadurch das Holz „durchscheinen“ kann, da in diesem Fall der Farbton des Holzes mit dem der Farbe durch das Messgerät gemischt wird und damit falsche Farbwerte ermittelt werden. Nimmt der Deckungsgrad einer Farbe durch das Trocknen noch mehr ab, kann die sichere Ermittlung des Farbwerts nicht mehr garantiert werden.

Im Hinblick auf die Aufbringung der Striche auf Rohbretter kann zusammenfassend gesagt werden, dass die erzielbare Konturenschärfe im Wesentlichen von dem verwendeten Düsendruck sowie vom Abstand zum Untergrund abhängt. Die ideale Kombination ist experimentell zu bestimmen, liefert dann jedoch ausreichend scharfe Kanten und ein gutes Farbergebnis. Eine positive und zugleich unerwartete Erkenntnis der Versuche ist, dass die verwendeten Farben bereits nach zwei bis drei Sekunden vollständig trocken und damit abriebfest waren. Dabei drangen sie dennoch nicht übermäßig tief in die Holzstruktur ein, da nach dem Abschleif keine Farbreste mehr erkennbar waren.

Wie bereits dargestellt wurde, werden im betrachteten Sägewerk bis zu 4.000 Abschnitte bzw. 40.000 Bretter pro Tag gesägt. Da die Bretter bis zu 60 Tage in den Dämpfungskammern liegen, kann ein bestimmter Code erst nach 240.000 Abschnitten wieder verwendet werden, sofern die Bretter die Kennzeichnung ihres Abschnitts „erben“. Mithin ist ein Code erforderlich, der 6 Dezimalstellen abbilden kann.

Die Versuche haben gezeigt, dass die Applikation zwar technisch im Prinzip funktionsfähig ist und auch den Anforderungen entspricht, jedoch ergeben sich größere Farbabweichungen nach der Trocknung, und auch die Applikation eines sechsstelligen Codes ist nicht trivial zu lösen. Voraussetzung ist vor allem, dass jede Farbe an jeder Position des Strichcodes appliziert werden kann, wenn eine bestimmte Farbe für eine dezimale Ziffer steht. Dazu kommt eine zusätzliche Düse für die Startmarkierung, um die Leserichtung des Codes festzulegen.

Dies setzt theoretisch eine Düsenmatrix mit 10 Spalten und 10 Zeilen voraus, um jede Farbe an jeder Stelle des Streifencodes applizieren zu können. Rechnerisch kommt dies jedoch einer Überdimensionierung gleich, denn mit dieser Matrix lassen sich 10^{10} (10 Milliarden) Kombinationen abbilden. Im Hinblick auf die Anforderungen sind also durchaus weniger Farben bzw. Düsen ausreichend; bei genauer Betrachtung ergibt sich die Kombination aus 7 Düsen in 7 Reihen mit 823.543 möglichen Codes als kleinstmögliche Umsetzung, da z. B. 6 Düsen mit 7 Farben zwar rechnerisch ausreichen (279.936 Möglichkeiten), aber praktisch nicht umsetzbar sind. Insgesamt ist also eine Matrix mit 49 Düsen zu konstruieren (vgl. Abbildung 77).

S	0	1	2	3	4	5	6
	1	2	3	4	5	6	0
	2	3	4	5	6	0	1
	3	4	5	6	0	1	2
	4	5	6	0	1	2	3
	5	6	0	1	2	3	4
	6	0	1	2	3	4	5

Abbildung 77: Düsenkonzept für einen 7-stelligen Streifencode
Quelle: Eigenerstellung

Das gezeigte Konzept erlaubt – wie bereits erwähnt – die eindeutige Kennzeichnung von $7^7 = 823.543$ Abschnitten bzw. Brettern, bevor wieder von vorn begonnen werden muss, und stellt damit im Hinblick auf den Bedarf von ca. 250.000 verschiedenen Codes eine ausreichende Reserve zur Verfügung. Eine weitere Düse in Reihe 1 – bspw. für fluoreszierende Farbe – ist noch zusätzlich erforderlich, um den Startpunkt und damit die Lese-richtung des Codes zu definieren (in der Grafik mit „S“ für Startfarbe bezeichnet). Ein analoger Aufbau kann für einen vierfarbigen Barcode genutzt werden.

Es ist offensichtlich, dass dieses Konzept zwar theoretisch zum gewünschten Ziel führt, jedoch technisch überaus anspruchsvoll in der Umsetzung und zudem wenig wartungsfreundlich ist. Aufgrund der herrschenden Umgebungsbedingungen im Sägewerk ist es sehr wahrscheinlich, dass die Mechanik durch äußere Einflüsse wie z. B. Sägespäne und Sägemehl regelmäßig verstopft wird und kurze Reinigungsintervalle erforderlich macht, was jedoch im Hinblick auf die Produktivität nicht akzeptabel ist. Eine entsprechend notwendige robuste Ausführung der Mechanik erhöht jedoch den Konstruktions- und Fertigungsaufwand und damit die entstehenden Kosten noch einmal zusätzlich.

Es ergibt sich eine neue Entscheidungsmatrix, die anhand der Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien, die noch zur Auswahl stehen, in der folgenden Tabelle 12 dargestellt ist (zum Inhalt vgl. Tabelle 9 sowie die Ausführungen in den Kapiteln 4.2.2.3 ab Seite 104 und 4.2.2.4 ab Seite 106).

Tabelle 12: Entscheidungsmatrix zur Codeauswahl

Übersicht der Vor- und Nachteile der final zur Auswahl stehenden Codierungen		
Code	Vorteile	Nachteile
Herkömmlicher Barcode	<ul style="list-style-type: none"> • Am Markt vorhandene Lesetechnik kann genutzt werden • Am Markt vorhandene Applikationstechnik kann genutzt werden • Tintenkosten je Code sind akzeptabel 	<ul style="list-style-type: none"> • Technisch sehr aufwendige Applikation bei großer Codeabmessung • Gefahr des Verlaufens der Konturen • Erfassungsprobleme auf problematischem Untergrund
OCR-Code	<ul style="list-style-type: none"> • Am Markt vorhandene Lesetechnik kann genutzt werden • Am Markt vorhandene Applikationstechnik kann genutzt werden • Tintenkosten je Code sind akzeptabel 	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Lesepunkt kostet ein Vielfaches im Vergleich zu einem Barcode-Leser • Hohe und damit kostenintensive Rechenleistung zur Dekodierung erforderlich
Barcode mit Farbstrichen	<ul style="list-style-type: none"> • Ist unabhängig von der Untergrundfarbe auslesbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer proprietären Dekodieretechnik und -logik erforderlich • Basiert nicht auf Standards • Spezielle Düsenmatrix erforderlich, da die sonst üblichen Leerräume nun mit einer Farbe gefüllt werden müssen • Höhere Tintenkosten als bei herkömmlichem Barcode • Absolute Konturenschärfe erforderlich, um ggf. breite von schmalen Balken unterscheiden zu können
Vierfarbiger Barcode	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Konturenschärfe erforderlich • Einfachere Applikation möglich, da nicht auf die Breite der Striche Rücksicht genommen werden muss 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer proprietären Dekodieretechnik und -logik erforderlich • Basiert nicht auf Standards • Höhere Applikationskosten aufgrund der verwendeten vier Farben • Spezielle Düsenmatrix erforderlich • Farbveränderungen im Trocknungsprozess können Dekodierung beeinträchtigen
Proprietärer Streifencode	<ul style="list-style-type: none"> • Ist unabhängig von der Untergrundfarbe auslesbar • Einfache Applikation durch vertikalen „Düsenwenk“ aufgrund einheitlicher Strichbreite möglich • Konturenverlauf ist unkritisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer proprietären Dekodieretechnik und -logik erforderlich • Basiert nicht auf Standards • Spezielle Düsenmatrix erforderlich • Sehr hohe Tintenkosten aufgrund der Vielzahl der Farben und der notwendigen Farbmenge je Code • Zu starke Farbveränderungen im Trocknungsprozess verhindern eine zuverlässige Dekodierung

Technisch umsetzbar sind letztlich alle fünf Konzepte, daher gilt es – gestützt auf entsprechende Versuchsreihen – abzuschätzen, welche Technologie die besten Erfolgsaussichten hat.

Es wurde – wie bereits weiter oben geschildert – experimentell nachgewiesen, dass die verwendeten Farben aufgrund des Trocknungsprozesses sich stark verändern und daher eine zuverlässige Decodierung technisch nur unter sehr großem Aufwand umzusetzen ist (vgl. Kapitel 4.2.2.4 ab Seite 106). Daher wurden weitere Versuchsreihen durchgeführt, um die grundsätzliche Applizierbarkeit und Auslesbarkeit von herkömmlichen

Barcodes zu überprüfen. Im Rahmen eines ersten Versuchs wurden dabei Holzproben bedruckt und die Codes anschließend wieder ausgelesen, was sehr gut funktionierte (vgl. Abbildung 78).

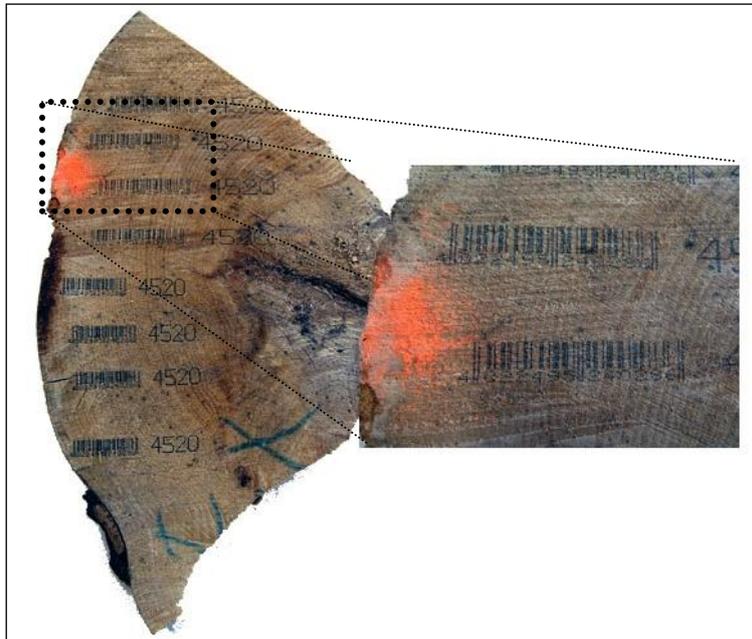


Abbildung 78: Versuch zur Barcode-Applikation mittels Tintendirektdruck
Quelle: Eigenerstellung

Im Rahmen dieser Testreihe wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass die zunächst bestehende Anforderung, einen im Durchschnitt 25 cm hohen Barcode zu applizieren, aus technischen Gründen nicht zu halten ist. Auf dem Markt existieren keine entsprechenden Druckköpfe oder technische Verfahren, um einen derart großen Code unter den gegebenen Rahmenbedingungen (insbesondere im Hinblick auf die erforderliche Druckgeschwindigkeit und entstehende Vibrationen) drucken zu können. Insofern bleibt allein die Variante der Mehrfachapplikation von kleineren Codes, so dass bei einer Längsspaltung des Bretts dennoch jedes Teilstück identifizierbar ist.

4.2.2.4.2 Applikation mittels Laser

Als potenziell geeignete Alternative zur Applikation mittels Tintendirektdruck wurde die Kennzeichnung mit einem Laser identifiziert, weshalb auch für diese Form der Codeapplikation Vorabversuche durchgeführt wurden, um die grundsätzliche Verwendbarkeit dieser Technik unter den besonderen Bedingungen im Sägewerk zu überprüfen [14]. Die Vortests sollten zeigen, ob eine Markierung mittels Laser zum einen dauerhaft genug ist und zum anderen stets sicher ausgelesen werden kann. Ein wichtiges Ergebnis in diesem Bereich ist, dass die durchschnittlich erforderliche Applikationsdauer für eine im Sinne von Größe und Qualität verwendbare Lasermarkierung bei einer im Hinblick auf die Sicherheitsvorschriften vertretbaren Leistung zwischen einer und zwei Sekunden liegt, wenn das Holz eine sehr hohe Feuchtigkeit aufweist. Dies bedeutet im Um-

kehrschluss, dass eine Applikation ausschließlich dort realisiert werden kann, wo das Holz kurzzeitig zur Ruhe kommt bzw. deutlich langsamer als üblich gefördert wird.

4.2.3 Priorisierung der Testphasen

Als für die Praxistests relevante Prozessschritte wurden die Kappanlage, Blockbandsäge, Resaw und Schleiferei identifiziert, da – wie bereits weiter oben beschrieben – an diesen Stellen jeweils die Kennzeichnung aufgebracht bzw. erneuert werden muss. Da im Rahmen der notwendigen Testreihen jedoch nur begrenzte Ressourcen im Hinblick auf die zum Teil notwendige Modifizierung der technischen Anlagen zur Verfügung standen, wurde eine Prioritätsliste erarbeitet, nach deren Reihenfolge die Praxisversuche umgesetzt wurden:

1. Resaw
2. Schleiferei
3. Kappanlage
4. Blockbandsäge

Die Resaw wurde als sehr wichtig eingestuft, da diese eine Schlüsselstelle im gesamten Prozessablauf darstellt. Ankommende Model müssen zunächst identifiziert und nach dem Sägeschnitt anschließend mit einer identischen Markierung neu gekennzeichnet werden. Dies erfordert insbesondere aufgrund der hohen Fördergeschwindigkeit von bis zu 100 m/min eine hohe Toleranz bei der Erfassung der aufgetragenen Kennzeichnungen sowie eine robuste und für diese Transportgeschwindigkeit ausgelegte Drucktechnik. Im Vergleich mit den anderen Stationen ist die Resaw im Hinblick auf die Testinstallation jedoch am einfachsten umzusetzen, da aufgrund des vorhandenen technischen Aufbaus (vgl. Abbildung 31, S. 46) die notwendigen Applikations- und Lesegeräte mit geringem Aufwand installiert werden können. Neben der technischen Realisierbarkeit bildet die Resaw im Hinblick auf die zu erzielenden Testergebnisse eine Schlüsselstelle, da hier noch auf sägefrisches, d. h. zum Teil sehr feuchtes und faseriges Holz, gedruckt werden muss. Um spätere Veränderungen der geometrischen Abmessungen der Bretter zu kompensieren, soll im Rahmen der Versuche jeweils ein einzelner Code mehrfach auf das Model appliziert werden, so dass die einzelnen Bretter mit mehreren identischen Markierungen versehen sind.

An zweiter Stelle der festgelegten Prioritäten steht die Schleiferei, wo das fertig getrocknete Holz abgeschliffen wird und daher neu gekennzeichnet werden muss. Hier ist bereits die Konzeption eines Testaufbaus überaus komplex. Zunächst müssen die bedruckten Bretter identifiziert werden, um diese anschließend wieder neu kennzeichnen zu können. Da sich im Zulauf der Anlage stets mehrere Bretter zugleich befinden, die nebeneinander im Längstransport in die Maschine geführt werden, muss mit einem Kame-

rasystem die gesamte Breite des Bandförderers abgedeckt werden. Die Kennzeichnung eines einzelnen Bretts referenziert dabei stets auf den ursprünglichen Baumstamm, von dem das Model geschnitten wurde. Durch die zuvor angesprochene Mehrfachkennzeichnung der einzelnen Bretter ergibt sich jedoch die entscheidende Schwierigkeit, dass es ohne Weiteres vorkommen kann, dass mehrere Bretter mit identischer Kennzeichnung vorliegen, die zudem mehrfach auf den einzelnen Brettern appliziert ist. Im Extremfall kann dies dazu führen, dass z.B. zehn eintreffende Bretter durch z. B. fünfzig Markierungen – verteilt auf alle zehn Bretter – identisch gekennzeichnet sind.

Bei der Erfassung muss daher eine Logik implementiert werden, die zum einen erkennt, um wie viele Bretter es sich insgesamt handelt, und zum anderen, welche Markierung welchem konkreten Brett zuzuordnen ist. Daher scheidet die normalerweise übliche Alternative, ein möglichst großes Erfassungsfenster für das Kamerasystem zu nutzen, an dieser Stelle aus, da es hiermit nicht möglich ist, die erfassten Codes bestimmten Positionen bzw. Brettern zuzuordnen. Vor dem Hintergrund dieser überaus komplexen und technisch anspruchsvollen Thematik wird die Station „Schleiferei“ in abgeschwächter Form und orientiert an den wesentlichen Zielsetzungen (Erfassung der Markierungen nach dem Trocknungsvorgang, Erneuerung der Kennzeichnungen nach dem Abschleif, d.h. Druck auf trockenem Holz) so getestet, dass der Aufwand für notwendige Eingriffe in die Maschinenteknik so gering wie möglich gehalten wird.

Als nächstes soll die Kappanlage getestet werden, die zu Beginn des gesamten Prozesses die angelieferten Baumstämme in Abschnitte unterteilt. An dieser Stelle muss eine Umsetzung der ursprünglichen Transpondernummer des Baumstammes auf die einzelnen Abschnitte erfolgen, um eine spätere Zuordnung zu ermöglichen. Dazu soll die neue Kennzeichnung auf die Stirnseite der Abschnitte appliziert werden, da eine Aufbringung auf die Rinde als einzig denkbare Alternative allenfalls theoretischer Natur ist. Im Rahmen der Tests soll das Grundprinzip überprüft werden, indem zunächst ein unveränderter Standardcode auf unterschiedliche Abschnitte appliziert wird. Die Anlage bietet dazu an der Stelle des sog. Begutachtungsquerförderers die Möglichkeit, entsprechende Applikations- und Auslesetests durchzuführen.

An letzter Stelle der Prioritätsreihenfolge steht die Blockbandsäge, da an dieser Stelle aufgrund der Komplexität der Maschine ein realer Testaufbau im Rahmen von Testuntersuchungen nicht umsetzbar ist. In Kapitel 6.3.4 ab Seite 226 ist eine Lösungsmöglichkeit im Detail beschrieben.

Im Rahmen der Praxistests wurden zunächst Testreihen unter tatsächlichen Einsatzbedingungen gefahren. Aufgrund der dort jedoch nicht beeinflussbaren Betriebsparameter (Fördergeschwindigkeit, Vibrationen etc.) wurden weitere Versuche (vgl. das folgende Kapitel 4.2.4) durchgeführt.

4.2.4 Praxisversuch: Applikations- und Leseversuche mit Tintendirekt- druck

4.2.4.1 Tests unter Praxisbedingungen

Für die Testreihen wurden ein Tintendirektdrucksystem „Excel 273SE“ der Firma Videojet (siehe Abbildung 79) sowie zwei Kamerasysteme der Firma AccuSort – einmal zur Barcode- und einmal zur Datamatrix-Erfassung (Abbildung 80 zeigt beispielhaft das Modell „Handsfree“) – eingesetzt.



Abbildung 79: Verwendetes Tintendirektdrucksystem „Excel 273SE“ von Videojet
Quelle: [60]



Abbildung 80: Verwendetes Kamerasystem "Handsfree" von AccuSort
Quelle: [61]

Aufgrund der Neuheit des vorliegenden Anwendungsfalls existieren am Markt keinerlei Standardprodukte, die für die Aufgaben zur Kennzeichnung von frischem Schnittholz bzw. Auslesung entsprechender Markierungen im Einsatz sind. Daher musste ein Kompromiss gefunden werden, um die Versuchsreihen durchführen zu können. Die vorgestellte Kombination aus Drucker und Kamera war diesbezüglich im Rahmen eines umfassenden Auswahlverfahrens im Zuge der zuvor beschriebenen Vortests für die Praxisversuche als nutzbar bewertet worden.

Im Zuge einer ersten Testinstallation wurde der Drucker direkt an der Resaw montiert. Ein Partnerunternehmen entwickelte und baute zu diesem Zweck eine entsprechende Halterung für den Druckkopf, welche diesen vertikal verfahrbar machte, so dass die vorbeifahrenden Model in der jeweils richtigen Höhe (Mitte des späteren Bretts) gekennzeichnet werden konnten (vgl. Abbildung 81). Dies wurde dadurch ermöglicht, dass der Druckkopf durch einen flexiblen Schlauch mit dem Drucker verbunden war. Der zweite vorhandene Druckkopf wurde im Rahmen der Testreihen nicht verwendet, da lediglich die technische Funktionalität überprüft werden sollte.

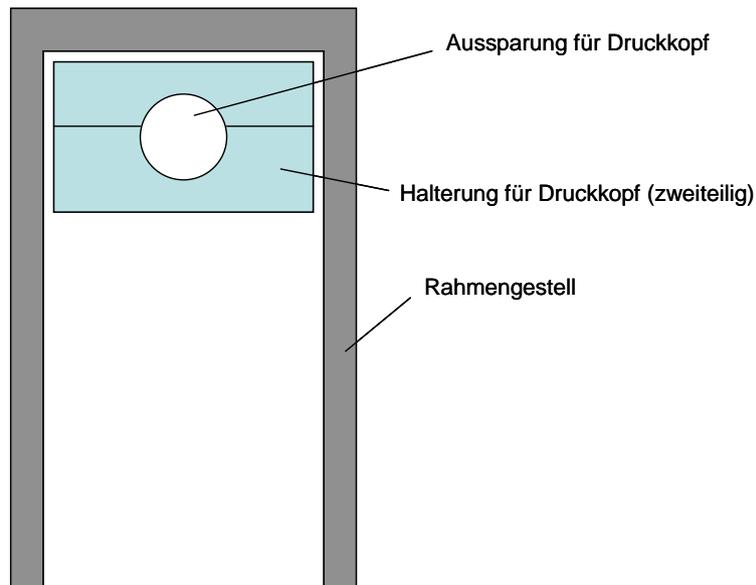


Abbildung 81: Prinzipskizze der Druckkopfhalterung (Vorderansicht)
Quelle: Eigenerstellung

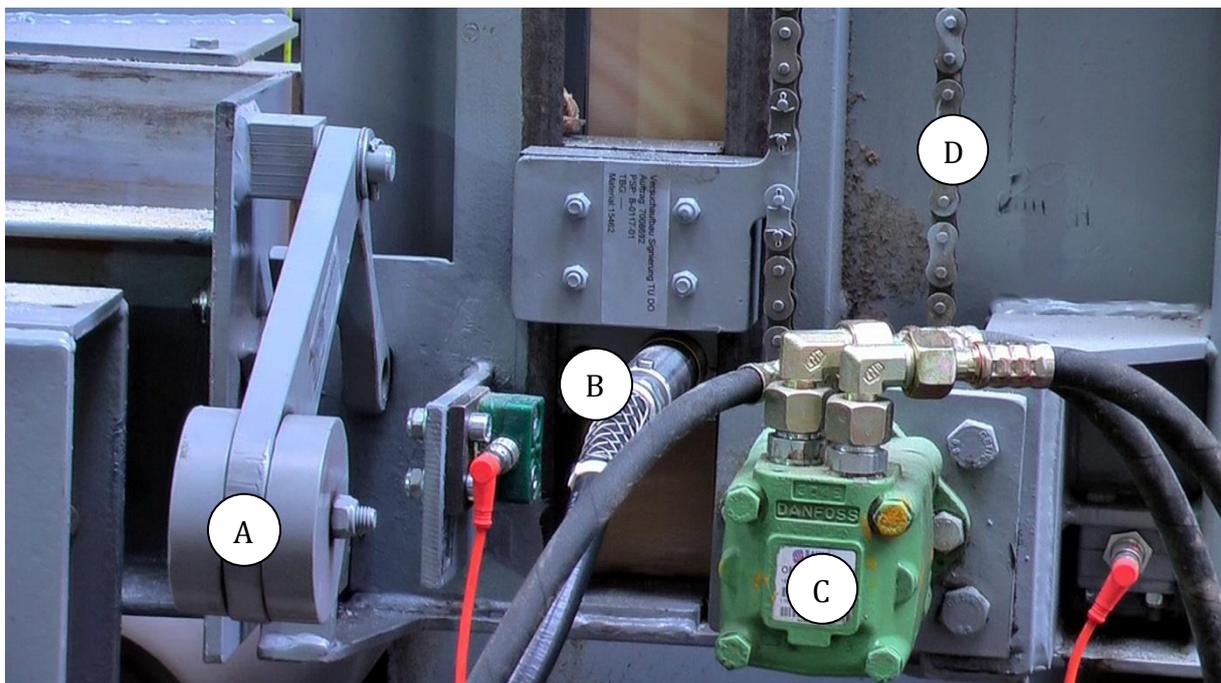


Abbildung 82: Druckkopfhalterung im Testbetrieb (erste Applikationsvorrichtung)
Quelle: Eigenerstellung

Legende zu Abbildung 82	
Buchstabe	Erläuterung
A	Gegengewicht des Anschlagpunktes. Solange der Anschlagpunkt „aktiviert“ ist, wird ein Trigger-Signal an den Drucker gesendet. Auf diese Weise wird nur gedruckt, wenn ein Model am Druckkopf (B) vorbeigefördert wird.
B	Druckkopf mit Halterung
C	Hydraulikmotor zum Antrieb der Kette (D)
D	Kette zum vertikalen Verfahren des Druckkopfes (B)

Die Halterung für den Druckkopf wird innerhalb des Gestells durch Führungsbolzen in eine vertikale Bewegungsrichtung gezwungen, während sie mittels einer über eine Umlenkrolle geführten Antriebskette, die wiederum mit einem Elektromotor verbunden ist, in der Höhe verstellt werden kann (vgl. Abbildung 82).

Um eine zielgerichtete Markierung zu ermöglichen, wurden darüber hinaus wichtige Signale der Resaw elektronisch (unter anderem mittels Drehimpulsgeber) abgegriffen und weitere Sensoren installiert. Auf diese Weise erhielt der Drucker automatisch das Signal zum Druck, sobald ein Model am Druckkopf vorbeigeführt wurde.

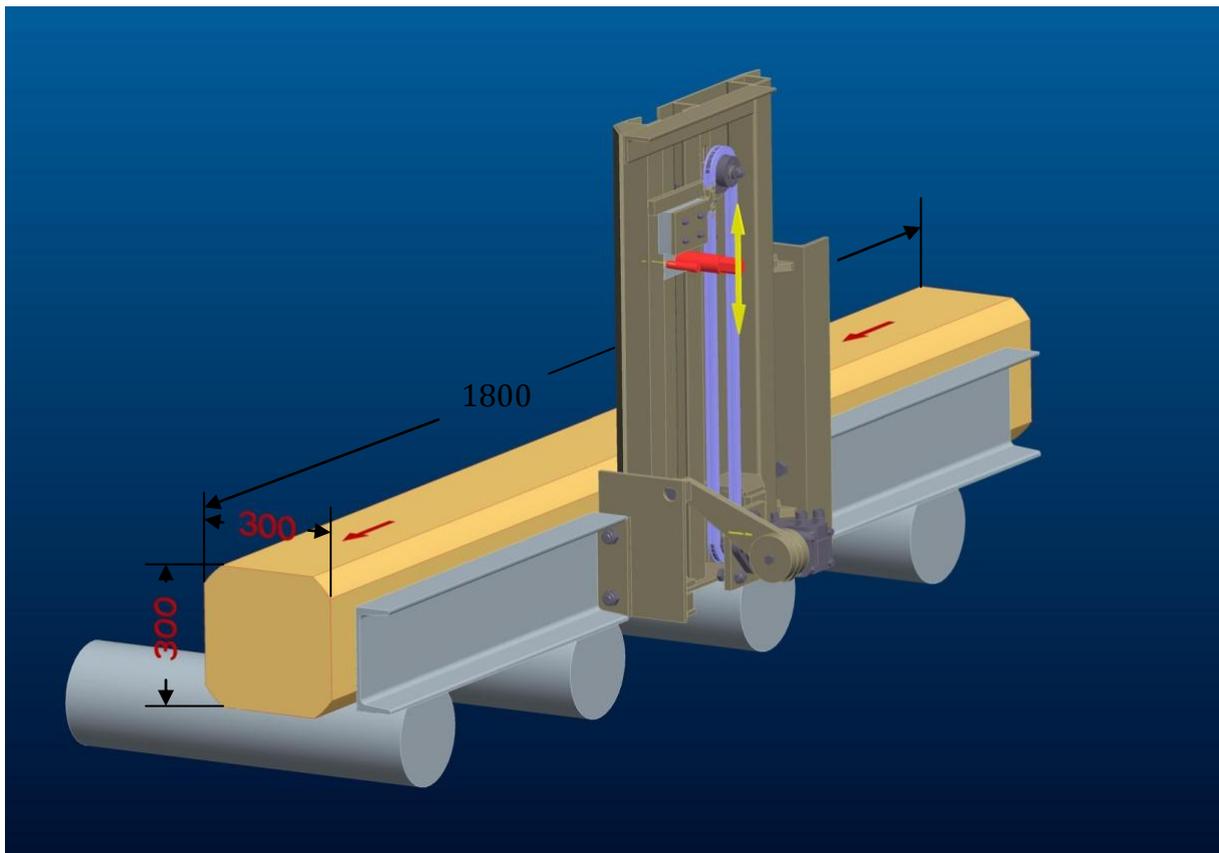


Abbildung 83: Erste Applikationsvorrichtung (3D-Darstellung)

Quelle: [14]

In der obigen Abbildung 83 ist die Vorrichtung als dreidimensionales Modell abgebildet. Die Halterung des Druckkopfes fuhr auf die korrekte Höhe, und der Drucker applizierte so lange einen Code, bis die Seite des Modells vollständig gekennzeichnet war – Abbildung 84 zeigt ein beispielhaftes Resultat. Während der Versuchsreihen wurde dabei sowohl mit Barcodes als auch mit OCR sowie einer simultanen Kennzeichnung mit beiden Symboliken experimentiert. Direkt neben dem Applikationspunkt wurde die Kamera installiert, um mindestens einen der vielen unmittelbar zuvor auf das Model applizierten Codes auszulesen (vgl. Abbildung 85).



Abbildung 84: Durch Tintendirektdruck applizierte Codes im Praxistest
Quelle: Eigenerstellung

Auf dem Foto in der rechten Bildhälfte gut zu erkennen ist, dass die Kettenförderer deutliche Abriebspuren hinterlassen, wenn die Model auf dem Querförderer zwar mittels ausfahrbaren Stempeln angehalten werden, der Kettenförderer jedoch weiterläuft und damit das Öl der Kette in das Holz einarbeitet. In diesem Bereich per Tintendirektdruck applizierte Codes haben zwangsläufig trotz prinzipiell guter Oberflächenstruktur ein schlechtes Kontrastverhältnis und sind somit schwieriger auslesbar.

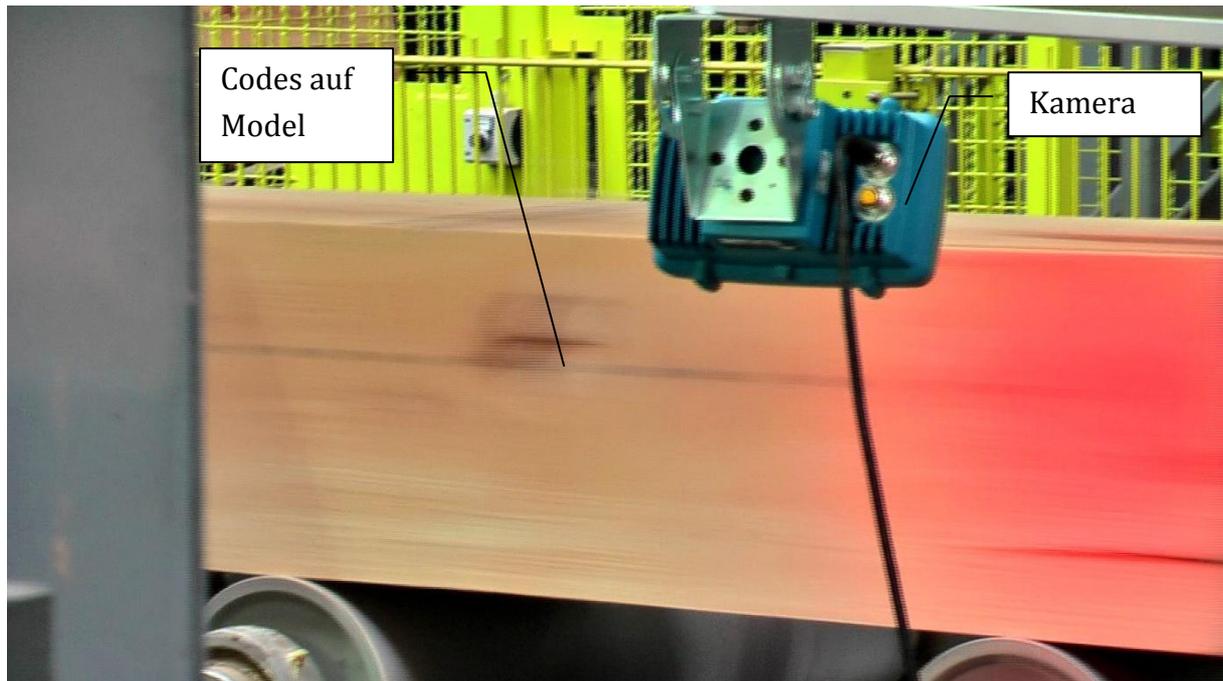


Abbildung 85: Auslesung der Tintencodes durch die installierte Kamera
Quelle: Eigenerstellung

Im Zuge der Versuchsreihen wurden mehrere Dutzend Model, die sich im normalen Betrieb der Anlage im Umlauf befanden, gekennzeichnet und anschließend identifiziert. Die Tests wurden unter normalen Betriebs- und Umgebungsbedingungen durchgeführt, d. h. die Model passierten den Applikations- und später auch den Auslesepunkt mit einer Geschwindigkeit bis zu 100 m/min. Abbildung 86 zeigt den Versuchsaufbau an der Resaw im Überblick mit Kamera (Pos. A) und Druckkopf (Pos. B) – die Förderrichtung ist an dieser Stelle von rechts nach links.

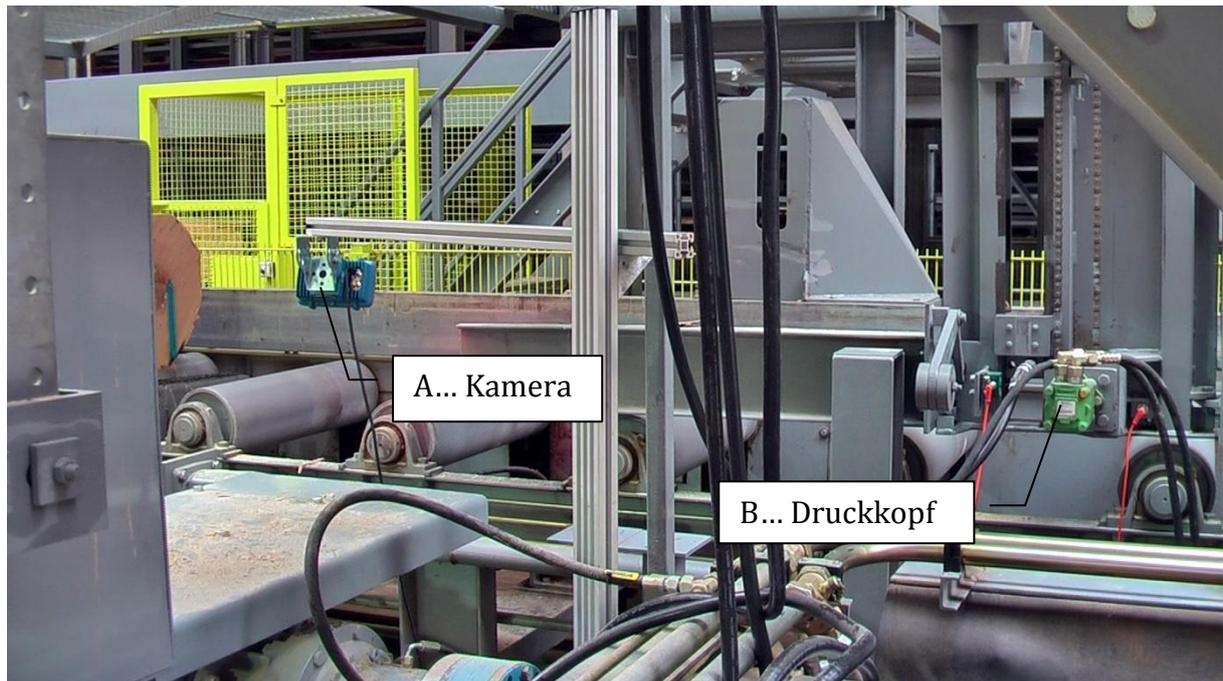


Abbildung 86: Versuchsaufbau der ersten Applikationsvorrichtung
Quelle: Eigenerstellung

Dabei hat sich herausgestellt, dass die vorhandene Applikations- und Auslesetechnik mit dieser hohen Prozessgeschwindigkeit in Verbindung mit den herrschenden Vibrationen überfordert war. Die applizierten Codes wiesen zwar überwiegend einen ausreichend hohen Deckungsgrad sowie scharfe Konturen auf (vgl. Abbildung 84), waren jedoch zum großen Teil aufgrund der Überschreitung der Spezifikationen des Druckers in die Länge gezogen und somit stark verzerrt bzw. nicht mehr innerhalb der zulässigen Toleranzbereiche. Dies führte dazu, dass die Kamera die Codes zwar visuell erfassen, jedoch aufgrund der mangelhaften Verhältnismäßigkeit von Codehöhe zu Codebreite sowie der immensen Schwingungen und Vibrationen, die kein scharfes Bild zuließen, nicht mehr im Prozessablauf decodieren konnte. Erst im Stillstand konnten einige wenige Codes identifiziert werden. Das eingesetzte Kamerasystem war softwareseitig nicht dafür ausgestattet, OCR-Codes zu lesen, so dass diese erst im Rahmen nachgelagerter Leseversuche getestet werden konnten. Es stellte sich heraus, dass auch diese Codes allenfalls im Stillstand auslesbar waren.

Insgesamt kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass eine Applikation mittels Tintenindirektdruck sowie das anschließende Auslesen zwar technisch möglich, jedoch insbesondere die Prozessgeschwindigkeit als ein entscheidender Faktor zu berücksichtigen ist. Um später lesbare Markierungen zu gewährleisten, muss die Applikation entweder an einer Stelle erfolgen, an der die Prozessgeschwindigkeit innerhalb der Toleranzen des Druckers liegt, oder es muss ein verhältnismäßig teures Drucksystem installiert werden, das mit höheren Geschwindigkeiten arbeiten kann. Eine Verringerung der Prozessgeschwindigkeit ist zwar alternativ denkbar, vermindert aber die Leistungsfähigkeit

der Anlage und ist daher nicht umsetzbar. Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt besteht in den im ganzen Werk herrschenden Vibrationen mit zum Teil sehr hoher Amplitude. Dies wirkte sich bei den Tests in Aschaffenburg ebenfalls spürbar negativ auf die erzielbaren Druck- bzw. Leseergebnisse aus, da aufgrund der starken Erschütterungen, die vor allem durch das Umsetzen der Holzprodukte von Quer- auf Längstransport sowie durch das kontrollierte Drehen der Model auf der Maschine verursacht werden, der Drucker zeitweise aussetzte bzw. die Kamera kein ausreichend ruhiges und damit scharfes Bild machen konnte.

4.2.4.2 Tests unter steuerbaren Bedingungen

Auf der Basis der erzielten, bislang jedoch wenig aussagekräftigen Ergebnisse wurde beschlossen, weitere Testreihen unter nunmehr steuerbaren Einsatzbedingungen durchzuführen. Aufgrund der maschinellen Ausstattung mussten diese Versuche in einem anderen Sägewerk erfolgen. Die Halterung für den Applikator sowie für die Kamera musste dabei von Grund auf neu konzipiert und hergestellt werden, was von einem Partnerunternehmen übernommen wurde.

4.2.4.2.1 Anforderungen und Testparameter

Für die Testreihen wurde im Rahmen geführter Vorgespräche mit dem Sägewerksbetreiber ein detailliertes Anforderungsprofil ausgearbeitet, das im Folgenden beschrieben wird und als Grundlage zur Bewertung der Testergebnisse dient.

Überprüft werden sollte die Applizierung und Auslesung von Barcodes sowie OCR mittels Tintendirektdruck unter Verwendung von MEK-Tinte in den Prozessen Kappanlage (Stirnseite), Resaw (sägefrisches Holz) und Schleiferei (getrocknetes und geschliffenes Holz). Da für eine zuverlässige Auslesung als Mindestvoraussetzung ein bestmöglicher Kontrast erforderlich ist, wurde im Rahmen der Versuche der Barcode „2 aus 5 Interleaved industrial“ gewählt, bei dem ausschließlich die gedruckten Balken zur Dekodierung erforderlich sind und die Lücken vernachlässigt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Deckkraft der Tinte ausschließliches Gewicht bekommt und die Farbe des Untergrunds nur insoweit relevant ist, als dass sie ausreichend Kontrast zu den Balken bieten muss. Dies ist bei normaler Holzfärbung der Fall, kann jedoch insbesondere bei dunkleren Brauntönen sowie bei Druck auf durch die Kettenförderer in die Holzoberfläche eingeriebenes Maschinenöl zu Verschlechterungen der Leserate führen.

In der Konsequenz bedeutet dies einen bewussten Verzicht auf den bis hierhin als Alternative berücksichtigten Datamatrix-Code, der zwar aufgrund seiner redundanten Dateneinlagerung Vorteile bei Teilerstörung des Codes bietet, aber wesentlich stärker abhängig vom Untergrund als der gewählte Strichcode ist. Darüber hinaus ist für eine eindeutige Rückverfolgbarkeit ein bis zu zehnstelliger Code erforderlich (sieben Stellen zur Übernahme der Stammkennzeichnung, eine weitere Stelle für die Nummer des Ab-

schnitts sowie zwei Stellen für die Brettnummer), so dass als Alternative zum Barcode die OCR-Variante getestet wurde. Dieser besitzt unter anderem den entscheidenden Vorteil, dass er im Falle des Versagens der maschinellen Erfassung noch von Hand gelesen und ggf. in die Software nachgetragen werden kann.

Für die Versuche wurde eine Resaw-Anlage im Werk zur Verfügung gestellt. Da das Werk zum Zeitpunkt der Tests nur in zwei Schichten in Betrieb war, konnten auf diese Weise die Versuche unter optimalen Umgebungsbedingungen durchgeführt werden, da für die Durchführung der Testreihen alle übrigen Maschinen abgeschaltet wurden und somit z. B. keine schädlichen Vibrationen die Resultate beeinflussen konnten. Die Konzentration der Tests für alle drei Anwendungsfälle auf eine Anlage machte aufwendige Umbauarbeiten überflüssig, ohne die Testbedingungen zu beeinträchtigen – im Ergebnis sollte herausgefunden werden, ob eine Applikation mittels Tintendirektdruck sowie die Auslesung der Codes in den oben genannten Anwendungsfällen technisch möglich ist. Die technische Integration in die unterschiedlichen Anlagen war nicht Zielstellung und wäre darüber hinaus vom Aufwand her einer tatsächlichen Praxisumsetzung gleichgekommen, was jedoch im Hinblick auf den Testcharakter als unverhältnismäßig erschien.

Auf der Basis der bisherigen Versuche war bekannt, dass insbesondere Risse, Astlöcher und Verfärbungen für eine sichere Kennzeichnung und Erfassung nachteilig sind. Um dennoch eine zielsichere Identifikation zu ermöglichen, sollten diese Einflussfaktoren durch Mehrfachapplikation minimiert werden, so dass letztlich stets mindestens einer der applizierten Codes erfasst werden kann. Die Zielstellung war darauf basierend also nicht eine Erfassung *aller* applizierten Codes, sondern lediglich die Erfassung eines *beliebigen* Codes einer Testsequenz. Zusätzlich sollte dokumentiert werden, welche Codes *nicht* und vor allem *warum nicht* erfasst wurden, um weitere Sicherheit über die Einflussfaktoren zu gewinnen. Insofern wurde auf eine Berechnung der Leserate über alle applizierten Codes verzichtet, da diese Messgröße im vorliegenden Fall keine Aussagefähigkeit hat.

Der eingesetzte Drucker „Excel 273SE“ (vgl. Abbildung 79) ist in der Lage, bis 20 m/min mit einer Druckmatrix von 16x24 Punkten zu drucken (ca. 1,8 cm Codehöhe) sowie bis zu 50 m/min mit einer Matrix von 10x16 Punkten (ca. 1,5 cm Codehöhe), ohne dass Verzerrungen auftreten. Da ein zweiter Druckkopf vorhanden ist, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, zwei Codereihen parallel zu drucken und somit in einem Arbeitsgang die Chance, mindestens einen der Codes auslesen zu können, zu verdoppeln. Es ist auch möglich, mit einem Druckkopf Barcodes und mit dem anderen zugleich OCR zu drucken. Für die Versuchsreihen wurde jedoch nur mit einem einzelnen Druckkopf gearbeitet. Die nachfolgende Tabelle 13 beschreibt die gesetzten Anforderungen an Druck- und Auslesegeschwindigkeit in Abhängigkeit vom jeweiligen Prozessschritt.

Tabelle 13: Anforderungen an Applikations- und Lesegeschwindigkeit bei Tintendirektdruck

Applikations- und Lesegeschwindigkeiten (Anforderungen)		
Prozessschritt	Minimale Applikations- und Lesegeschwindigkeit	Maximale Applikations- und Lesegeschwindigkeit
Stirnseitige Applikation	Applizieren: 0 bzw. 5 m/min ¹ Lesen: 0 m/min	Applizieren: 20 m/min Lesen: 20 m/min
Sägefrisches Holz	Applizieren: 30 m/min Lesen: 0 m/min	Applizieren: 100 m/min Lesen: 100 m/min
Getrocknetes Holz	Applizieren: 20 m/min Lesen: 0 m/min	Applizieren: 30 m/min Lesen: 30 m/min
¹ Der Wert wurde frei gewählt, da der Druck nicht im Stillstand erfolgen kann		

Die Anforderungen fallen je nach Anwendungsfall unterschiedlich anspruchsvoll aus. Für die stirnseitige Applikation an der Kappanlage reicht eine Kennzeichnung und Lesung im Stillstand aus, da auf dem sogenannten Begutachtungsquerförderer die einzelnen Abschnitte ausreichend lange in Ruhe gehalten werden. Da der Drucker jedoch nur bewegte Objekte bedrucken kann (oder der Druckkopf bewegt werden muss), kann an dieser Stelle bspw. der Hub der Abschnitte oder deren Vortrieb auf die nächste Begutachtungsposition genutzt werden, woraus sich die maximale Geschwindigkeitsangabe in der Auflistung ergibt. Das getrocknete Holz wird vor und nach dem Schleifen mit maximal 30 m/min gefördert, jedoch insbesondere im Quertransport auch langsamer. Das Auslesen der Codes kann an Anschlagpunkten erfolgen, so dass auch hier die Minimalanforderung für das Auslesen der Stillstand ist.

Der anspruchsvollste Anwendungsfall ist in diesem Zusammenhang das sägefrische Holz, das an der Resaw ausgelesen und bedruckt werden muss, da auf dieser Anlage eine sehr hohe Prozessgeschwindigkeit von bis zu 100 m/min erreicht wird. Jedoch existieren auch hier Zwischenschritte wie Quertransport und Anschlagpunkte, an denen die Geschwindigkeit deutlich geringer ausfällt, was zu den in Tabelle 13 aufgeführten Minimalanforderungen führt. Je Anwendungsfall wurden im Rahmen der Versuche rund 100 Codes appliziert.

4.2.4.2.2 Darstellung des Versuchsaufbaus

Verwendet wurden der bereits oben dargestellte Drucker „Excel 273e“ sowie die Kamera (vgl. Kapitel 4.2.4.1, S. 123). Die folgende Abbildung 87 zeigt den für die Testreihen genutzten Aufbau im Werk. Ein Partnernunternehmen konstruierte und baute ein passgenaues Gestell (Ansichten A und B), an dem sowohl der Druckkopf als auch die Kamera (Ansicht C) montiert werden konnten. Auf diese Weise war es möglich, durch Ausnutzung der vorhandenen Kettenförderer gezielte und in der Geschwindigkeit steuerbare Applikations- und Lesetests durchzuführen.

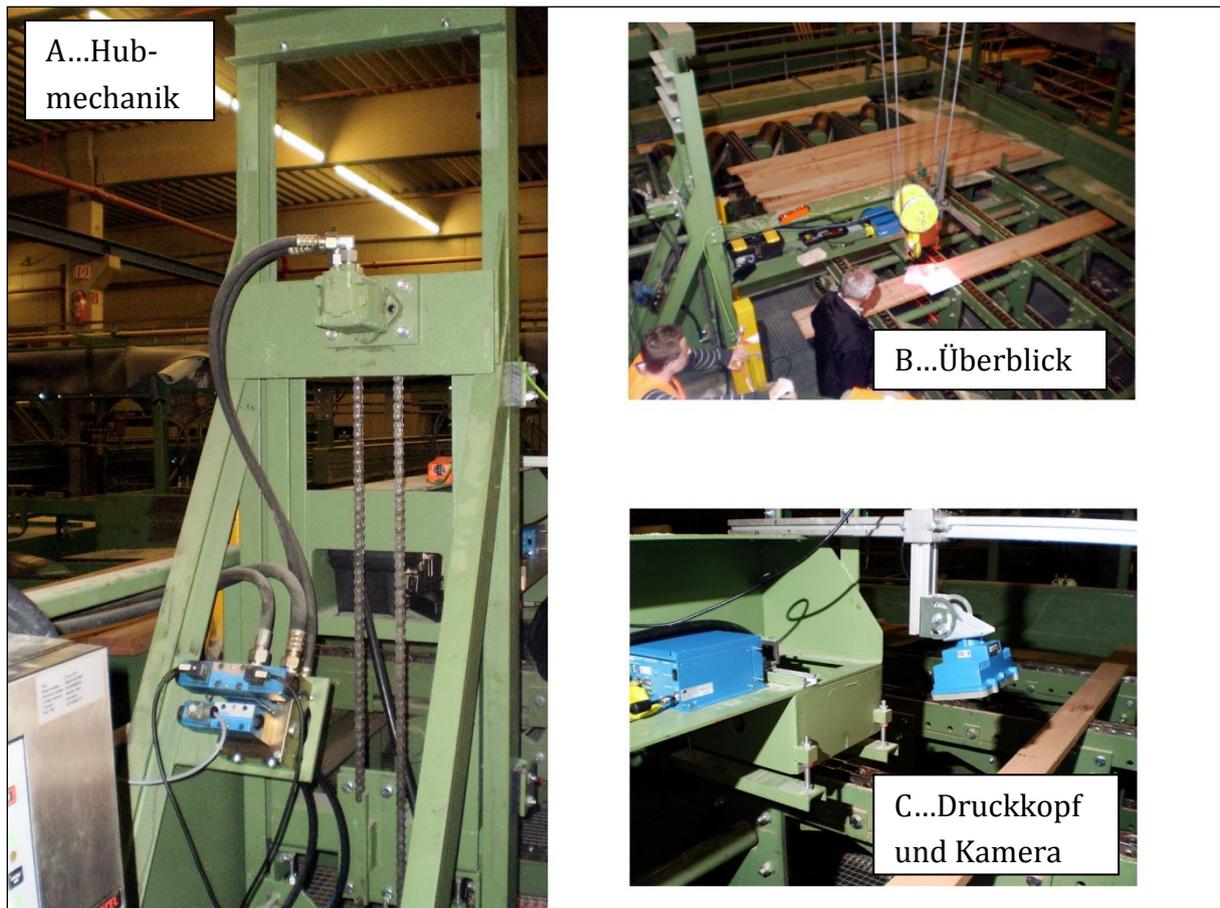


Abbildung 87: Versuchsaufbau der zweiten Applikationsvorrichtung
Quelle: Eigenerstellung

In Ansicht A der Abbildung 87 ist zu erkennen, dass analog zum Aufbau der vorhergehenden Tests (vgl. Abbildung 86, S. 129) ebenfalls eine Hubmechanik vorhanden war, um unterschiedliche Dimensionen der Holzprodukte ausgleichen zu können. So waren bspw. die getesteten Kappschnitte deutlich „dicker“ als die rohen oder getrockneten Bretter.

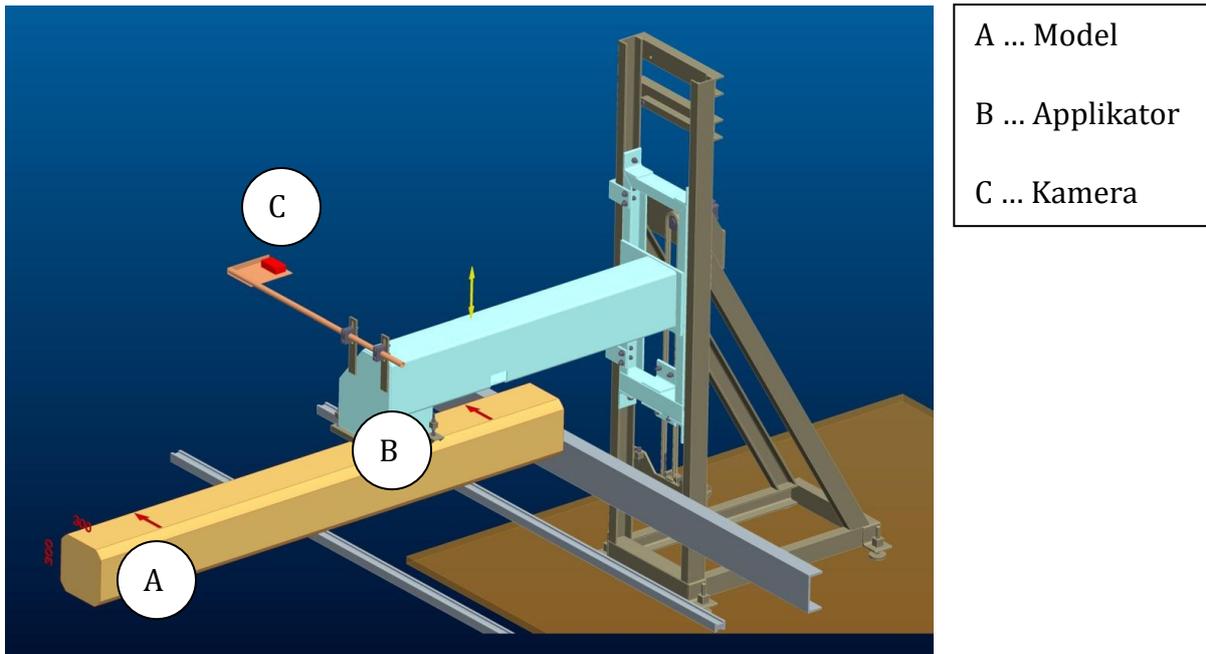


Abbildung 88: Zweite Applikationsvorrichtung (3D-Darstellung)
Quelle: [14]

In Abbildung 88 ist der Versuchsaufbau als dreidimensionales Modell abgebildet. Im gezeigten Beispiel befindet sich das Modell (A) im Quertransport und wird am Punkt B markiert, so dass am Punkt C die Codes wieder ausgelesen werden können. Der Ausleger ist dabei vertikal verfahrbar, um unterschiedliche Modelldurchmesser ausgleichen zu können.

4.2.4.2.3 Applikation auf Trockenholz (Schleiferei)

Da das getrocknete und bereits geschliffene Holz der aus Applikationssicht einfachste Anwendungsfall ist, weil auf eine im Vergleich homogene und trockene Oberfläche gedruckt wird, wurde mit diesem Produkt begonnen. Wie in Abbildung 89 zu sehen ist, konnte der verwendete Drucker auch bei 50 m/min noch optisch einwandfreie OCR-Codes auf das Holz applizieren, womit die zuvor festgelegten Anforderungen übertroffen wurden. Ein Nachtest ergab, dass die Codes ebenso einwandfrei mit gleicher Geschwindigkeit ausgelesen werden konnten – das in den Versuchen genutzte Kamerasystem war nicht dafür ausgelegt, OCR-Codes zu dekodieren.



Abbildung 89: Applizierte OCR-Codes auf Trockenholz mit 50 m/min (Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

Es ist zu erkennen, dass die in Tintentropfen – und damit einzelne Punkte - unterteilten Zahlen nur geringfügig verlaufen und daher ausreichend scharfe Konturen bilden, die von der Kamera gut erfasst werden können. Das geschliffene Holz bietet neben der sehr glatten Oberfläche kaum Kontrastunterschiede, die lediglich dort auftreten, wo durch Unebenheiten des Rohproduktes das Schleifpapier nicht greifen konnte (zu erkennen an leichten Verfärbungen am oberen Brettrand). Die Anforderung, mindestens einen der applizierten Codes zu erfassen, wurde stets erfüllt.

In der folgenden Abbildung 90 ist ein Beispielfall dokumentiert, wo Teile des mittleren Barcodes (Position A) durch das Astloch „verschluckt“ wurden. Dennoch konnte dieser Code bei 50 m/min zielsicher erfasst werden, da im unteren Bereich des Drucks keine Beschädigungen vorlagen. An dieser Stelle zeigt sich deutlich der Vorteil der Mehrfachapplikation – wäre die Applikation etwas weiter hinten bzw. oben im Bild erfolgt, wäre der gesamte Code auf das Astloch gedruckt und damit unlesbar geworden. Die Codes links und rechts davon jedoch wären auch in diesem Fall eindeutig lesbar gewesen. Auch für den Anwendungsfall der Barcodes haben die Versuche gezeigt, dass die Anforderung stets erfüllt werden konnte, mindestens einen der applizierten Codes zu erfassen.



Abbildung 90: Applizierte Barcodes auf Trockenholz mit 50 m/min (Beispiel)
 Quelle: Eigenerstellung

Abbildung 91 zeigt einen Screenshot der Auslesesoftware, welche die Bilddaten der Kamera (Position A) auswertete und im Falle einer positiven Lesung den dekodierten Code in weißer Schrift darstellte (Position B). Zu erkennen ist, dass lediglich einer der applizierten Codes erfasst werden konnte (zur besseren Erkennbarkeit mit einem Pfeil gekennzeichnet), jedoch erfüllt dies die Anforderungen und wurde somit als Erfolg gewertet. Bei höheren Geschwindigkeiten allerdings konnte mehrfach kein einziger Code erfasst werden, so dass in diesem Anwendungsfall bei 50 m/min die Grenzleistung des Systems anzusetzen ist. Da die in Tabelle 13 dargestellte Anforderung 30 m/min als Maximalgeschwindigkeit vorsah, ist diese Grenze jedoch nicht schädlich und sichert im Gegenteil ausreichend Toleranzen.



Abbildung 91: Dekodierung von Barcodes auf Trockenholz mit 50 m/min
 Quelle: Eigenerstellung

Als weiteres Beispiel zeigt die folgende Abbildung 92 die Dekodierung mehrerer Codes bei einer Fördergeschwindigkeit von 30 m/min. Die Ausgabe der Codes ist nicht syn-

chron zu den Bilddaten, da die Dekodierung eine geringe Zeitspanne benötigt, weshalb das Brett mit den Codes nur noch unvollständig im Bildausschnitt zu sehen ist. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass einzelne Codes mehrfach erfasst wurden, was jedoch im Hinblick auf die Anforderungen nicht nachteilig ist und im Bedarfsfall durch den mit der Kamera verbundenen Rechner gefiltert werden kann.



Abbildung 92: Dekodierung von Barcodes auf Trockenholz mit 30 m/min
Quelle: Eigenerstellung

4.2.4.2.4 Applikation auf die Stirnseite der Abschnitte (Kappanlage)

Im zweiten Schritt der Testreihen wurden bereitgestellte Kappschnitte bedruckt, um eine stirnseitige Applikation auf sägefrische Abschnitte zu testen. An dieser Stelle war zum einen interessant, wie die Tinte auf die Saugwirkung der Holzfasern reagiert, und zum anderen, ob aufgrund der extremen Unebenheiten, die durch die grobzahnige Kreissäge der Kappanlage entstehen, eine automatisierte Auslesung überhaupt möglich ist.

Die folgende Abbildung 93 zeigt anschaulich in der Nahaufnahme, unter welchen extremen Bedingungen Applikation und Auslesung arbeiten müssen.

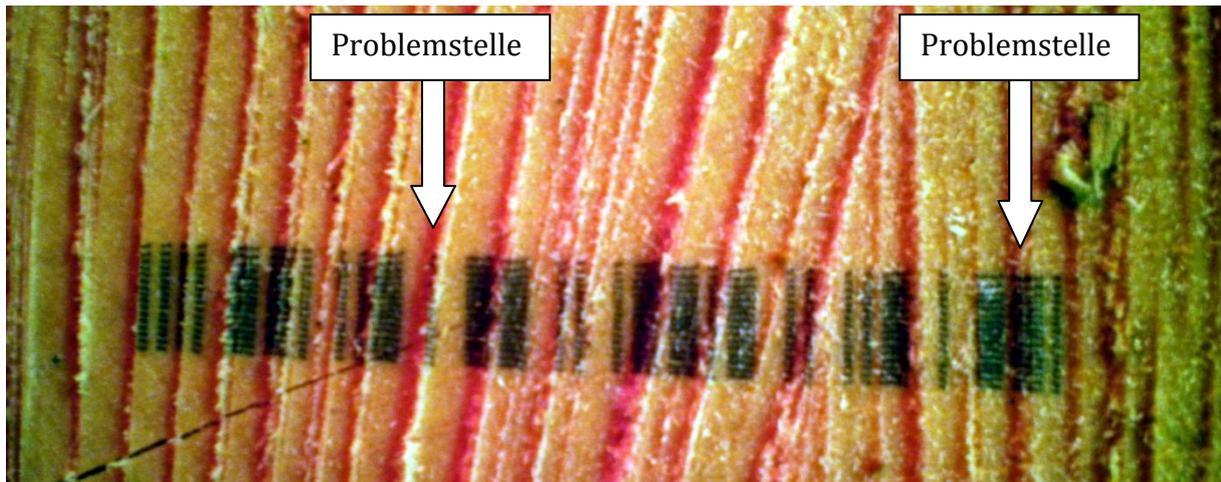


Abbildung 93: Applizierter, nicht lesbarer Barcode auf Kappschnitt (Beispiel, vergrößert)
Quelle: Eigenerstellung

Deutlich zu erkennen sind die Strukturen der Oberfläche, die durch die Kreissäge beim Zerteilen der Baumstämme entstehen. Wird ein Barcode darauf gedruckt, gehen schnell wichtige Bestandteile verloren, so dass der Code nicht mehr dekodierbar ist. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn – wie im gezeigten Beispiel – der Code parallel zu den Erhebungen gedruckt wird und somit insbesondere die schmalen Balken problematisch, jedoch auch teilweise einzelne Balken zueinander nicht mehr abgrenzbar sind (angedeutet durch die Pfeile in der Abbildung). Erfolgt der Druck hingegen quer zu den Oberflächenstrukturen, kann der Code regelmäßig noch ausgelesen werden, wie die Versuche gezeigt haben.



Abbildung 94: Oberfläche eines Kappschnitts (Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

Abbildung 94 zeigt eine beispielhafte Oberfläche einer Stirnseite aus einer übergreifenden Perspektive. Gut zu erkennen sind das etwas dunklere Kernholz in der Mitte sowie die durch die Feuchtigkeit des Holzes verursachten unterschiedlichen Farbtöne, die insgesamt zu einem sehr differenzierten erzielbaren Kontrastverhältnis in Abhängigkeit vom Applikationsort führen. Es ist ebenfalls zu sehen, dass die durch den Sägevorgang entstandene Oberflächenstruktur relativ gleichmäßig ist und einheitlich in eine Richtung verläuft, so dass eine gezielte Applikation im rechten Winkel zu dieser Richtung umsetzbar ist. Soll dies automatisiert erfolgen, ist ggf. eine entsprechende Sensorik zu entwickeln, jedoch kann dies auf dem Begutachtungsquerförderer auch manuell eingesteuert werden, da an dieser Stelle ohnehin die Abschnitte manuell ausgerichtet werden müssen.

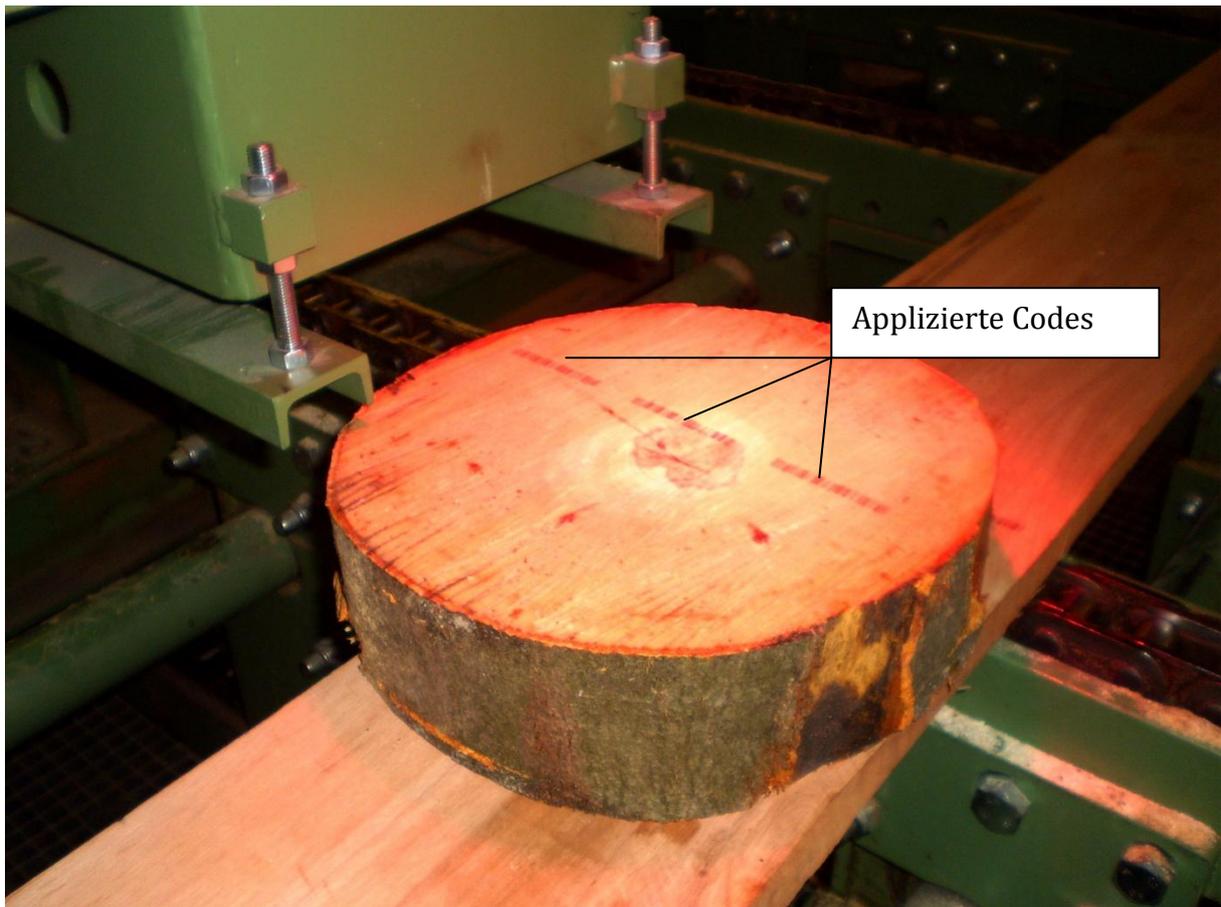


Abbildung 95: Stirnseitig applizierte Barcodes (Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

In Abbildung 95 ist einer der ersten Testläufe mit Kappschnitten dokumentiert. Auch hier war wie in allen anderen Fällen auch die Anforderung gegeben, mindestens einen der applizierten Codes zu erfassen und auszulesen. Trotz der beschriebenen schwierigen Rahmenbedingungen gelang dies in jedem getesteten Geschwindigkeitsbereich bis zu 30 m/min, was die ursprünglich gesetzten Anforderungen übertraf. Es konnte festgestellt werden, dass die Verläufe und Teilverluste an den applizierten Codes bei rechtwinklig zu den Rillen verlaufendem Druck trotz der höheren Holzfeuchte minimal sind und das Leseergebnis nicht wesentlich beeinträchtigen.

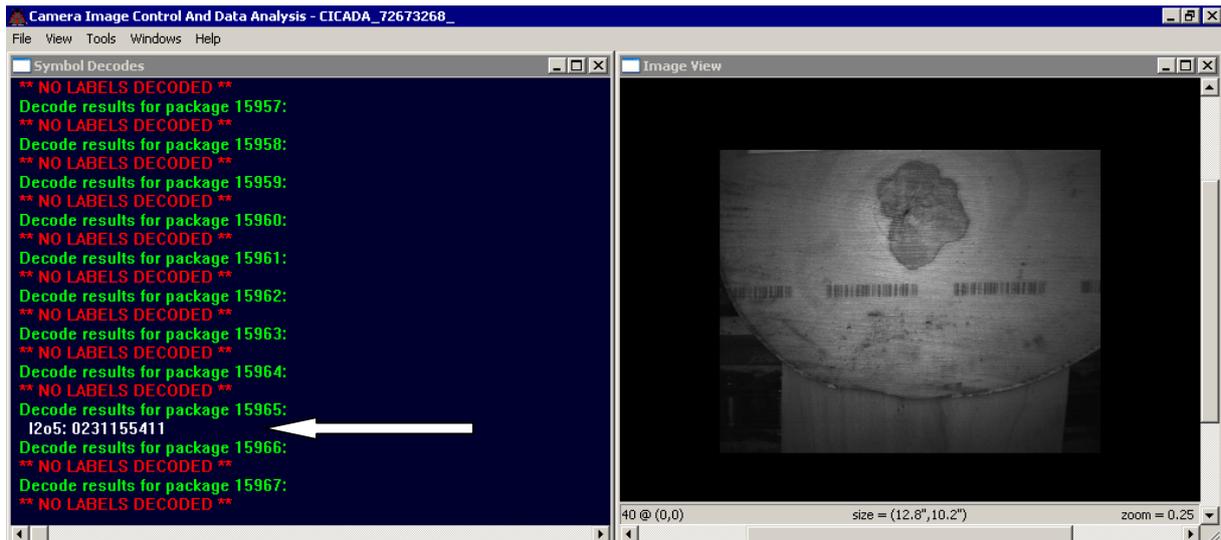


Abbildung 96: Dekodierung von Barcodes auf Stirnseite mit 30 m/min
Quelle: Eigenherstellung

Abbildung 96 zeigt ein Bildschirmfoto der Software bei 30 m/min. Bei dieser Geschwindigkeit konnte lediglich einer der applizierten Codes erfasst werden (im Bildschirmfoto links in weißer Schrift dargestellt und zur besseren Erkennbarkeit mittels Bildbearbeitung nachträglich durch den Pfeil gekennzeichnet), womit allerdings die Anforderung, mindestens einen Code zu identifizieren, erfüllt wurde. Bei höheren Geschwindigkeiten konnte keine sichere Erfassung mehr nachgewiesen werden. Grundsätzlich haben die Tests ergeben, dass zwar zielsicher mit bis zu 30 m/min appliziert werden kann, aufgrund der anspruchsvollen Oberflächenstruktur und der damit verbundenen verhältnismäßig schlechteren Qualität der Barcodes jedoch eine Auslesung im Stillstand die Prozesssicherheit deutlich erhöht. Aufgrund der bereits beschriebenen Prozessschritte am Begutachtungsquerförderer bedeutet dies keine Einschränkung im normalen Betrieb der Anlage.

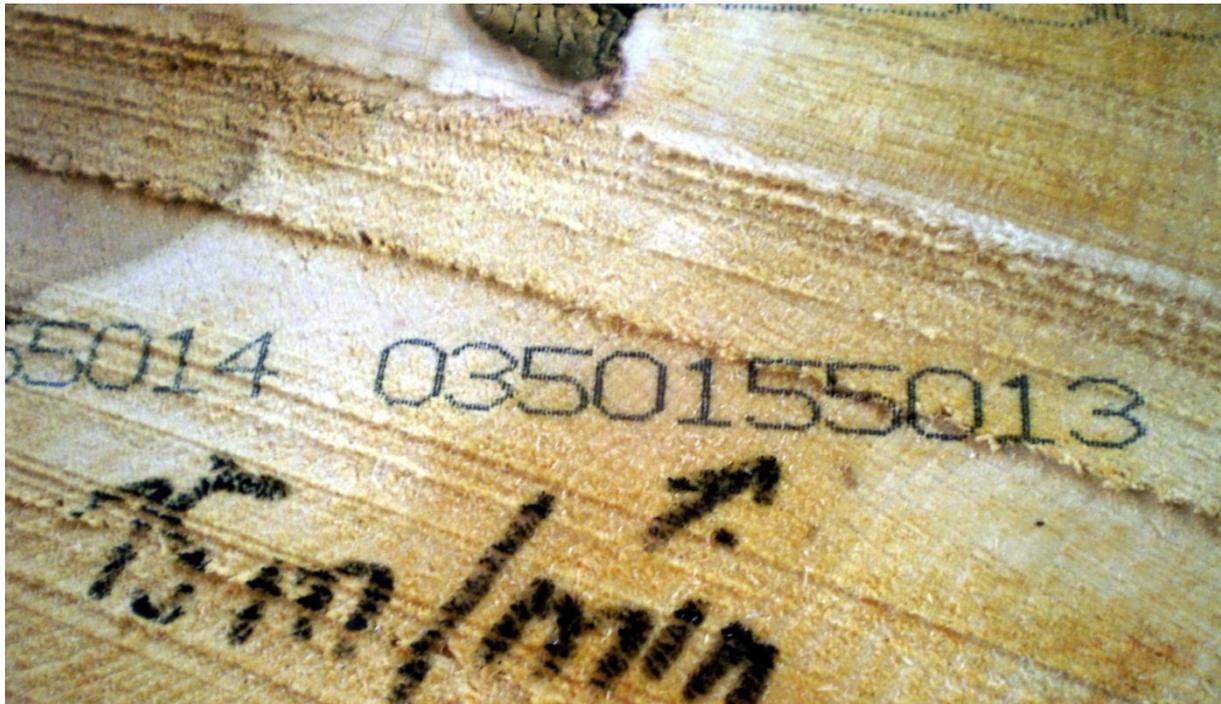


Abbildung 97: Applizierte OCR-Codes auf Stirnseite mit 15 m/min
Quelle: Eigenerstellung

Im Anschluss an die Barcode-Applikation wurden ebenfalls OCR-Codes getestet. Abbildung 97 zeigt beispielhaft mit 15 m/min applizierte Codes. Es ist deutlich zu erkennen, dass die raue Oberfläche der Stirnfläche dem Code wesentlich weniger Schaden zufügt als einem Barcode. Trotz der aufgrund der Frische des Holzes sehr hohen Feuchtigkeit sowie der natürlichen Saugwirkung der Holzfasern entsteht ein konturenscharfer Code, der im Bedarfsfall auch manuell erfasst werden kann. Die verwendete MEK-Tinte trocknet sehr schnell und macht den Code somit bspw. resistent gegen Verwischungen durch mechanische Einflüsse.



Abbildung 98: Applizierte OCR-Codes auf Stirnseite mit 30 m/min
Quelle: Eigenerstellung

Da der verwendete Drucker ab einer Geschwindigkeit von 20 m/min nur noch eine kleinere Druckmatrix mit 10x16 Punkten verwenden kann, wurden die Codes bei entsprechend höherer Geschwindigkeit zum einen kleiner, wiesen zum anderen aber auch eine deutlich erkennbar geringere Deckkraft auf (vgl. Abbildung 98). Dennoch ist der Zahlen-

code optisch gut erkennbar, wenngleich anfälliger für Kontrastprobleme bei dunklerem Applikationsuntergrund. Im Stillstand bzw. bis zu einer Geschwindigkeit von 20 m/min konnte der abgebildete Code jedoch noch ausgelesen werden.

Auf der Basis der Ergebnisse kann für die stirnseitige Applikation mittels Tintendirekt-druck daher die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Codes – unabhängig davon, ob es sich um Barcodes oder OCR handelt – im Hinblick auf eine ausreichend hohe Prozesssicherheit mit maximal 15 m/min appliziert und idealerweise im Stillstand ausgelesen werden sollten. Höhere Geschwindigkeiten sind realisierbar, erfordern allerdings entweder die Bereitschaft, eine geringere Leserate zu akzeptieren, oder die Investition in sehr kostenintensive Applikations- und Auslesetechnik.

4.2.4.2.5 Applikation auf sägefrisches Holz (Resaw)

Der dritte und zugleich anspruchsvollste Test bezog sich auf die Bedruckung und Auslesung von sägefrischem Schnittholz. Wie bereits weiter oben ausführlich dargestellt, muss die Kennzeichnung der Bretter auf der breiten Seite erfolgen, damit anschließende Bearbeitungsvorgänge wie Trimmen und Säumen die Codes nicht vernichten, wie dies bspw. bei stirnseitiger Applikation zwangsläufig der Fall wäre. Vor diesem Hintergrund sollten die Codes kontinuierlich auf das Brett appliziert werden, um stets mindestens eine der Kennzeichnungen auslesen zu können. Durch die Verwendung von zwei Druckköpfen können darüber hinaus in gleichem Zeitrahmen die doppelte Anzahl an Markierungen aufgebracht werden, was jedoch die laufenden Kosten gleichsam verdoppelt. Abbildung 99 zeigt beispielhaft zwei auf diese Weise bedruckte Bretter.



Abbildung 99: Auf sägefrisches, feuchtes Holz applizierte Barcodes (Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

Aufgrund der Vielzahl der applizierten Codes über die gesamte Brettlänge konnte auch bei bis zu 30 m/min eine sichere Identifikation erreicht werden. Die folgenden Abbildungen zeigen die erfolgreiche Auslesung bei 30 m/min (Abbildung 100) sowie bei 50 m/min (Abbildung 101). Hierzu ist anzumerken, dass es sich bei der letztgenannten Geschwindigkeit lediglich um die Applikation handelte, die Erfassung jedoch im Stillstand erfolgte – die Anforderung, mindestens einen Code zu erfassen, konnte lediglich bis zu 30 m/min Lesegeschwindigkeit erfüllt werden. Höhere Geschwindigkeiten als 50 m/min konnten aufgrund der technischen Beschränkungen des Druckers nicht realisiert werden. Die gesetzten Minimalanforderungen wurden jedoch vollständig erfüllt.



Abbildung 100: Dekodierung von Barcodes auf sägefrischem Holz mit 30 m/min
Quelle: Eigenerstellung

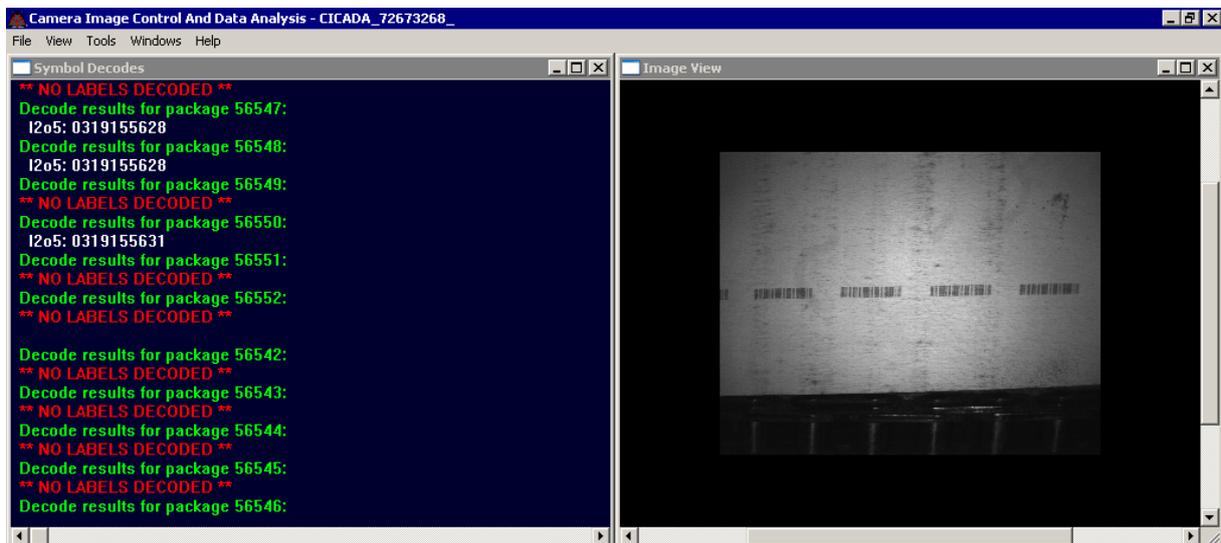


Abbildung 101: Dekodierung von Barcodes (50 m/min) auf sägefrischem Holz im Stillstand
Quelle: Eigenerstellung

Die zuvor beschriebenen Versuche haben gezeigt, dass eine qualitativ hinreichende Applikation von Barcodes und Klarschrift mittels Tintendirektdruck in allen im Sägewerk vorkommenden Einsatzfällen technisch möglich ist, sofern dafür passende Umgebungsbedingungen geschaffen werden. Auch die Auslesung der Codes ist realisierbar, setzt jedoch eine bestmögliche Applikation voraus.

Konkret bedeutet dies zunächst, dass sowohl der Drucker als auch die Kamera von den Schwingungen und Vibrationen entkoppelt werden müssen, bspw. durch Gründung im Fundament des Gebäudes oder durch Montage auf passend dimensionierten Dämpfungselementen. Es konnte nachgewiesen werden, dass in diesem Fall sowohl eine sichere Applikation als auch Auslesung im Rahmen der Anforderungen möglich sind, ohne dass wesentliche Prozessparameter nachteilig verändert werden müssen. Dies beruht

insbesondere auf der Mehrfachapplikation der Codes auf das Holz, da in diesem Fall stets mindestens einer der Codes erfasst werden kann. Die Applikation eines einzelnen Codes würde zwar die Verbrauchskosten, zugleich jedoch auch die Erfassungsrate signifikant senken, so dass diese Variante nur dann empfohlen werden kann, wenn eine – bspw. durch entsprechend gekoppelte Sensorik garantierte – zielsichere Applikation an einer unproblematischen Stelle umsetzbar ist. Doch auch dann verbleibt das Risiko, dass eine Informationslücke entsteht, wenn der einzige Code dennoch nicht lesbar ist oder später unlesbar wird.

Insbesondere häufig vorkommende Verfärbungen und Astlöcher sowie Risse im Holz führen dazu, dass ein dort applizierter Code teilweise „verschluckt“ und damit potenziell unlesbar wird, so dass als Lösungsmöglichkeiten entweder die Mehrfachapplikation oder ein gezieltes Aufsprühen mit vorheriger Aufbringung einer weißen Deckschicht verbleiben. Die weiße Farbe maximiert den Kontrast und erhöht damit die Leserate eines einzelnen Codes um ein Vielfaches, muss jedoch gezielt und damit exakt gesteuert aufgebracht werden. Doch auch diese Methode versagt bei größeren Rissen und Astlöchern.

Im Hinblick auf die zu erreichende Applikations- und Auslesegeschwindigkeit kann gesagt werden, dass für alle drei Einsatzfälle (Stirnseite, feuchtes und getrocknetes Holz) die verwendeten Gerätschaften geeignet sind, um sowohl Strich- als auch OCR-Codes sicher zu applizieren und zu lesen. Problematisch ist allein – jedoch erwartungsgemäß – das sägefrische Holz, bei dem eine Applikation zwar mit bis zu 50 m/min erfolgreich durchgeführt werden konnte, eine sichere Auslesung jedoch aufgrund des durch die Feuchtigkeit verursachten schlechteren Kontrastes nur bis 30 m/min möglich war. Die nachfolgende Tabelle 14 gleicht die in Tabelle 13 (S. 132) genannten Anforderungen mit den Testresultaten ab.

Tabelle 14: Ergebnisse der Applikations- und Leseversuche bei Tintendirektdruck im Werk

Applikations- und Lesegeschwindigkeiten (Testergebnisse)				
Prozessschritt	Minimale Applikations- und Lesegeschwindigkeit (Anforderung)	Maximale Applikations- und Lesegeschwindigkeit (Anforderung)	Erzielte maximale Geschwindigkeiten	Anforderung erfüllt
Stirnseitige Applikation	Applizieren: 5 m/min ¹ Lesen: 0 m/min	Applizieren: 20 m/min Lesen: 20 m/min	Applizieren: 30 m/min Lesen: 30 m/min	Anforderungen übertroffen
Sägefrisches Holz	Applizieren: 30 m/min Lesen: 0 m/min	Applizieren: 100 m/min Lesen: 100 m/min	Applizieren: 50 m/min Lesen: 30 m/min	Minimale Anforderungen erfüllt
Getrocknetes Holz	Applizieren: 20 m/min Lesen: 0 m/min	Applizieren: 30 m/min Lesen: 30 m/min	Applizieren: 50 m/min Lesen: 50 m/min	Anforderungen übertroffen

¹ Druck kann nicht im Stillstand erfolgen

Bis auf den Anwendungsfall des sägefrischen Holzes konnten alle Anforderungen vollständig erfüllt bzw. sogar übertroffen werden. Die maximale Applikationsgeschwindigkeit von 100 m/min übersteigt die Möglichkeiten des eingesetzten Druckers und konnte daher nicht erreicht werden, jedoch haben die Resultate bis 50 m/min gezeigt, dass die Applikation grundsätzlich möglich ist, so dass ein für höhere Geschwindigkeiten ausgelegtes Drucksystem genutzt werden kann, sofern kein Applikationspunkt mit niedrigerer Fördergeschwindigkeit installiert werden kann. Wenn an der Resaw aus diesem Grund im Quertransport appliziert wird, kann der Druckkopf nicht vertikal fixiert werden, sondern muss flexibel auf unterschiedliche Modeldurchmesser einstellbar sein, wobei die entsprechend notwendige Höhenverstellung basierend auf einer Messung des jeweils aktuellen Modeldurchmessers aufgrund der hohen Systemleistung automatisch erfolgen muss.

Die Ausleseversuche haben darüber hinaus gezeigt, dass – mit Ausnahme der Trockenholzapplikation – in der Nähe der Grenzleistung des Druckers die applizierbare Tintenmenge je Zeiteinheit teilweise nicht mehr ausreicht, um ein optimales Kontrastverhältnis zu erzielen, so dass die Codes nur bei einer Auslesegeschwindigkeit von bis zu 30 m/min sicher erkannt werden konnten. Da die Auslesung jedoch in der Regel an einem Anschlagpunkt und damit auch im Stillstand erfolgen kann, ist dieses Ergebnis nicht negativ zu bewerten, sondern allenfalls im Hinblick auf die Positionierung der Kamera zu berücksichtigen. In Bezug auf die Ausleseergebnisse stellte sich zudem heraus, dass die einzelnen Parameter der Kamera (Beleuchtungsintensität, Belichtungszeit, Fotos pro Sekunde etc.) eine entscheidende Rolle spielen und fallspezifisch eingestellt werden müssen, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Da diese Einstellungen jedoch wesentlich von den herrschenden Umgebungsbedingungen abhängen, kann diesbezüglich an dieser Stelle keine präzise Empfehlung ausgesprochen werden, stattdessen müssen die jeweils geeigneten Einstellungen durch gezielte Parametervariation auf der Basis von Erfahrungswerten umgebungsspezifisch feinjustiert werden.

Zusätzlich wurden im Rahmen der projektbezogenen Aufgabenteilung an der TU München Versuche mit Lasersystemen durchgeführt [14]. Bei feuchtem Holz führte eine Applikationsgeschwindigkeit von 30 m/min zu in der Regel ausreichend gut erkennbaren Kennzeichnungen, wobei die Applikationsdauer je nach Holzfeuchte und Beschaffenheit des Untergrunds bei maximal ca. 1 Sekunde lag. Grundsätzlich hängt die Einbrenntiefe des Codes von den Faktoren Schreibgeschwindigkeit, Energieleistung und Holzfeuchte ab.

4.3 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen

In diesem Abschnitt erfolgt eine Bewertung der erzielten Ergebnisse mit den zuvor dargestellten Anforderungen, um den Zielerreichungsgrad zu identifizieren sowie konkrete Handlungsempfehlungen zu geben. Als übergreifendes und für alle Schritte geltendes

Ergebnis kann festgehalten werden, dass zwingend eine Entkopplung der Applikations- und Auslesetechnik von den vorhandenen Schwingungen erfolgen muss, da ansonsten weder akzeptable Codequalitäten noch Leseergebnisse erzielt werden können.

4.3.1 Kappanlage

Die Identifikation der Baumstämme auf der Kappanlage mittels einer an passender Stelle montierten RFID-Antenne ist unkritisch und sehr einfach umsetzbar. Da es sich je Baumstamm stets nur um einen einzigen Transponder handelt, ist dessen Erfassung – sofern keine mechanische Beschädigung vorliegt – ohne Schwierigkeiten durchführbar. Die Neukennzeichnung der einzelnen Abschnitte muss allerdings an einer Stelle erfolgen, wo insbesondere die Schwingungen und Vibrationen der Maschine aufgefangen werden können. Anstelle einer Integration in das Anschlagsschwert ist daher zu empfehlen, die Kennzeichnung am Begutachtungsquerförderer vorzunehmen. Die Tests haben nachgewiesen, dass dort eine sichere Kennzeichnung und Auslesung möglich ist. Die softwareseitige Integration in die Steuerung der Anlage ist aufgrund der bereits vorhandenen Datenstrukturen mit geringem Aufwand umsetzbar. Der verwendete Code sollte aus der Nummer des Baumstamms (sieben Stellen) sowie einer ergänzenden Ziffer zur Kennzeichnung der Abschnittsnummer bestehen, insgesamt also achtstellig sein.

4.3.2 Blockbandsäge

Neben der Resaw weist diese Anlage die stärksten Schwingungen und Vibrationen mit zum Teil sehr hohen Amplituden auf, die nur unter sehr hohem Aufwand an den für Applikations- und Lesevorgänge notwendigen Stellen aufgefangen werden können. Da die Umsetzung einer derartigen Lösung vom Aufwand her bereits einer vollständigen, finalen Installation nahekommt, war dies im Rahmen der Testreihen nicht umsetzbar. Die hier notwendige Applikation auf sägefrischem Holz ist technisch jedoch gleichzusetzen mit der Aufgabenstellung an der Resaw, so dass die dort erzielten Ergebnisse für die Blockbandsäge ebenfalls anwendbar sind.

Als theoretische Konzeption eines möglichen Ablaufs wurde das folgende Szenario entwickelt: Die ankommenden Model sind stirnseitig an der Kappanlage bereits gekennzeichnet worden. Diese Markierung muss erfasst werden, um sie auf die entstehenden Brettflächen neu applizieren zu können. Entsprechende Identifikationspunkte lassen sich komfortabel beim Zulauf der Maschine installieren, wo die Abschnitte sauber ausgerichtet im Quertransport angeliefert werden, was eine relativ sichere Erfassung der stirnseitigen Kennzeichnung ermöglicht. Im weiteren Verlauf der Bearbeitungsschritte an der Maschine ist es erforderlich, die nach dem Abschnitt der sog. „Schwarten“, also der äußeren Rindenschichten, entstehenden Brettflächen („Opening Faces“) neu zu kennzeichnen. Die im Sägewerk Aschaffenburg genutzte Säge verfügt über zwei Sägeblätter, die in einem Arbeitsgang zwei Seiten des Abschnitts bearbeiten können. So ent-

stehen durch die Förderung des Abschnitts in die eine Richtung zwei Seiten und nach Drehung um 90° und der Rückförderung in die Ausgangsposition weitere zwei Seiten, so dass am Ende der ursprüngliche Abschnitt zu einem Model mit vier Seitenflächen geworden ist. Es ist daher erforderlich, nach beiden Sägevorgängen jeweils zwei gegenüberliegende Seiten zugleich zu kennzeichnen, was jedoch aufgrund des Aufbaus der Maschine mindestens vier Druckköpfe erfordert, die jeweils zu beiden Seiten der Sägeblätter angeordnet sind (vgl. Abbildung 102).

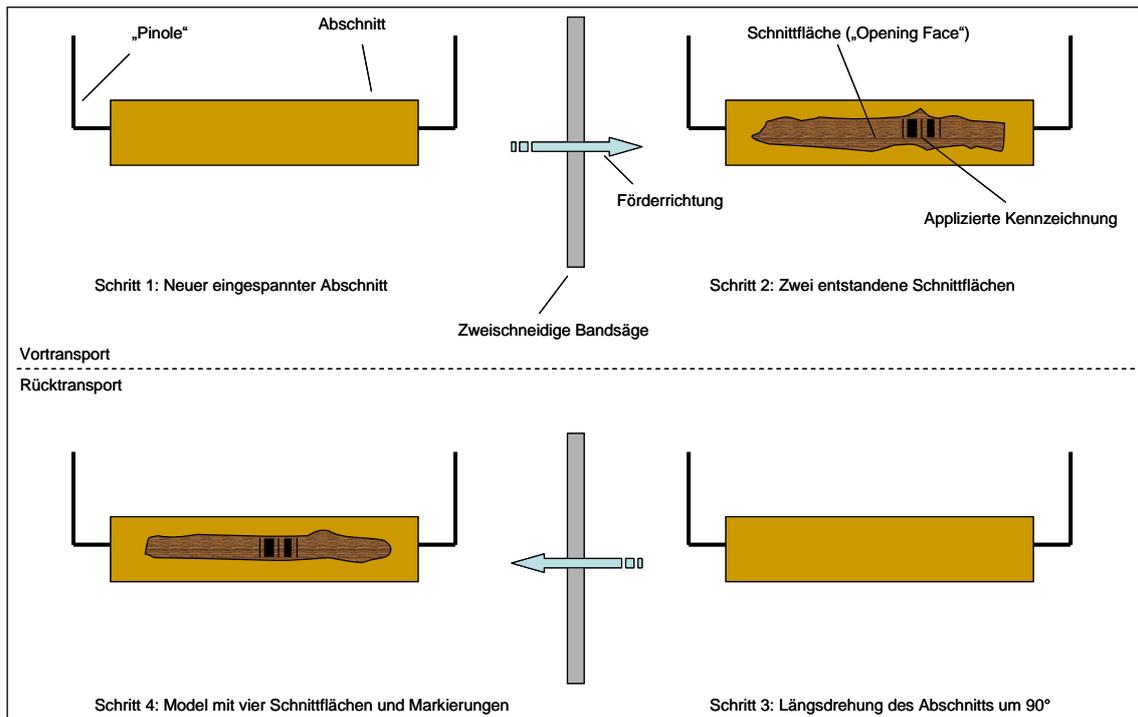


Abbildung 102:Prinzipskizze der Applikationslösung an der Blockbandsäge (Seitenansicht)

Quelle: Eigenerstellung

Dies ist deswegen nötig, weil naturgemäß die Flächen erst gekennzeichnet werden können, sobald diese existieren. Das ist jedoch erst nach dem entsprechenden Sägeschnitt der Fall, so dass der Applikator im Prozessverlauf der Säge nachgelagert positioniert werden muss. Da die Maschine einmal vor- und einmal zurückfördert, sind dementsprechend auf beiden Seiten der Sägen Druckköpfe erforderlich, insgesamt also vier Stück. Wie bereits dargestellt, konnte eine Umsetzung des beschriebenen Konzeptes mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht realisiert werden, so dass an dieser Stelle des Prozesses keine Praxisversuche durchgeführt wurden. Es sei noch einmal betont, dass die Problematik jedoch allein auf die ingenieurtechnische Integration in den maschinellen Ablauf beschränkt ist, da die Anforderungen an die Bedruckung der Modelfläche an dieser Stelle identisch zu denen an der Resaw sind. Auf der Basis der in Kapitel 4.2.4.2.5 (Seite 143) dargestellten Ergebnisse kann gesagt werden, dass eine Kennzeichnung der Schnittflächen mittels Tintendirektdruck möglich ist, sofern die notwendige Entkoppelung von den Vibrationen durchgeführt wird. Eine Applikation mittels Laser ist ebenso

technisch möglich, aufgrund der Notwendigkeit von vier Applikationspunkten und damit vier Lasersystemen allein an dieser Maschine jedoch nicht wirtschaftlich – die zusätzlichen Kosten würden den Wert der gesamten Maschine erreichen.

Da das getestete Drucksystem mit zwei Druckköpfen arbeiten kann, sind für eine Praxisanwendung mit Tintendirektdruck lediglich zwei Drucker erforderlich.

4.3.3 Resaw

An dieser Stelle muss das sägefrische Holz nach jedem Sägevorgang neu gekennzeichnet werden, und zwar mit der bisherigen Modelnummer (bestehend aus einer siebenstelligen Stamm- sowie einer einstelligen Abschnittsnummer) ergänzt um zwei Stellen für die Brettnummer, also mit einem insgesamt zehnstelligen Code. Die in Kapitel 4.2.4 ab Seite 123 gezeigten Testresultate haben nachgewiesen, dass dies zwar technisch möglich ist, jedoch die Anwendung in der Praxis so gestaltet werden muss, dass neben der Entkopplung von Schwingungen die maximale Fördergeschwindigkeit die maximale Druckgeschwindigkeit nicht übersteigt und zudem die Auslesung an einer Stelle erfolgt, an der das Holz idealerweise kurzzeitig zur Ruhe kommt.

Eine mögliche, technisch jedoch sehr aufwendige Alternative besteht darin, den Druckkopf vertikal und horizontal verfahrbar auf einem Überbau zu befestigen, um die Model im vergleichsweise langsamen Quertransport nach dem Sägeschnitt von oben zu bedrucken. Dies erfordert aufgrund des zu garantierenden Maximalabstands zur Applikationsoberfläche eine zuverlässig arbeitende Sensorik sowie eine schnelle Verfahrmekhanik, um zeitgleich zum Quertransport der Model mehrere längsseitige Markierungen applizieren zu können. Alternativ kann eine Kennzeichnung quer zum Model gewählt werden, die unter Verwendung von zwei Druckköpfen auf verschiedene Abschnitte der Modeloberfläche verteilt werden kann und somit die Chance auf Lesbarkeit eines der Codes erhöht. Bei dieser Version kann das Gerüst der Halterung starr installiert werden, lediglich die Druckköpfe müssen vertikal und ggf. zum sensorgesteuerten Ausgleich von Holzfehlern auch horizontal verfahrbar sein – durch die Nutzung von zwei Druckköpfen kann die jeweils notwendige horizontale Verfahrestrecke jedoch kurz gehalten werden. Bei Verwendung eines Lasers ist ausschließlich eine Kennzeichnung im Quertransport bei fester horizontaler Positionierung umsetzbar, da die empfindliche Laserspiegel-Mechanik die durch das Verfahren verursachten Belastungen nicht dauerhaft kompensieren kann. Die Versuche haben gezeigt, dass eine sichere Erfassung der Codes auch bei Applikation quer zur Modelfläche möglich ist, sofern Holzfehlern ausgewichen werden kann.

4.3.4 Trocknung

Mit den Versuchsreihen konnte nachgewiesen werden, dass mit MEK-Tinte applizierte Kennzeichnungen den Trocknungsprozess schadlos überstehen und anschließend ohne

Performanceeinbußen auslesbar sind. Auch mit einem Laser applizierte Codes waren noch erkennbar, da sie durch Einbrennen in die Oberfläche unempfindlich gegen chemische Veränderungen sind. Farbliche Markierungen hingegen veränderten sich zum Teil sehr stark und wiesen damit für Farbsensoren eine zu hohe Abweichung vom Originalfarbton auf, so dass eine zielsichere automatische Dekodierung nicht möglich war. Die Verwendung von farbigen Codes zur Kennzeichnung von Schnittholz scheidet somit aus.

4.3.5 Schleiferei

Vor dem Schleifprozess müssen die Codes zunächst unter den genannten Bedingungen erfasst werden. Im Rahmen der zugehörigen, in Abschnitt 4.2.4.2.3 (S. 134 ff.) beschriebenen Versuche wurde dies nicht an der Anlage selbst überprüft, da eine Installation mit den vorhandenen Kameras nur einen Teilbereich hätte abdecken können und zudem zuvor gekennzeichnete Bretter mit sehr hohem Aufwand gezielt hätten der Maschine zugeführt werden müssen. Die erzielten Testergebnisse belegen allerdings, dass sowohl das Auslesen als auch das Neukennzeichnen von trockenem Holz ein vergleichsweise simpler Anwendungsfall und auch bei hohen Geschwindigkeiten zielsicher umsetzbar ist. Da die Bretter prozessbedingt nur einseitig bedruckt sind, muss die Identifikation am Zulauf der Schleifmaschine beidseitig, d. h. sowohl von oben als auch von unten erfolgen, was den parallelen Einsatz mehrerer Kameras sowie eine ausreichend starke Beleuchtung voraussetzt. Die für die Versuche genutzten Geräte verfügen bereits über integrierte LED-Lampen zur Ausleuchtung ihres Erfassungsbereiches, so dass in diesem Fall lediglich entsprechende Softwareparameter wie Leuchtintensität, Belichtungszeit etc. einzustellen sind und auf zusätzliches Umgebungslicht verzichtet werden kann.

Die Applikation sollte am der Maschine nachgelagerten Querförderer erfolgen, wo die Bretter bei Bedarf bspw. durch unterschiedlich schnell laufende Ketten vereinzelt und somit gezielt markiert werden können. Da die Reihenfolge der Bretter im Vergleich zur Erfassung vor dem Schleifvorgang identisch ist, muss im Rahmen der Erfassung sowie der Datenspeicherung lediglich sichergestellt werden, dass die Position der jeweiligen Codes innerhalb des Brettteppichs erfasst und gespeichert wird, so dass den Brettern ihr ursprünglicher Code wieder zugeordnet werden kann. Letztlich müssen je Brett mindestens ein Code erfasst sowie Mehrfachauslesungen ausgefiltert werden. Da jedes Brett gemäß dem vorgestellten Konzept individuell gekennzeichnet ist (Nummer des Baumstamms + Nummer des Abschnitts + Brettnummer), kommt es nicht vor, dass mehrere Bretter die gleiche Kennzeichnung aufweisen.

4.3.6 Qualitätsbeurteilung

An dieser Stelle ist gemäß des vorgestellten Konzeptes jedes Brett mit einem zehnstelligen Zifferncode – wahlweise in Form eines Barcodes oder mittels OCR – eindeutig gekennzeichnet. Bei Bedarf kann der Mitarbeiter diesen Code um einen weiteren ergänzen,

der bspw. die Qualitätsstufe bezeichnet. Dies kann aufgrund des geschliffenen und trockenen Holzes zum Beispiel mittels eines einfachen Handapplikators (Abbildung 65, S. 107) erfolgen, an dem zuvor eine der 13 genutzten Qualitätsstufen eingestellt werden kann. So erhält der Kunde mit jedem Brett eine ausführliche Herkunftsdocumentation, und der Sägewerksbetreiber kann an dieser Stelle die Produktdaten (finale Abmessungen, ursprünglicher Baumstamm, Abschnittsnummer und damit Position innerhalb des Stamms etc.) mit der finalen erzielten Qualität verknüpfen. Erst diese Auswertung ermöglicht eine gezielte Analyse der vorgelagerten Prozesse sowie eine Beurteilung von Lieferanten und eigenen Einkäufern. Im Vergleich mit dem gegenwärtigen Prozess – der Applikation der Qualitätskennzeichen von Hand – ist die Nutzung eines Handapplikators zeitaufwendiger, da dieser gezielt und in möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Applikationsstelle geführt werden muss, um einen sauberen Code zu erzielen.

Der Vorteil dieser Technik besteht darin, dass mit Hilfe einer weiteren, nachgeschalteten Kameraanlage die Brettcodes in Verbindung mit dem Qualitätskennzeichen automatisch erfasst und in die Datenbank abgespeichert werden können. Dies ist zumindest softwareseitig dann überaus aufwendig, wenn bspw. aus Zeitgründen die Verwendung eines Handapplikators ausscheidet und die Mitarbeiter die Qualitätskennzeichen per Hand „aufmalen“. Diese Zeichen sind zwar standardisiert, fallen aufgrund der hohen Prozessgeschwindigkeit jedoch auch bezogen auf den einzelnen Mitarbeiter stets unterschiedlich aus, da die individuelle Handbewegung nicht vergleichbar mit einer maschinellen Applikation ist. Die zur korrekten Erfassung und Verknüpfung der manuell applizierten Kennzeichen notwendige Programmlogik stellt eine große Herausforderung dar, die in bisherigen Umsetzungsversuchen der Unternehmen nicht bewältigt werden konnte. Sie war jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und wird daher an dieser Stelle lediglich als möglicher Lösungsweg beschrieben.

4.3.7 Vergleich zwischen Tinten- und Laserapplikation

Aufgrund der in Kapitel 4.2.4 auf S. 123 ff. dargestellten Resultate lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass im Hinblick auf die Applikation der Kennzeichnungen im Prozessverlauf innerhalb des Sägewerks beide Technologien – Tintendirektdruck und Laser – eingesetzt werden können. Eine Übersicht über die Eigenschaften der jeweiligen Technologie bietet die folgende Tabelle 15, in der die an der TU München erlangten Erkenntnisse im Hinblick auf die Lasermarkierung denen der Tintendirektdrucktechnologie gegenübergestellt sind.

Tabelle 15: Vergleich der Eigenschaften von Laser- und Tintendirektdruck

Vor- und Nachteile der Laser- und Tintendirektdrucktechnologie		
Kriterium	Tintendirektdruck (MEK-Tinte)	Laser ¹
Konturenschärfe	Sehr gut	Sehr gut
Applikationszeit	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr kurz • Unabhängig von der Holzfeuchte und Codegröße • Materialflussgeschwindigkeit max. 50 m/min² 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr kurz bis kurz • Abhängig von der Holzfeuchte und Codegröße • Materialflussgeschwindigkeit max. 30 m/min³
Einsatzbedingungen	Drucker und Kamera müssen von den Vibrationen entkoppelt werden	Laser und Kamera müssen von den Vibrationen entkoppelt werden
Verbrauchsmaterialien	Tinte und Lösemittel, Strom, Druckluft	Strom
Verbrauchskosten	Je Code unter 1 Cent ⁴	Je Code unter 1 Cent ⁴
Schutzmaßnahmen	Keine erforderlich	Einhausung des Lasers sowie ggf. Absaugvorrichtung erforderlich
Platzbedarf	Drucker kann räumlich getrennt vom Druckkopf verstaut werden	Laser und Gehäuse bilden eine Einheit
Reinigung	Automatische Reinigung der Druckköpfe bei kontinuierlicher Nutzung	Aufgrund der Staubentwicklung regelmäßige Reinigung der Linse erforderlich
Anschaffungskosten	Moderat	Sehr hoch
Anzahl gleichzeitiger Kennzeichnungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bei kontinuierlichem Druck beliebig viele Markierungen möglich • Mit zwei parallel arbeitenden Druckköpfen weitere Performance-Steigerung 	Jeweils nur eine Markierung möglich, jedoch sofortiger Neustart der Sequenz (somit mehrere Codes) programmierbar

¹ Auf Basis der Testergebnisse der TU München [14].
² Applikationslösungen für höhere Geschwindigkeiten existieren, sind preislich jedoch mit einem Lasersystem vergleichbar.
³ Getestete und validierte Geschwindigkeit.
⁴ Siehe dazu die Berechnungen in Kapitel 6.3 ab Seite 208.

Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass zwar der Einsatz sowohl der Laser- als auch Tintenmarkierungstechnologie solitär möglich ist, dies jedoch nicht die optimale Lösung darstellt, da in diesem Fall zu viele Kompromisse eingegangen werden müssten.

Wird ausschließlich der Laser eingesetzt, entstehen immens hohe Investitionskosten, da neben dem vergleichsweise sehr hohen Anschaffungspreis auch alle Markierungspunkte abgeschirmt werden müssen, so dass bei einer Fehlfunktion der Laser keinen Schaden anrichtet und insbesondere keinen Menschen verletzt. Wird hingegen ausschließlich die Tintentechnologie verwendet, so besteht zumindest an der Resaw der potenzielle Nachteil, dass die Kennzeichnungen unter den gegebenen Prozessbedingungen nur mit einem Spezialdrucker, der preislich im Bereich eines Lasersystems liegt, in verwendbarer Form appliziert werden können. Ist es möglich, eine Kennzeichnung bspw. im Quertransport durchzuführen, kann mit günstigeren Tintendrucksystemen gearbeitet werden. Wie in Kapitel 6 ab Seite 173 gezeigt wird, ist die Laserapplikation zwar von den Verbrauchskosten her gesehen zum Teil deutlich kostengünstiger als die Tintentechnologie, jedoch bewirken die sehr hohen Anschaffungskosten des Lasers, dass sich der Einsatz nicht bzw. nur bei sehr langen Abschreibungszeiträumen rechnet.

Der Inhalt der Kennzeichnung auf Brettebene muss so konzipiert sein, dass aus den Informationen eindeutige Rückschlüsse auf den ursprünglichen Baumstamm sowie auf den Abschnitt, aus dem das Brett gesägt wurde, möglich sind. In Ergänzung zu den zuvor beschriebenen Anforderungen hinsichtlich der Codelänge könnte das Konzept so aussehen, dass 7 Stellen für den Baumstamm, 1 Stelle für den Abschnitt und schließlich 2 Stellen für die Brettnummer vorgesehen, mithin also 10 Stellen erforderlich sind. Die Applikation eines solchen Codes kann sowohl mittels Barcode als auch OCR erfolgen, wobei die Informationen als Barcode kompakter darstellbar sind. Die aufgeführten Vorteile der OCR-Technologie – vor allem die Lesbarkeit ohne technische Hilfsmittel – lassen diese jedoch besser geeignet erscheinen, insbesondere für den Fall, dass Codes aufgrund der Bearbeitungsprozesse teilweise zerstört oder in Teile gespalten werden. Da jedoch Identifikationspunkte für OCR-Codes ein Vielfaches der Summe für Barcode-Erfassungen betragen, ist dies individuell zu entscheiden.

Beide Applikationsverfahren (Tinte und Laser) erlauben die sichere Kennzeichnung der unterschiedlichen Zwischenprodukte (Abschnitte, Model und Bretter). Im Hinblick auf die Auslesung ist ein Kamerasystem erforderlich, das auch nicht optimal applizierte Codes sicher erkennen kann. Dabei muss insbesondere die Fördergeschwindigkeit berücksichtigt werden, so dass sowohl die Applikation als auch Auslesung dort erfolgen sollte, wo diese möglichst gering ist. Dies ist vor allem deswegen notwendig, weil die Codes nicht auf weißem Untergrund (und damit nicht standardkonform) appliziert sind und daher die volle Lesegeschwindigkeit nicht erreicht werden kann.

5 Konzept zur Wiederverwendung von RFID-Transpondern

In den vorangegangenen Kapiteln wurde deutlich, dass Transponder zwar im Sägewerk selbst nicht einsetzbar sind, jedoch in der Holzerntekette vom Wald bis zum Sägewerk gute Dienste leisten können. Es wäre allerdings wenig sinnvoll, an jeden Baumstamm bzw. jeden im Wald gesägten Abschnitt einen Transponder zur Kennzeichnung zu applizieren und diesen dann später im Sägewerk zu entsorgen. Die Kosten eines solchen Vorgehens wären aufgrund der laufenden Beschaffungen sehr hoch, und darüber hinaus konterkariert dieses Wegwerf-Denken den insbesondere in der Forstwirtschaft verankerten Gedanken des nachhaltigen Wirtschaftens. Umgekehrt kann z.B. nicht nur ein Teil der Baumstämme gekennzeichnet werden, da sonst eine umfassende Datenerhebung nicht möglich ist.

Es ist daher sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht zielführend, durch die Verwendung wieder verwendbarer Transponder und Schaffung eines entsprechenden Kreislaufsystems zum einen die Kosten gering zu halten und zum anderen die Ressourcen zu schonen. Ebenfalls dafür spricht die Steuerbarkeit der Identifizierungsmerkmale. Nur in einem (geschlossenen) Kreislaufsystem kann sichergestellt werden, dass die Informationen auf den Transpondern den Anforderungen entsprechen und dass bei zentraler Datenhaltung alle benötigten Informationen korrekt zur Verfügung gestellt werden können. Wären die Transponder hingegen auf dem freien Markt verfügbar, könnte dies aufgrund der Vielfalt der Produkte nur mit großem Zusatzaufwand realisiert werden. Im Folgenden wird daher ein Konzept für einen solchen Transponderkreislauf entwickelt. Ein besonders kritischer Punkt an dieser Stelle ist die Verteilung von Kosten und Nutzen des Systems auf die beteiligten Unternehmen.

5.1 Ausgangssituation

Die Beteiligten der Prozesskette sind schnell identifiziert: Der Waldbesitzer oder die Waldbesitzervereinigung beauftragt ein Einschlagunternehmen, das die Bäume fällt. Der Frachtführer (im Jargon auch „Frächter“ genannt) übernimmt den Transport zum Sägewerk, das den Wareneingang dokumentiert (vgl. Kapitel 3.1, S. 27 ff.).

Alle Genannten kommen in Berührung mit der RFID-Technologie, allerdings jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven. Je nach Umsetzung des Konzepts „kaufen“ die Waldbesitzer oder die Einschlagunternehmen die Transponder (dies kann unter Umständen von Fall zu Fall unterschiedlich geregelt sein), der Frächter liest sie zur Kontrolle aus, und das Sägewerk gibt sie nach eigener Nutzung wieder in den Kreislauf zurück. Grafisch verdeutlicht das die folgende Abbildung 103:

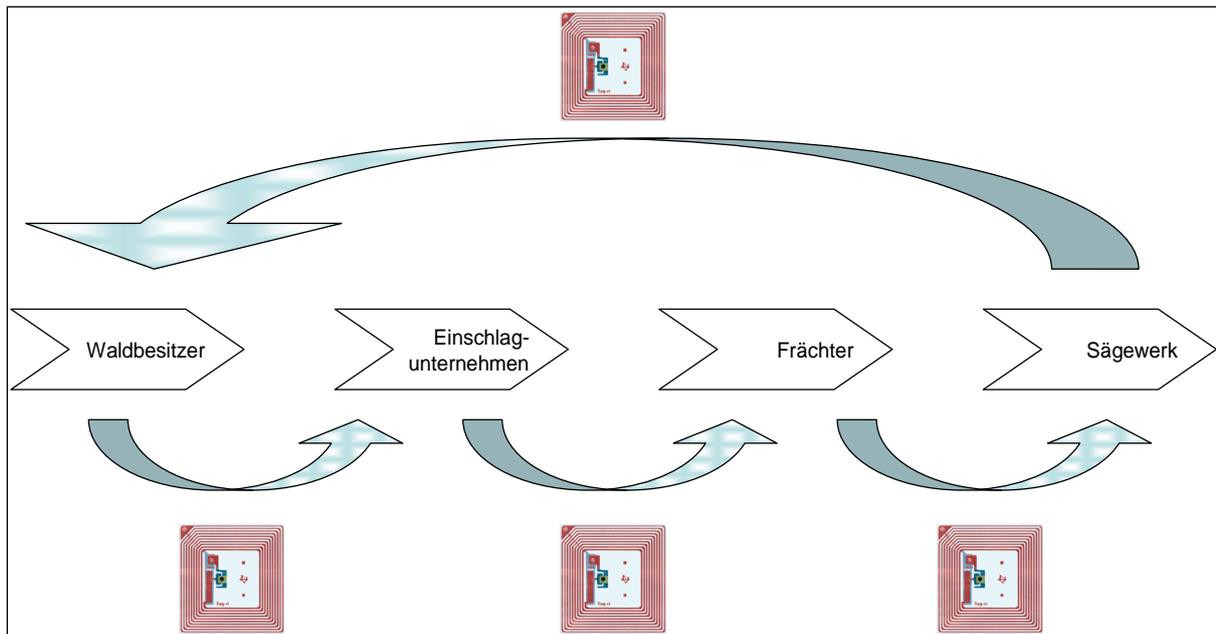


Abbildung 103: Transponderkreislauf in einer vereinfachten Holzerntekette

Quelle: Eigenerstellung

Für den Fall einer Pilotanwendung oder einer Insellösung ist das in der obigen Abbildung vorgestellte Vorgehen durchaus praktikabel, verliert jedoch bei einer Ausweitung des Konzepts auf die gesamte Branche deutlich an Umsetzungspotenzial. Die Verteilung und Verwaltung der Transponderbestände durch die Sägewerke ist keine optimale Lösung, da so keine Neutralität gegeben ist und die Gefahr besteht, dass diejenigen benachteiligt werden, die aus der letzten Saison noch Transponder eines anderen Sägewerks gekauft haben. Erst eine verbindliche Standardisierung kann dem entgegenwirken. Insgesamt gesehen ist es daher entweder erforderlich, eine unabhängige und vertrauenswürdige Institution zu schaffen, die das Poolsystem im Sinne eines Providers organisiert und verwaltet (**Branchenpool**), oder aber den Waldbesitzer außer Acht zu lassen und die Transponder im Eigentum des Sägewerks zu belassen (**Firmenpool**). Die Einkäufer applizieren in diesem Fall die Transponder erst am Polter und kennzeichnen so gleichermaßen das von ihnen erworbene Holz. Im Sägewerk werden die Tags an der Kappanlage wieder entfernt und erneut dem Kreislauf zugeführt.

5.2 Konzeptbeschreibung eines Branchenpools

Die Waldbesitzervereinigung ist mit dem Problem konfrontiert, dass sie nicht unbedingt zu jeder Saison Holz verkauft und auch nicht zwangsweise in jeder Saison an dasselbe Sägewerk liefert, da letztlich – wie auf jedem anderen Markt auch – der gezahlte Preis über den Zuschlag entscheidet. Darüber hinaus kommt es regelmäßig vor, dass an mehrere Sägewerke zugleich geliefert wird, denn diese sind zum einen stets auf Holzsorten (Laub- oder Nadelholz) spezialisiert und konkurrieren zum anderen als Wettbewerber über den Kaufpreis und die Kaufmenge. Wenn also bereits an dieser Stelle die Transponder beschafft werden, dann kann dies nicht auf Vorrat geschehen, sondern muss

streng bedarfsorientiert erfolgen, damit nicht zu viele RFID-Tags in Vorratsbeständen enden und damit aus dem Gesamtsystem entfernt werden.

So lange nicht alle Sägewerke die Transpondertechnik unterstützen, ist es außerdem wichtig zu wissen, welche Baumstämme entsprechend gekennzeichnet werden müssen, damit sie in den Kreislauf zurückgeführt werden – von einem nicht teilnehmenden Sägewerk ist dies allenfalls als höfliche Geste zu erwarten, kann jedoch nicht vorausgesetzt werden. Eine selektive Kennzeichnung jedoch ist praktisch nicht umsetzbar, da zum Zeitpunkt des Fällens nicht immer bereits der spätere Käufer feststeht. Daher wird in einem solchen Fall ein gewisser Anteil der Baumstämme mit Transpondern versehen, die spätestens nach dem Transport zum Sägewerk nicht mehr genutzt werden und damit nur einen teilweisen Beitrag zum ursprünglichen Konzept leisten können.

Das Einschlagunternehmen ist in der Situation, dass es saisonal und für viele unterschiedliche Auftraggeber arbeiten muss. Ist ein Hieb durchgeführt, ziehen die Arbeiter weiter zum nächsten Einschlagsgebiet. So lange nicht die gesamte Branche ein einheitliches Kennzeichnungssystem verwendet, kann es daher vorkommen, dass das Unternehmen unterschiedliche Transponder applizieren muss, je nachdem, wer der Käufer des Holzes ist. Dies auseinanderzuhalten dürfte in der Praxis sehr umständlich und kompliziert werden, weshalb eine branchenweite Standardisierung auch aus diesem Grund anzustreben ist.

Geht man nun von einer existierenden Standardisierung aus, so ist die Beschaffung der Transponder durch das Einschlagunternehmen vorzuziehen, um die Waldbesitzer nicht unnötig mit Transpondern zu belasten, die unter Umständen innerhalb einer Saison nicht vollständig verbraucht werden.

Als nächstes stellt sich die Frage, woher die Transponder zu beziehen sind. Betrachtet man nur eine einzige Kette wie in Abbildung 103, so ist es sinnvoll, das Sägewerk als Verteiler zu nutzen, da dort die Transponder entfernt und dem Kreislauf wieder zugeführt werden können. Aus der Perspektive einer branchenweiten Lösung jedoch ist dieses Vorgehen nicht realisierbar, da Sägewerke von mehreren Frächtern beliefert werden, die wiederum selbst von mehreren Waldbesitzern das Holz holen und auch an mehrere Sägewerke ausliefern. Insofern kommt bei einer Kostenbeteiligung aller betroffenen Unternehmen ausschließlich ein Pool-System in Betracht, das ggf. durch eine eigene Service-Gesellschaft betrieben werden sollte, um eine Konkurrenzsituation der Sägewerke um die Herausgabe von Transpondern bereits konzeptionell auszuschließen.

Neben der physischen Distribution und Verwaltung der Transponder ist darüber hinaus auch eine zentrale Datenbank vorzuhalten, auf die alle Beteiligten rollenbasierte Zugriffsrechte besitzen und so je nach Bedarf Informationen erhalten und abspeichern können. Ein allgemeingültiges Modell liefert die folgende Abbildung 104.

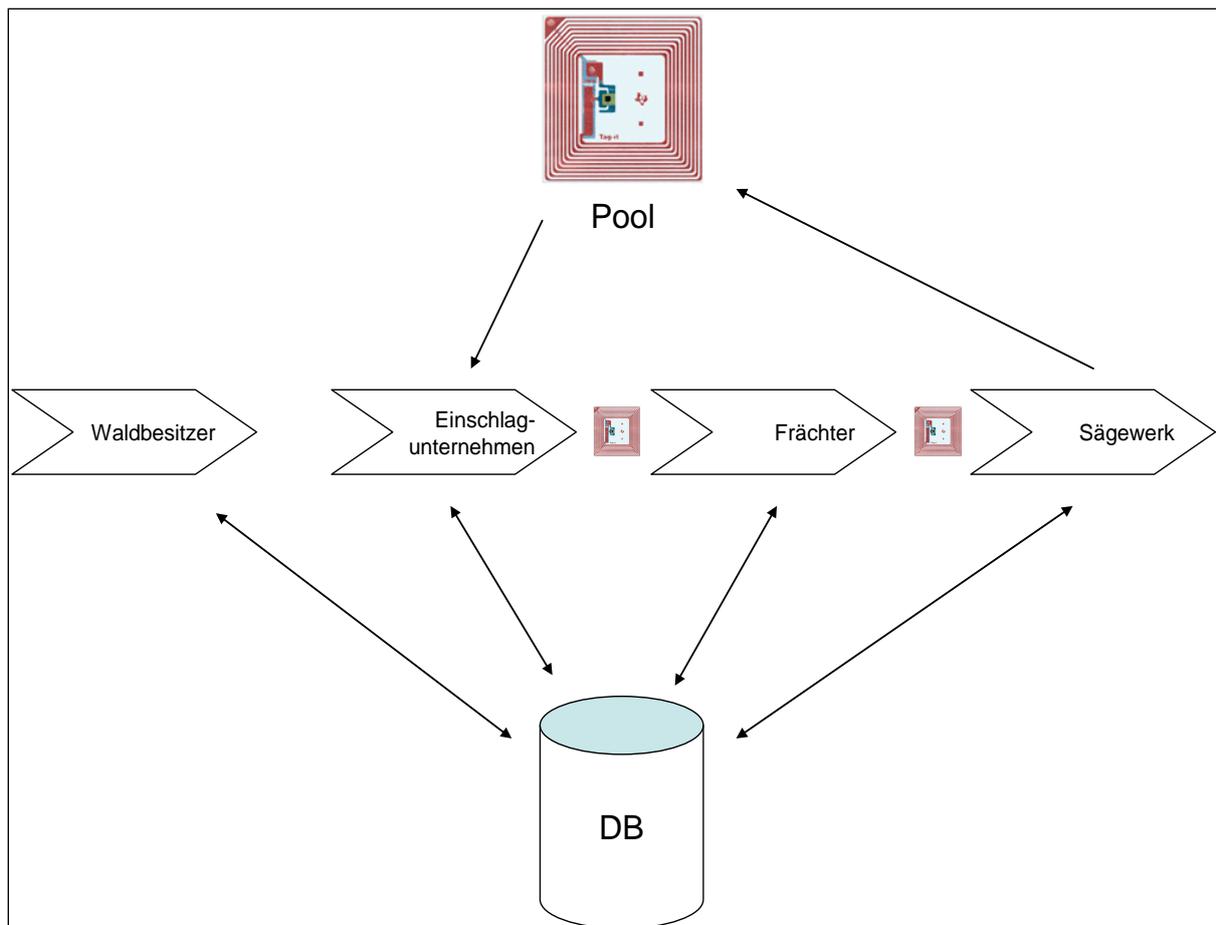


Abbildung 104: Allgemeingültiges Modell eines Transponderpools
Quelle: Eigenerstellung

Die Waldbesitzer bzw. deren Vereinigungen benötigen Zugriff auf die Datenbank, um zum einen jederzeit ihre zur Kalkulation benötigten Daten abrufen zu können und zum anderen zur Aktualisierung der hinter den Transponderkennungen stehenden Daten. So kann sich z.B. die Qualität des geschlagenen Holzes verändern, wenn es längere Zeit auf dem Polter an der Waldstraße liegt, so dass eine spätere Aktualisierung der Holzdaten ermöglicht werden sollte.

Das Einschlagunternehmen selbst benötigt Zugriff auf die Datenbank, um alle beim Hieb anfallenden Informationen speichern und den Transpondernummern zuordnen zu können. Der Zeitpunkt des Baumfällens bildet mithin den Ursprung der Informationskette. Die Datenübertragung kann bspw. zeitnah via GPRS oder konsolidiert am Ende des Einschlags via Internet erfolgen. Da an dieser Stelle die Applikation der Transponder an die Baumstämme bzw. Abschnitte erfolgt, muss das Unternehmen mit einem entsprechenden Vorrat an Transpondern aus dem Pool versorgt werden.

Der Fuhrunternehmer nutzt die Daten der bereits applizierten Transponder unter anderem, um die Auslieferung an die Sägewerke zu koordinieren und Zusatzinformationen wie die Zeitpunkte der Abfuhr und Anlieferung zu protokollieren. Auch hier kann eine

Kommunikation mit der Datenbank über GPRS stattfinden, so dass bspw. ein Lieferavis an das Sägewerk gesendet werden kann, sobald die Frachtaufnahme beendet ist. Einen direkten Kontakt zum Transponderpool benötigt der Frächter hingegen grundsätzlich nicht, da er sie nicht applizieren oder entfernen muss.

Über die Zuordnung der Transpondernummern kann das Sägewerk bereits im Vorfeld exakt bestimmen, welche Mengen Holz in welcher Qualität zu welchem Zeitpunkt angeliefert werden. Die entsprechende Kontrolle am Wareneingang kann vollautomatisch erfolgen, und durch die dauerhafte Kennzeichnung der Stämme mit Transpondern kann auch in den folgenden Prozessen stets eine sichere Zuordnung zu den Stammdaten durchgeführt werden. Die Transponder werden erst zu Beginn der Verarbeitung an der Kappanlage entfernt und wieder dem Pool zugeführt. Aus dem Datensatz in der Transponder-Datenbank muss nun ein neuer Datensatz für Zwischen- und Fertigprodukte generiert werden, damit die unveränderbaren Transpondernummern jeweils neu vergeben werden können.

5.2.1 Datenhaltung

Eine weitere wesentliche Frage besteht in der Realisierung des Datenhaltungskonzepts. Grundsätzlich kommen die Varianten zentrale und dezentrale Datenhaltung in Betracht, die jeweils eigene Vor- und Nachteile aufweisen.

Das Prinzip der zentralen Datenhaltung sieht vor, dass alle wesentlichen Informationen in einer Datenbank vorgehalten werden, die sowohl konzeptionell als auch physisch an einem Punkt konzentriert ist. Alle Beteiligten haben Zugriff auf die Datensätze, wobei die unterschiedlichen Bedarfe durch entsprechende Zugriffsrechte und -beschränkungen abgebildet werden. In der Praxis bedeutet dies, dass eine erfasste Codeinformation nur dann verwertbar ist, wenn in diesem Moment eine aktive Verbindung zur zentralen Datenbank besteht, da nur dort die zur weiteren Steuerung benötigten Daten hinterlegt sind. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass fremde Personen mit einem RFID-Lesegerät im Wald zwar die Nummer des Transponders auslesen können, diese jedoch keinen weiteren Wert besitzt.

Im Rahmen einer dezentralen Datenhaltung werden alle produktspezifischen Informationen direkt am bzw. im Produkt gespeichert, so dass eine zentrale Datenbank allenfalls als Rückfallsystem für Notfälle dient. Die Transpondertechnologie eignet sich hierfür besonders gut, da zum einen ausreichend viel Speicherplatz auf den Chips vorhanden ist und zum anderen mit jedem RFID-Lesegerät auch Informationen geschrieben werden können. So ist es möglich, auch bei einer nicht vorhandenen Verbindung zur Datenbank Produkte zu identifizieren und weitere Daten (z. B. Produktionshistorie) abzufragen.

Ein großer Nachteil bei dieser Methode besteht in der im Vergleich mangelhaften Datensicherheit, denn bei einem Verlust des Informationsträgers – z. B. durch mechanische Zerstörung – sind auch alle relevanten Produktdaten verloren, sofern keine redundanten Backup-Daten in einer Datenbank vorliegen. Dieser Nachteil wird dadurch zum Teil aufgewogen, dass auch bei Verlust des Transponders bei zentraler Datenhaltung das Produkt nicht mehr zweifelsfrei identifizierbar ist. Darüber hinaus sind Transponder mit derart großer Speicherkapazität deutlich teurer als solche mit herkömmlichen 96 Bit Speicherplatz, und bei dezentraler Datenhaltung besteht grundsätzlich ein höheres Risiko von Datenspionage, das im Fall der Forst- und Holzwirtschaft jedoch nur am Rande und bei sehr wertvollen Hölzern eine Rolle spielen dürfte.

5.2.2 Konzeptentwicklung

Für den vorliegenden Fall der Forst- und Holzwirtschaft können prinzipiell beide Datenhaltungsvarianten angewendet werden, jedoch ist einer zentralen Datenhaltung trotz der für Einschlagunternehmen und Frächter nur über GPRS bzw. un stetig zu realisierenden Anbindung an die Datenbank der Vorzug zu geben. Der Hauptgrund für diese Entscheidung liegt in der einfacheren Struktur des Gesamtsystems.

Im Falle einer dezentralen Datenhaltung sind zunächst die Investitionskosten aufgrund der höheren Transponderpreise deutlich größer, so dass eine höhere Einstiegshürde aufgebaut wird. Daneben muss eine spezifische Software auf jedem mobilen Datenerfassungsgerät installiert werden, um die Transponderdaten adäquat generieren und nutzen zu können, denn das Lesegerät muss wissen, wie die Informationen auf dem Speicherchip codiert und auszuwerten sind. Es muss außerdem gewährleistet sein, dass die Informationen korrekt erstellt und auf jedem Transponder separat abgespeichert werden. Dies ist ein großer Aufwand für alle Beteiligten und insbesondere in der hochmechanisierten Holzerntekette bereits kaum sicherzustellen, da das Beschreiben eines Transponders deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als das Auslesen und damit der Prozess möglicherweise verlangsamt würde.

Eine zentrale Datenhaltung ermöglicht es hingegen, dass alle generierten Daten zunächst auf dem Handheld bzw. im Bordcomputer erfasst und zwischengespeichert werden, so dass im Prozess lediglich die Transpondernummern auszulesen sind. Die Datensätze können zu einem späteren Zeitpunkt dann konsolidiert an die Datenbank übertragen werden.

Eine mögliche Prozessabfolge kann folgendermaßen konzipiert sein:

1. Der Waldbesitzer beauftragt ein Einschlagunternehmen.
2. Das Einschlagunternehmen kalkuliert gemeinsam mit dem Auftraggeber die Menge des anfallenden Holzes und bestellt eine entsprechende Menge Transponder beim Poolbetreiber.

3. Während des Hiebs wird jeder Abschnitt mit einem Transponder gekennzeichnet und dessen Nummer mit den Stammdaten (Holzart, Qualität, Abmessungen, Datum etc.) verknüpft.
4. Am Ende des Arbeitstages erfolgt eine konsolidierte Datenübertragung an die zentrale Datenbank.
5. Das Holz wird nach dem Poltern durch Einkäufer der Sägewerke besichtigt und kann auf der Basis der Transponderkennzeichnungen gezielt identifiziert werden.
6. Bei der Abholung durch den Frächter werden die aufgeladenen Stämme erfasst und als Lieferavis an das Sägewerk gemeldet. So können verbleibende Restmengen im Wald (z. B. aufgrund von Zuladungsbeschränkungen) rechtzeitig im System vermerkt werden.
7. Am Wareneingang im Sägewerk werden alle Transponder automatisch durch ein RFID-Gate erfasst, so dass eine vollautomatische und zeitsparende Wareneingangskontrolle realisiert werden kann.
8. An der Kappanlage werden die Transponder wieder entfernt und dem Poolbetreiber übergeben. Der Kreislauf ist geschlossen.

5.2.3 Betreiberkonzept

Es ist naheliegend, dass der Betreiber des Transponderpools zugleich die zentrale Datenbank unterhält. Auf diese Weise sind alle relevanten Informationen stets an einer Stelle gebündelt, und es kann sichergestellt werden, dass die Zuordnung zwischen Transpondernummer und Baumstamm stets aktuell und korrekt ist, dass also z. B. keine Transponder herausgegeben werden, deren Nummer nicht in der Datenbank wieder freigegeben ist.

Zunächst sei der Transponderpool als physische Einrichtung betrachtet. Da es sich, wie bereits mehrfach erwähnt, in der Holzwirtschaft um ein saisonales Geschäft handelt, müssen zu Beginn der Saison die Transponder an die Einschlagunternehmen verteilt werden, während sie allerdings fortlaufend aus den Sägewerken wieder zurückkommen, da die Produktion kontinuierlich betrieben wird. Damit die Sägewerke nicht täglich Transponder versenden müssen, sollte dies zu bestimmten Zeitpunkten, etwa zweimal im Monat, geschehen. Die Anzahl der Transponder ist dabei nicht unerheblich, da nicht selten jeden Tag bis zu 4.000 Abschnitte gesägt werden, was im oberen Grenzbereich 1.000 Baumstämme und damit auch 1.000 Transponder täglich bedeutet. Der durchschnittliche Wert wird jedoch darunter liegen.

Unter diesen Annahmen treffen demnach je Sägewerk alle 14 Tage maximal ca. 14.000 Transponder beim Poolbetreiber ein, die anschließend auf technische Funktionalität und physische Konstitution überprüft werden müssen. Die Einschlagunternehmen werden nicht den gesamten Saisonbedarf zu Beginn abrufen, sondern fortlaufend beim Poolbetreiber Nachschub bestellen, so dass die vorzuhaltende Menge im Zusammenspiel

mit den Rücksendungen aus den Sägewerken relativ gering sein kann, sofern zum einen die Quote der noch funktionierenden Transponder ausreichend hoch ist und zum anderen die entsprechende Überprüfung der Rücksendungen zeitnah durchgeführt werden kann.

An dieser Stelle kann und sollte eine Aufteilung der Kosten auf die Beteiligten erfolgen, denn es wäre nicht zielführend, wenn z. B. das Einschlagunternehmen die Kosten tragen müsste, damit die nachfolgenden Unternehmen von der Technologie profitieren können. Eine mögliche Lösung des Konflikts könnte in einem jährlich zu zahlenden Mitgliedsbeitrag an den Poolbetreiber bestehen, der abhängig von der Art des Unternehmens (Waldbesitzer, Einschlagunternehmen, Frächter oder Sägewerk) gestaltet sein kann. Entrichten sollten ihn jedoch alle, die auf die zentrale Datenbank zugreifen müssen. Der Beitrag kann in dem Maße sinken, je mehr Unternehmen sich an dem System beteiligen. Alternativ bietet sich eine nutzungsabhängige Zahlung an, die an die bereits bestehenden Abläufe angeschlossen werden kann.

Ein möglicher Verteilungsschlüssel der Kosten könnte sein: 10:10:10:70, so dass also das Sägewerk 70% der Kosten übernimmt, da es auch den größten Nutzen von der Technologie hat. Damit stellt sich die Frage, welche Kosten angesetzt werden können, um einen derartigen Pool wirtschaftlich effizient betreiben zu können.

Auf der Kostenseite stehen neben den Personalkosten (Qualitätskontrolle der eintreffenden Transponder, allgemeine Verwaltung) vor allem Unterhaltskosten für die zentrale Datenbank und die notwendigen Gebäude sowie für den fortlaufenden Transponderversand. Unter der Annahme, dass zwei Sägewerke beteiligt sind, ergibt ein hier frei gewählter Transponderleihpreis von 10 Cent monatliche maximale Einnahmen i.H.v. 6.000 €. Ohne ein konkretes Geschäftsmodell aufstellen zu wollen bleibt die Aussage, dass der Betrieb eines derartigen Poolsystems nur dann rentabel ist, wenn entweder höhere Leihgebühren durchgesetzt werden können oder die Anzahl der beteiligten Unternehmen deutlich höher ist.

Betrachtet man den Transponderleihpreis im Zusammenhang mit der Anzahl der beteiligten Sägewerke unter den oben genannten Annahmen isoliert, so ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen beiden Faktoren: Bei gleichem Transponderleihpreis verdoppeln sich die Einnahmen bei einer Verdopplung der Anzahl der beteiligten Sägewerke. Dies verdeutlicht die folgende Abbildung 105 noch einmal grafisch als Netzdiagramm für die Beteiligung von 1 bis 3 Sägewerken. Die Grafik erlaubt verschiedene Herangehensweisen: So kann ein bestimmter Betrag als Soll-Gewinn festgesetzt und anhand der Linienverläufe ermittelt werden, unter welchen Bedingungen dieser Betrag zu erzielen ist. Beispiel: Um im Monat mindestens 20.000 € einzunehmen, benötigt man die Teilnahme von 3 Sägewerken und eine Leihgebühr von 0,25 € je Transponder. Umgekehrt kann einfach abgelesen werden, dass z.B. bei einer Leihgebühr von 0,10 € die Einnahmen auch mit 3

Sägewerken die 10.000 € - Marke nicht erreichen. Drittens kann z. B. die Aussage getroffen werden, dass, um die gleichen Einnahmen von 15.000 € zu erzielen, die Leihgebühr von 0,25 € auf ca. 0,17 € abgesenkt werden kann, wenn statt 2 nun 3 Sägewerke teilnehmen. Das Modell kann auf eine beliebige Anzahl von Sägewerken erweitert werden.

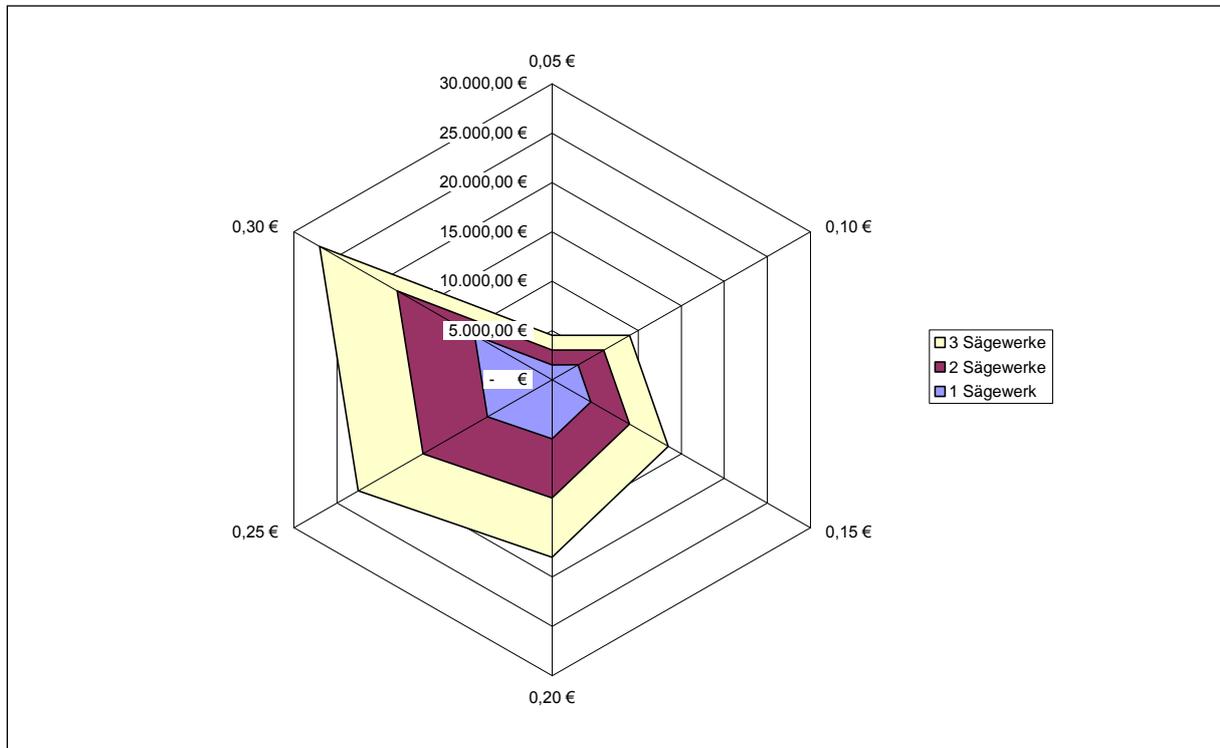


Abbildung 105: Einnahmenkalkulation bei verschiedenen Transponderleihgebühren

Quelle: Eigenerstellung

Der dargestellte Zusammenhang lässt sich mathematisch auf eine einfache Formel bringen:

$$E = T \cdot P \cdot SW,$$

Formel 5-1: Einnahmenkalkulation Transponderpool

wobei E die Einnahmen bezeichnet, T die Anzahl der monatlich eintreffenden Transponder je Sägewerk, P die Leihgebühr und SW die Anzahl der teilnehmenden Sägewerke.

Eine nutzungsabhängige Gebühr, wie sie auf RFID-Basis in anderen Poolssystemen bereits diskutiert und umgesetzt wird, ist allenfalls theoretisch eine Alternative zum Pauschalpreis und muss zudem individuell angepasst werden, da z. B. bei längerer Liegezeit auf dem Polter im Wald auf das Einschlagunternehmen höhere Kosten zukämen, obwohl dessen Arbeit längst erledigt ist. Anders als heute kann auf Basis der RFID-Daten die Liegezeit des Holzes im Wald im Bedarfsfall auf die Sekunde genau berechnet werden, so dass sie bei Überschreiten einer gewissen Frist (z. B. 30 Tage oder bei Eintritt einer Qualitätsminderung) den nachfolgenden Beteiligten der Prozesskette in Rechnung gestellt

werden könnte. Allerdings wäre ein solches Vorgehen in der Branche nicht durchsetzbar und würde darüber hinaus die vorherrschenden Beziehungen der Unternehmen belasten.

Die praktische Umsetzung des Bezahlsystems muss ebenfalls strukturiert werden, um unnötig komplizierte Vorgänge zu vermeiden und das Gesamtsystem nicht unattraktiv werden zu lassen. Grundsätzlich ist der Poolbetreiber daran interessiert, die Leihgebühren in voller Höhe zu erhalten, während die einzelnen Beteiligten der Prozesskette lediglich Beträge ihrem Anteil entsprechend zahlen wollen. Eine stückgenaue Abrechnung, wie sie die Verwendung von RFID zulässt, ist jedoch nur über einige Umwege realisierbar.

Entscheidend ist die Definition eines die Zahlung auslösenden Ereignisses im Bereich des Transponderpools. Üblicherweise ist dies der Versand der bestellten Ware, doch birgt dies im vorliegenden Zusammenhang vielfältige Probleme, die u. a. darin bestehen, dass der Besteller (hier das Einschlagunternehmen) den Preis gemäß dem oben genannten Verteilungsschlüssel nur zu 10 % bezahlen muss. Die Transponderrücksendung durch das Sägewerk ist ebenfalls nicht geeignet, da auf diese Weise ein Anreiz geschaffen wird, Transponder einzubehalten bzw. dann zurückzusenden, wenn gerade genügend Geld vorhanden ist. Dieser Anreiz wird im Normalfall durch die Einführung einer Pfandgebühr eliminiert, was jedoch ein komplexeres Vorgehensmodell voraussetzt.

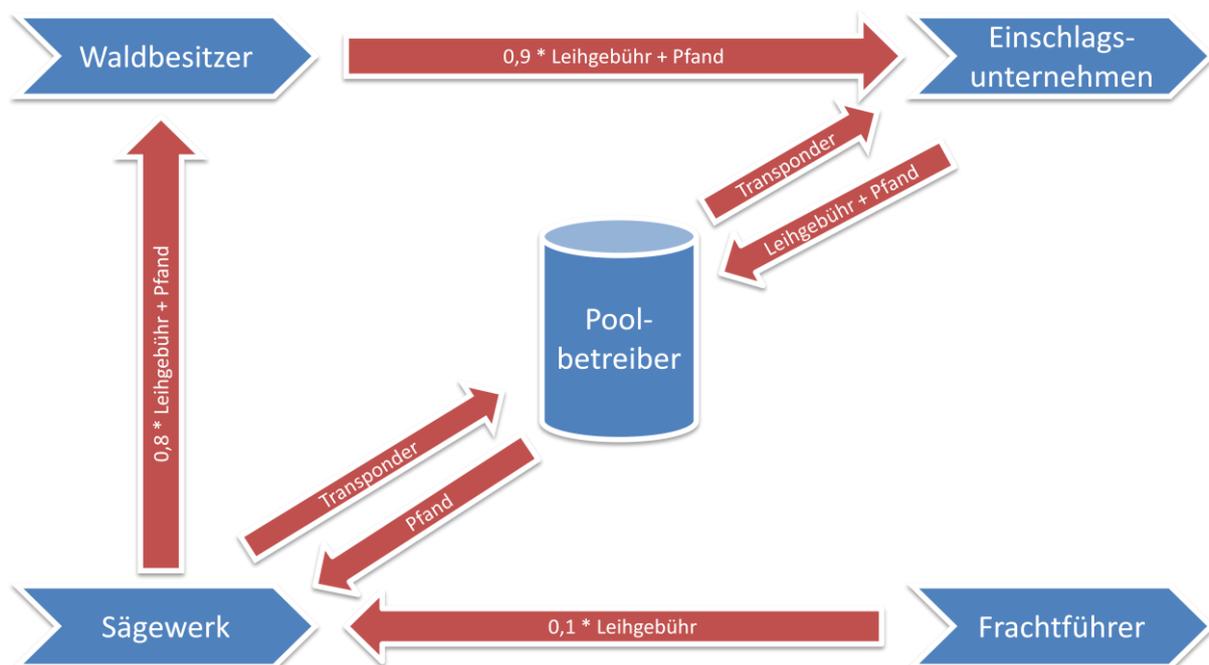


Abbildung 106: Konzept für einen Transponderkreislauf mit Finanzströmen

Quelle: Eigenerstellung

Die obige Abbildung 106 zeigt basierend auf dem zuvor gezeigten Verteilungsschlüssel, wie die Finanzströme in einem solchen Poolsystem aussehen können. Der Pool gibt

Transponder an das Einschlagunternehmen aus, das dafür die Leihgebühren in voller Höhe zuzüglich eines Pfandbetrags an den Poolbetreiber bezahlt. Nach erfolgtem Einschlag im Wald stellt es die Transponder dem Auftraggeber, also dem Waldbesitzer, zu 90 % in Rechnung und ist somit zu 10 % an den Gesamtkosten beteiligt, wobei die Pfandgebühr jeweils in voller Höhe „durchgereicht“ wird. Der Waldbesitzer wiederum erhält den Verkaufspreis für sein Holz vom Sägewerk, erhöht um 80% des ursprünglichen Transponderleihpreises. Damit hat der Waldbesitzer ebenfalls 10% des Preises gezahlt, denn er hat bereits zuvor nur 90 % an das Einschlagunternehmen weitergegeben. Der Frächter zahlt für die Nutzung der Transponder 10 % der Leihgebühr an das Sägewerk bzw. das Sägewerk mindert dessen Rechnung um diesen Betrag, so dass dieses am Ende zu 70 % an den Transponderkosten beteiligt ist. Durch die Rücksendung an den Pool erhält es für alle noch verwendbaren Transponder die Pfandgebühr zurück, und der Kreislauf beginnt von vorn. Da das Sägewerk am meisten von dem Einsatz der RFID-Technologie profitiert, ist die alleinige Finanzierung von Ersatzbeschaffungen durch Einbehalt der Pfandgebühr bei defekten Transpondern durchaus zu rechtfertigen, bei Bedarf lässt sich jedoch das Pfand in die Verteilung der Leihgebühren integrieren.

Das gezeigte Modell zeigt eine Variante der nutzungsabhängigen Gebührenerhebung, ist aber selbstverständlich nur ein Rechenbeispiel und kann je nach Verteilungsschlüssel entsprechend modifiziert werden. Die grundlegende Vorgehensweise ist jedoch festgelegt und ist auch bei komplexen Strukturen von mehreren Waldbesitzern, Frächtern und Sägewerken umsetzbar und damit allgemeingültig. Der Vorteil an der Lösung besteht vor allem darin, dass durch die Einführung des Transponderpools keine zusätzlichen Finanzströme entstehen, sondern bereits bestehende sehr einfach erweitert werden können, indem z. B. eine weitere Rechnungsposition eingeführt wird.

5.2.4 Datensicht

Im Hinblick auf die für den Betrieb eines derartigen Poolsystems benötigte Software und IT-Ausstattung ist die Orientierung an bereits vorhandenen Forststandards entscheidend für die Akzeptanz und Einbindungsmöglichkeit der Unternehmen. Das bundesweit einheitliche ELDAT-Protokoll (Elektronischer Datenaustausch Holzdaten, vgl. [62]) bietet eine gute Ausgangsgrundlage und ist auf Datensatzebene bereits für die Markierung mit eindeutigen Kennzeichnungen vorbereitet – seit Version 2.0 unterstützt die Software ein GUID-Feld (Global Unique Identifier) für den Eintrag einer global eindeutigen Kennzeichnung, wie sie bspw. durch Einsatz von Transpondern realisiert werden kann. Darauf aufbauend kann der Poolbetreiber seine Datenbasis betreiben, denn für ihn sind die in ELDAT ansonsten vorhandenen Detaildaten der Stämme nicht relevant.

Das Softwaresystem des Poolbetreibers muss in der Lage sein, alle die Transponder betreffenden Vorgänge zu erfassen und im Sinne einer Historie zu dokumentieren. Da die für die Unternehmen relevanten Daten bereits in ELDAT erfasst sind, sollten diese auf-

grund der Irrelevanz für den Betrieb des Pools nicht noch einmal redundant beim Poolbetreiber gespeichert werden. Die nachfolgende Abbildung 107 zeigt einen möglichen, grundlegenden Aufbau der Pooldatenbank.

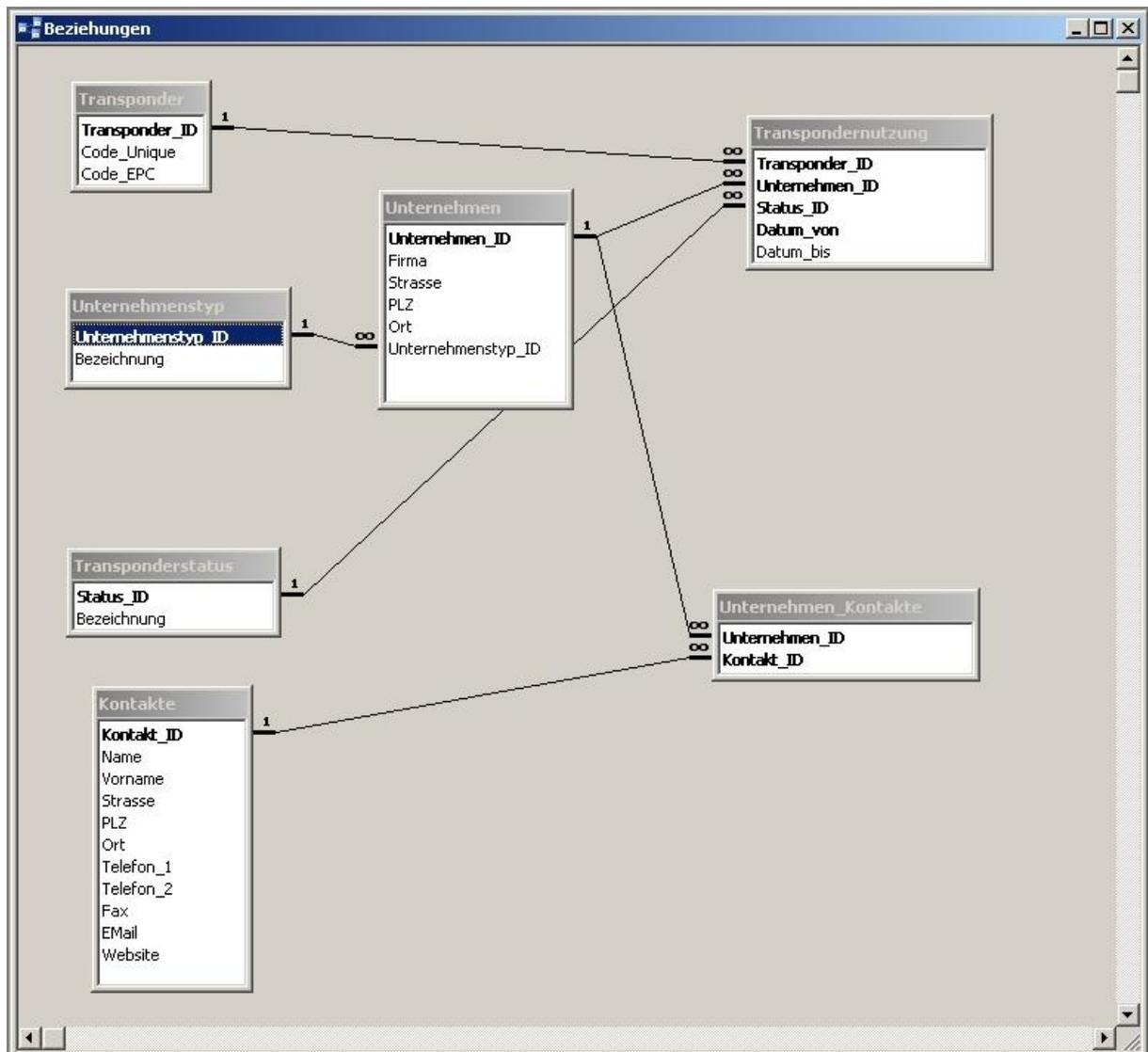


Abbildung 107: Basistabellen der Pooldatenbank (Beispiel)

Quelle: Eigenerstellung

Jeder Transponder wird mit seiner bereits vom Hersteller vergebenen, weltweit eindeutigen Kennzeichnung („unique_id“) und/oder dem beim Ankauf durch den Poolbetreiber generierten elektronischen Produktcode (EPC) in der Datenbank fest hinterlegt. Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass sogenannte read-only Transponder zum Einsatz kommen, die bei der Applikation nicht beschrieben werden. Das Feld „Transponder_ID“ dient lediglich intern zur eindeutigen Kennzeichnung des Datensatzes und enthält eine vom Datenbankmanagementsystem vergebene, fortlaufende Nummer. Alle am Pool beteiligten Unternehmen sind mit ihren Stammdaten in einer eigenen Tabelle hinterlegt und werden in die verschiedenen Typen (Waldbesitzer, Einschlagunternehmen,

Frächter und Sägewerke) unterteilt. Dazu können jedem Unternehmen beliebig viele Kontaktpersonen zugeordnet werden.

Entscheidend ist die Tabelle „Transpondernutzung“, wo alle relevanten Verlaufs- und Zustandsdaten gespeichert werden. Um dies umsetzen zu können, verfügt die Tabelle über gleich vier Primärschlüsselfelder, die zusammen die Eindeutigkeit des Datensatzes festlegen. Dieses Konzept erlaubt auch die Dokumentation einer Historie, da durch die Aufnahme des „Datum_von“-Feldes in den Primärschlüssel derselbe Transponder beim selben Unternehmen denselben Status haben kann, aber eben nur zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Die Verbuchung erfolgt in der Reihenfolge der Stationen der Holzerntekette: Nach einer Bestellung von Transpondern wird für jeden einzelnen Transponder ein neuer Datensatz in der Tabelle „Transpondernutzung“ angelegt, in dem das bestellende Unternehmen, das Versanddatum sowie der Status des Transponders („Versand“) festgehalten wird.

Die nächste Rückmeldung an die Datenbank geschieht durch das Einschlagunternehmen, sobald die Transponder appliziert sind. Für jede übermittelte GUID wird der bereits vorhandene Datensatz abgeschlossen, indem das Datum der Übermittlung in das Feld „Datum_bis“ eingetragen wird, und anschließend ein neuer Datensatz in derselben Tabelle angelegt, wobei der Status auf „appliziert“ gesetzt und das Feld „Datum_von“ aktualisiert wird.

Bei den folgenden Rückmeldungen („Aufgeladen“ und „Wareneingang“) geschieht dies analog. Weitere Statusberichte wie etwa „Nasslager“ oder „Kappanlage“ sind für den Poolbetreiber nicht relevant, da mit dem Wareneingang das Sägewerk als Nutzer eingetragen wird und erst mit der Rücksendung der Transponder der Nutzungszeitraum abgeschlossen ist. Dennoch können diese und weitere Zwischenschritte in der Pooldatenbank als Service für die beteiligten Unternehmen gespeichert werden, sofern nicht bereits der ELDAT-Standard eine entsprechende Funktionalität bietet. Das Status-Feld der Tabelle „Transpondernutzung“ ist zu diesem Zweck als Teil des Primärschlüssels konzipiert. Die folgende Abbildung 108 zeigt das Datenbankkonzept noch einmal als strukturiertes Entity-Relationship Modell (SERM).

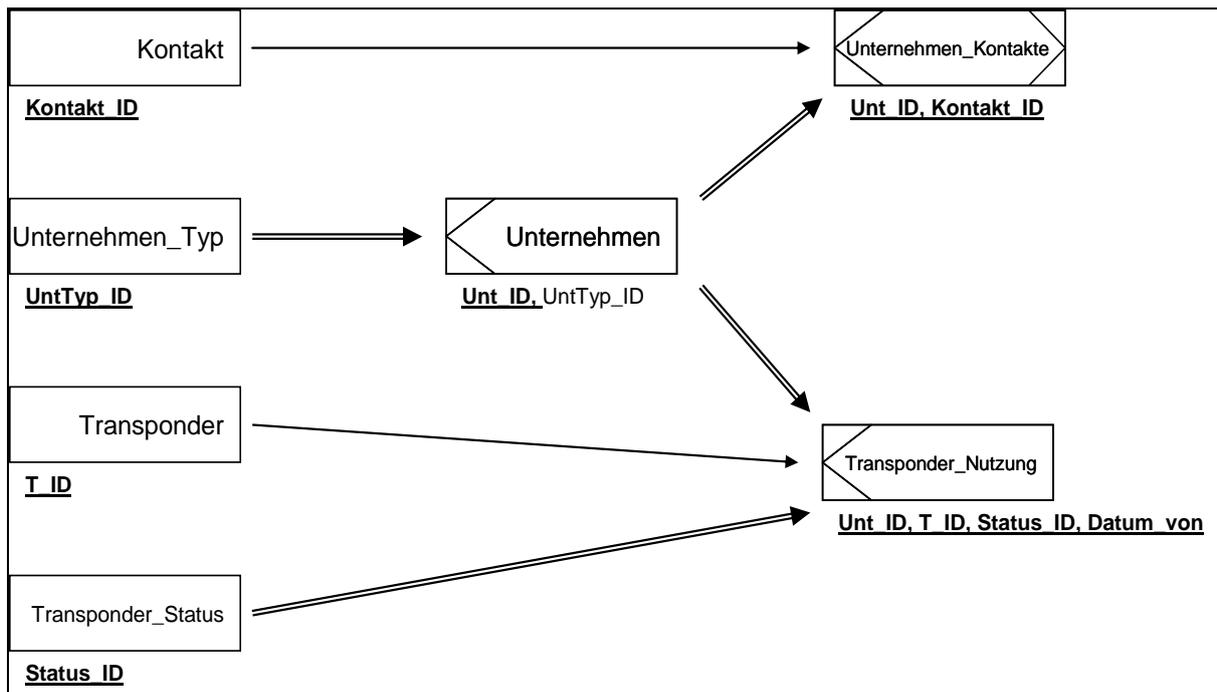


Abbildung 108: Beispielhaftes SERM der Pooldatenbank
Quelle: Eigenerstellung

Es ist offensichtlich, dass je nach Anzahl der beteiligten Unternehmen bzw. der genutzten Transponder das Datenvolumen recht groß ist, da für jeden Transponder je Umlauf mindestens 4 Datensätze (Ausgabe, Applikation, Aufladung, Wareneingang) angelegt werden müssen, abhängig von weiteren Informationsbedarfen möglicherweise auch mehr. Dies erfordert auf der Hardwareseite eine robuste Infrastruktur, die zum einen genügend Speicherplatz bietet und zum anderen die Daten in ausreichend schneller Zeit zur Verfügung stellen kann, während auf der Softwareseite eine entsprechend geeignete Datenbank zum Einsatz kommen muss.

Das Füllen der Datenbank und das Auslesen von Datensätzen können über unterschiedliche Schnittstellen erfolgen. Bestellte Transponder können beim Versand sowie bei der Rücksendung im Pulk erfasst und direkt mit der Datenbank abgeglichen werden. Während der Nutzung durch die Unternehmen können die Daten via GPRS an eine Internet-schnittstelle gesendet werden, die z. B. als Webservice ausgelegt sein kann. Über diesen Weg können zum einen die mobilen Geräte die Daten senden, zum anderen kann mit Applikationen darauf zugegriffen werden, um Daten zu Informationszwecken abzurufen. Dies kann unter den genannten Voraussetzungen mit jedem Internetbrowser geschehen, ist aber ebenso in bestehende Softwarelösungen integrierbar.

5.3 Konzeptbeschreibung eines Firmenpools

Im Kontrast zur beschriebenen Branchenlösung besteht der Hauptansatzpunkt für einen Firmenpool darin, dass das Sägewerk allein über die Transponder verfügt. Die Einkäufer

bringen diese erst am Polter beim Kauf des Holzes an, und sie werden im Sägewerk an der Kappanlage wieder entfernt und dem Kreislauf erneut zugeführt.

Dies hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Zunächst entfallen der Aufbau eines zentralen Poolbetreibers sowie die branchenweite Installation entsprechender Abrechnungssysteme. Diese relativ hohe Akzeptanzhürde kann vermieden und so die Nutzung der Technologie mit geringem organisatorischen Aufwand forciert werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der Tatsache, dass die Applikation zum Zeitpunkt der Fällung entfällt, d. h. Investitionen in Applikationstechnologien können vollständig entfallen. Auch die Waldarbeiter werden im Rahmen der motormanuellen Holzerntekette entlastet, da sie wie gewohnt ihrer Arbeit nachgehen können und keine zusätzlichen Kennzeichnungen anbringen müssen. Nachteilig ist vor allem, dass das Sägewerk in diesem Szenario allein die Kosten der Markierung tragen muss – aufgrund der Wiederverwendungsmöglichkeit der Transponder fällt dies jedoch kalkulatorisch nicht allzu stark ins Gewicht, da im Sinne einer Kostenberechnung der Anschaffungspreis durch die Anzahl der Umläufe geteilt werden kann. Werden entsprechend robuste Bauformen eingesetzt, kann durch eine hohe Umlaufanzahl die Kosten stärker gesenkt werden als bei einer weniger robusten Bauform, die nur eine geringere Anzahl Umläufe übersteht und daher in kürzeren Abständen ersetzt werden muss.

Ein Firmenpool bietet sich damit insbesondere zur Markteinführung an bzw. dann, wenn noch nicht eine ausreichend große Anzahl an Kooperationspartnern für einen Branchenpool zur Verfügung steht. Aus mehreren bestehenden Firmenpools kann bei Bedarf jederzeit ein Branchenpool entstehen, der alle bisherigen Partnerunternehmen aufnimmt und durch eine Verteilung der Kosten (bspw. wie zuvor skizziert) die notwendigen finanziellen Aufwendungen für alle Beteiligten möglichst gering hält und das Sägewerk deutlich entlastet. Aufgrund der zu erwartenden Einsparmöglichkeiten in Verbindung mit am Markt durchsetzbaren höheren Preisen (vgl. Kapitel 6 ab Seite 173) können auf diese Weise weitere Potenziale realisiert werden.

5.4 Umsetzbarkeit in die Praxis

Im Rahmen der Holzerntekette ist ein – wie auch immer ausgestaltetes – Poolsystem entscheidend für den Einsatz von RFID-Technologie, da die aufgrund der Einsatzbedingungen robust ausgelegten Transponder relativ teuer und damit nicht als Wegwerfartikel ausgelegt sind. Aufgrund der komplexen Struktur der Holzerntekette mit vielen Beteiligten auf den jeweiligen Prozessstufen ist der Betrieb eines Poolsystems jedoch an einige zentrale Faktoren gebunden, die zum Teil essentiell für eine grundsätzliche Umsetzbarkeit sind.

Dabei sind die entscheidenden Größen vor allem – wie in jedem anderen Poolsystem auch – die Leihgebühr und der Pfandbetrag je Transponder, aus denen zum einen der

laufende Geschäftsbetrieb und zum anderen Ersatzbeschaffungen finanziert werden müssen. Auf der anderen Seite dürfen die Gebühren aber einen gewissen Schwellenwert nicht überschreiten, damit das System von den Beteiligten auch akzeptiert wird, so dass in enger Abstimmung mit den Poolpartnern alle wichtigen Parameter festgelegt werden müssen. Dieser Schwellenwert ist sehr abhängig von den konkreten Umständen und auch von der Marktsituation bei Einführung des Poolkonzepts – je höher die erzielbare Marge am Markt ist, desto höher können tendenziell die Gebühren zum Betrieb des Systems liegen. Insgesamt jedoch gilt der allgemeine Grundsatz, dass die Akzeptanz umso größer ist, je niedriger die Gebühren ausfallen. Es muss daher aus Sicht des Betreibers in Zusammenarbeit mit den – zunächst potenziellen – Poolteilnehmern abgewogen werden, welche Situation erzielbar ist: Geringe Gebühren bei vielen Teilnehmern oder höhere Gebühren bei weniger Teilnehmern. Der angesprochene Schwellenwert ist in diesen Gesprächen zu ermitteln.

Da für jeden zusätzlichen Transponder in der Datenbank mindestens vier neue Datensätze je Umlauf hinzukommen, muss diese entsprechend sorgfältig ausgewählt werden. Der einzelne Datensatz ist zwar voraussichtlich nur wenige KByte groß, jedoch muss die Datenbank eine enorme Menge Anfragen gleichzeitig verarbeiten können, da alle Daten konsolidiert gesendet werden und damit stets mehrere Datensätze betroffen sind. Zudem kommt es im laufenden Betrieb mit hoher Wahrscheinlichkeit vor, dass zum gleichen Zeitpunkt mehrere Unternehmen (z. B. ein Einschlagunternehmen, zwei Frächter und vier Sägewerke) auf die Datenbank zugreifen, um Informationen zu aktualisieren oder abzufragen. Die Anforderungen in dieser Hinsicht steigen mit jedem weiteren Partner, der sich dem Poolsystem anschließt, so dass die normalerweise mögliche Kostenreduktion aufgrund der höheren Beteiligung zumindest teilweise durch diesen Umstand kompensiert wird, da die Infrastruktur in gleichem Maße skaliert werden muss.

Für eine praktische Anwendung sind darüber hinaus weitere Punkte zu berücksichtigen. Wie in den obigen Ausführungen deutlich wurde, ist das Sägewerk stets der zentrale Punkt im Gesamtkonzept, da dieses zum einen den größten Nutzen aus der Transpondertechnologie zieht und zum anderen für die Rückführung der RFID-Tags an den Poolbetreiber zuständig ist. Unterstützt nun mindestens ein Unternehmen (z. B. ein Frächter oder ein Einschlagunternehmen) dieses System nicht, so kann die Informationskette möglicherweise nicht vollständig ausgefüllt werden, was den Nutzwert der generierten Daten beschränkt und damit das Gesamtkonzept unwirtschaftlicher werden lässt. Daher sind die Unternehmen bereits im Vorfeld der Einführung mit den Plänen vertraut zu machen und in die konzeptionelle Gestaltung aktiv mit einzubeziehen, um eine ausreichende Akzeptanz zu generieren. In einem idealen Szenario setzen alle Sägewerke die Anlieferung mit Pool-Transpondern voraus und lehnen Lieferungen ohne RFID-Kennzeichnung ab. Dies jedoch kann vernünftigerweise nur Schritt für Schritt umgesetzt werden.

Zum Betrieb des Systems sind alle beteiligten Unternehmen mit der notwendigen RFID-Hardware auszurüsten, also insbesondere mit mobilen Lesegeräten. Die dafür notwendigen Investitionen können zur Erleichterung der Einführung bspw. über ein entsprechendes Finanzierungsmodell (z. B. Anmietung vom Poolbetreiber, Bereitstellung durch das Sägewerk etc.) konzipiert werden.

Als weitere Anforderung muss der praktische Umlauf der Transponder sichergestellt werden, d. h. es ist abhängig von der Zuverlässigkeit und Route entweder ein spezifischer Dienstleister zu beauftragen oder der herkömmliche Postweg zu nutzen. Insbesondere zu Beginn der Holzerntekette ist es im Hinblick auf die einzuhaltenden Zeitpläne zwingend erforderlich, dass die bestellten Transponder rechtzeitig beim Einschlagunternehmen eintreffen und dass auch kurzfristige Nachbestellungen erfüllt werden können. Ein besonderer Service könnte daher darin bestehen, die bestellten Transponder direkt in den Wald zu liefern.

Aus technischer Sicht muss eine hohe Zuverlässigkeit der Transponder gegeben sein, da eine zu hohe Ausschussquote die Kosten unnötig ansteigen lässt. Ebenso müssen auf Seiten des Poolbetreibers aufeinander abgestimmte und zügige Abläufe umgesetzt werden, um den Aufwand im Hinblick auf die kontinuierlich eintreffenden Rückläufer und deren Funktionskontrolle sowie den Versand an die Besteller beherrschen zu können. Dabei ist ein möglichst hoher Automatisierungsgrad anzustreben, um die laufenden Kosten gering zu halten. Dies impliziert eine Entscheidung zwischen dem Einsatz von Niedriglohnkräften oder dem Kauf einer entsprechend angepassten Maschine.

Schließlich ist die Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Datenbank der gewichtigste Faktor, da ohne diese zentrale Instanz das Poolsystem nicht funktionsfähig ist. Daher ist der IT-Infrastruktur besondere Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu widmen. Dies gilt vor allem aus der Sicht des Poolbetreibers, da die Identifikationsnummer direkt im ELDAT-System hinterlegt ist und damit ein Ausfall der Pooldatenbank lediglich zur Folge hat, dass aktuelle Prozessdaten (z. B. welches Unternehmen gerade welche Transponder nutzt) nicht erfasst werden können. Die für die Produktion im Sägewerk bzw. für die generellen Materialflüsse im Rahmen der Holzerntekette relevanten Daten hingegen sind dadurch nicht betroffen.

6 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Neben der Prüfung der technischen Realisierbarkeit sind auch damit zusammenhängende ökonomische Aspekte zu prüfen, denn der Einsatz von kostenintensiven Kennzeichnungs- und Identifikationsverfahren ist nur dann sinnvoll, wenn dies einen Mehrwert für die beteiligten Unternehmen generiert. Dieser Mehrwert kann entweder in Kosteneinsparungen, Nutzegewinnen oder einer Kombination aus beidem bestehen.

6.1 Grundsätzliche Erwägungen

Da im hier betrachteten Vorhaben zumindest teilweise RFID-Technologie zur Kennzeichnung und Identifikation eingesetzt wird, sind vor allem diesbezüglich existierende Bewertungsrichtlinien – hier die VDI 4472 Blatt 4 – zu prüfen[63]. Dort wird unterschieden zwischen Kosten, die jeweils in den Projektphasen *Planung*, *Realisierung* und *Betrieb* entstehen sowie zwischen *Sachmittel-* und *Personalkosten*. Die in der Richtlinie aufgeführten Kostenarten können für den vorliegenden Fall vollständig übernommen werden, jedoch erfolgt für die folgende Beispielkalkulation eine notwendige Anpassung auf die forstlichen Gegebenheiten sowie die Konzentration auf die zentralen Aspekte. Neben den Kosten geht die Richtlinie VDI 4472 Blatt 4 sehr ausführlich auf Nutzenaspekte ein, die unterteilt werden in *Prozess-* und *Netzwerkeffekte* sowie Auswirkungen auf *Kunden* und die *eigene Finanzsituation*. Die dort vorgestellten allgemeinen Ursache-Wirkungsketten sind analog zu den in Kapitel 6.2.3 ab Seite 182 behandelten, auf den vorliegenden Anwendungsfall ausgerichteten spezifischen Beziehungen zu sehen. Insofern orientieren sich die folgenden Ausführungen eng an bestehenden Standards.

6.2 Teil 1: Betrachtung der Supply Chain

Korrespondierend zur Unterscheidung zwischen motormanueller und hochmechanisierter Holzerntekette muss auch die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nach diesen getrennt erfolgen, da die eingesetzten Verfahren und technischen Möglichkeiten grundsätzlich eine differenzierte Herangehensweise auch für den Einsatz der RFID-Technologie erforderlich machen. So kann im Langholzbereich (Motormanuelle Kette) aufgrund der verhältnismäßig geringen Anzahl der Stämme und dem höheren Personaleinsatz mit Handlesegeräten gearbeitet werden, während der Kurzholzbereich (Hochmechanisierte Kette) mit seiner Vielzahl an Stammabschnitten und den hochproduktiven Spezialmaschinen beispielsweise den Einsatz fest installierter Antennen voraussetzt.

6.2.1 Kosten des RFID-Einsatzes

Im Rahmen der folgenden Analyse wird ein allgemeingültiger Ansatz gewählt, da sich praktisch alle Kosten je nach Unternehmen, Anbieter und verhandelten Konditionen unterscheiden. Aufgrund der allgemeinen Betrachtung wird diesem Umstand Rechnung

getragen, so dass durch einfaches Ersetzen der Platzhalter durch eigene Zahlen eine konkrete und individuelle Analyse erstellt werden kann. Dennoch wird an relevanter Stelle nicht auf die Erwähnung von Erfahrungs- und Richtwerten verzichtet.

In diesem Zusammenhang erfolgt eine konsequente Differenzierung zwischen der motormanuellen und hochmechanisierten Holzerntekette, da die jeweiligen Prozesse und Arbeitsmethoden sich grundlegend voneinander unterscheiden. Daher muss auch die Betrachtung der Kosten entsprechend getrennt durchgeführt werden.

Als laufende Kosten (K_v) sind vorwiegend Ersatzbeschaffungen, Verbrauchsmaterialien und Betriebskosten anzusetzen, während sich die fixen Bestandteile (K_f) in der Hauptsache aus Gerätebeschaffungs-, Installations- und Schulungskosten zusammensetzen. Zusätzlich müssen unregelmäßige Kosten für Reparaturen (K_r) berücksichtigt werden. Insgesamt kann damit die Kostenformel für die motormanuelle (K^M) sowie die hochmechanisierte Variante (K^H) wie folgt zusammengesetzt werden:

$$K^M = K_f^M + K_v^M + K_r = \sum_{n=1}^4 K_{fn}^M + \sum_{m=1}^4 K_{vm}^M + K_r$$

bzw.

$$K^H = K_f^H + K_v^H + K_r = \sum_{n=1}^4 K_{fn}^H + \sum_{m=1}^4 K_{vm}^H + K_r$$

Formel 6-1: Kostenstruktur des RFID-Einsatzes vom Wald bis zum Sägewerk

Quelle: Eigenerstellung

Die obige Formel summiert von 1 bis 4, weil es – wie bereits in Kapitel 3.1 (S. 27 ff.) dargestellt – in diesem Abschnitt insgesamt vier Stationen (Fällung, Identifikation auf dem Schlepper, Identifikation am Polter, Identifikation auf dem LKW) gibt, an denen variable bzw. fixe Kosten anfallen. Die Reparatur- bzw. Instandhaltungskosten werden auf die Summe pauschal aufgeschlagen.

6.2.2 Beispielhafte Kostenberechnung mit Szenario-Analyse

Im Folgenden wird zur Veranschaulichung mit Hilfe der Szenario-Technik [64] eine exemplarische Kalkulation durchgeführt, die auf den drei Szenarien Pessimistisch, Trend und Optimistisch basiert. Forstwirtschaftlich interessant sind dabei nicht nur die Kosten pro Zeiteinheit, sondern vor allem die Kosten pro Festmeter (fm). Daher ist der Festmeter die Bezugseinheit für die folgenden Berechnungen.

In den folgenden Szenarien wird von jeweils gleichen Bedingungen ausgegangen, d. h. bei identischer Hardware und identischen Maschinen unterscheiden sich lediglich die

Kosten voneinander. Das Trend-Szenario kann von den Gegenwartsdaten heraus abgeleitet werden, während das optimistische und das pessimistische Szenario Extremsituationen im Sinne von best- und schlechtestmöglichen Bedingungen beschreiben. Die Szenarien wurden unter der Prämisse niedriger Leistung und hoher Kosten ausgewählt, weshalb die Ergebnisse insgesamt eher Maximalkosten darstellen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Szenarien jeweils in Tabellenform einander gegenübergestellt.

6.2.2.1 Motormanuelle Variante

Um eine vergleichende Berechnung der einzelnen Kostenfaktoren durchführen zu können, müssen zunächst einige Annahmen getroffen werden, die in der folgenden Tabelle 16 wiedergegeben sind.

Tabelle 16: Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Annahmen)

Annahmen für die motormanuelle Holzerntekette	
Sortiment Langholz	
Stückmasse Fichte H4	1,5 fm
Waldarbeiter	
Leistung pro Jahr	1.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	35 €
Schlepper	
Leistung pro Jahr	7.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	20 €
Langholz-LKW	
Leistung pro Jahr	15.000 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	20 €
Datenhaltung	
Abschreibungszeitraum Hardware	5 a
Bezugsmenge pro Jahr	100.000 fm

Im Rahmen der motormanuellen Holzerntekette werden die Transponder vom Waldarbeiter appliziert, weshalb an dieser Stelle ein höherer Zeitaufwand einzukalkulieren ist. Aufgrund der zuvor dargestellten Überlegungen kommen vorwiegend Transpondernägel im 125-kHz-Bereich oder HF-Transponder in Betracht, aber auch geeignete UHF-Transponder können eingesetzt werden. Da die UHF-Transponder aufgrund der erforderlichen Robustheit teurer in der Beschaffung sind als LF-Nägel oder HF-Etiketten, wird im Rahmen der folgenden Kalkulation (vgl. Tabelle 17) eine entsprechende Fallunterscheidung getroffen. Für den Waldarbeiter wurde im Rahmen des pessimistischen Szenarios eine starke Erhöhung der Applikationszeit (bspw. wenn ein

Transpondernagel bei der Applikation zerbricht) angenommen, weshalb diese deutlich höher ausfällt. Die Zeitangabe beinhaltet insgesamt auch die Zeit, die für die Bereitstellung der notwendigen Teile (Applikator, Transponder, Lesegerät) erforderlich ist.

Tabelle 17: Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Berechnungen)

Szenarioberechnung motormanuelle Holzerntekette			
	Optimistisches Szenario	Trend-Szenario	Pessimistisches Szenario
Transponderkosten (UHF)	1,50 €	2,00 €	2,50 €
Transponderkosten (LF/HF)	0,50 €	1,00 €	1,50 €
Mehrkosten je fm (UHF)	1,00 €	1,33 €	1,67 €
Mehrkosten je fm (LF/HF)	0,33 €	0,67 €	1,00 €
Waldarbeiter			
Zeitlicher Mehraufwand je Abschnitt	10 s	30 s	50 s
Kosten Handlesegerät	1.500,00 €	2.500,00 €	3.500,00 €
Mehrkosten je fm (Lesegerät)	0,33 €	0,56 €	0,78 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,06 €	0,19 €	0,32 €
Schlepper			
Zeitlicher Mehraufwand je Abschnitt	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.500,00 €	2.500,00 €	3.500,00 €
Mehrkosten je fm (Lesegerät)	0,07 €	0,11 €	0,16 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,02 €	0,04 €	0,06 €
LKW			
Zeitlicher Mehraufwand je Abschnitt	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.500,00 €	2.500,00 €	3.500,00 €
Mehrkosten je fm (Lesegerät)	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,02 €	0,04 €	0,06 €
Datenhaltung			
Hardwarekosten	3.000,00 €	5.000,00 €	7.000,00 €
Software-Lizenzkosten	10.000,00 €	30.000,00 €	50.000,00 €
Kosten für zentralen DB-Zugang	500,00 €	1.000,00 €	1.500,00 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,07 €	0,12 €
Gesamt-Mehrkosten je fm (UHF)			
	1,56 €	2,40 €	3,23 €
Gesamt-Mehrkosten je fm (LF/HF)			
	0,90 €	1,73 €	2,56 €

Zum besseren Verständnis ist im Folgenden als Rechenbeispiel die Kalkulation der Mehrkosten je Festmeter für das Trend-Szenario LF/HF (Transponder und Waldarbeiter) ausführlich dargestellt. Alle weiteren Berechnungen wurden analog durchgeführt.

$$\text{Transponderkosten} = 1,00 \frac{\text{€}}{\text{Stck.}} \div 1,5 \frac{\text{fm}}{\text{Stck.}} = 0,67 \frac{\text{€}}{\text{fm}}$$

$$\text{Mehrkosten Lesegerät} = 2.500 \text{ €} \div 3a \div 1.500 \frac{\text{fm}}{a} = 0,56 \frac{\text{€}}{\text{fm}}$$

$$\text{Mehrkosten Arbeitszeit} = x \frac{\text{€}}{\text{fm}}$$

$$30 \frac{s}{\text{Stck.}} \div 1,5 \frac{\text{fm}}{\text{Stck.}} = 20 \frac{s}{\text{fm}} \Rightarrow 1.500 \frac{\text{fm}}{a} \cdot 20 \frac{s}{\text{fm}} = 30.000 \frac{s}{a} = 8,33 \frac{h}{a}$$

$$\Rightarrow 35 \frac{\text{€}}{h} \cdot 8,33 \frac{h}{a} = 291,67 \frac{\text{€}}{a} \Rightarrow x = 291,67 \frac{\text{€}}{a} \div 1.500 \frac{\text{fm}}{a} = 0,19 \frac{\text{€}}{\text{fm}}$$

Formel 6-2: Rechenbeispiel zur Kalkulation der Mehrkosten je Festmeter im Trend-Szenario

Quelle: Eigenerstellung

Die angenommenen Transponderkosten beziehen sich auf eine Abnahmemenge größer 1 Million Stück und mussten geschätzt werden, da kein Hersteller eine verbindliche Aussage treffen mochte. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass die tatsächlichen Verkaufspreise grundlegender Verhandlungsgegenstand sind und auch aktuelle Produktionskapazitäten berücksichtigen müssen, die in Abhängigkeit der Nachfrage zum Teil stark schwanken können. Die Analyse des wahrscheinlichen Trend-Szenarios zeigt, dass die durchschnittlichen Mehrkosten bei ca. 2,40 € je Festmeter liegen, wenn UHF-Transponder eingesetzt werden bzw. bei ca. 1,70 €, falls LF- oder HF-Transponder genutzt werden. In diese Beträge fließen die Anschaffungskosten zu 55,4 % (UHF) bzw. 38,7 % (LF/HF) ein, was deren Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems unterstreicht: Der Einfluss der Anschaffungskosten auf die Mehrkosten je Festmeter ist sehr groß, weshalb dieser Faktor zum Beispiel durch die Einrichtung eines Transponderpools (vgl. Kapitel 5 ab Seite 155) entschärft werden kann.

6.2.2.2 Hochmechanisierte Variante

Für die hochmechanisierte Variante ergeben sich leicht andere Werte, da in diesem Fall insbesondere mit fest installierten RFID-Systemen und nicht mit Handhelds kalkuliert wird. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Transponder automatisch an den Abschnitten appliziert werden können, wie es bereits am Beispiel mit HF-Transponderkarten gezeigt wurde (vgl. Kapitel 4.1.4, S. 60 ff.). Analog zur motormanuellen Variante findet auch hier eine Fallunterscheidung zwischen den Frequenzbereichen HF und UHF Anwendung, um die am Markt üblichen unterschiedlichen Preisgestaltungen

gen abbilden zu können. Der Bereich um 125 kHz ist – wie bereits in Kapitel 4.1 (S. 53 ff.) ausgeführt wurde – für die hochmechanisierte Variante grundsätzlich nicht geeignet. Zunächst sind wieder entsprechende Annahmen zu treffen, die in der folgenden Tabelle 18 wiedergegeben sind.

Tabelle 18: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Annahmen)

Annahmen für die hochmechanisierte Holzerntekette	
Sortiment Kurzholz	
Anzahl Abschnitte je fm (Fichte 2a, 4m)	7,5
Harvester	
Leistung pro Jahr	22.000 fm
Abschreibungszeitraum	6 a
Forwarder	
Leistung pro Jahr	18.000 fm
Abschreibungszeitraum	6 a
Kurzholz-LKW	
Leistung pro Jahr	15.000 fm
Abschreibungszeitraum	6 a
Datenhaltung	
Abschreibungszeitraum Hardware	5 a
Bezugsmenge pro Jahr	100.000 fm

Auf der Basis dieser Annahmen können analog zur motormanuellen Variante die folgenden Mehrkosten je Festmeter berechnet werden (vgl. Tabelle 19):

Tabelle 19: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Berechnungen)

Szenarioberechnung hochmechanisierte Holzerntekette			
	Optimistisches Szenario	Trend-Szenario	Pessimistisches Szenario
Transponderkosten (UHF)	0,40 €	0,70 €	1,00 €
Transponderkosten (HF)	0,70 €	1,00 €	1,30 €
Mehrkosten je fm (UHF)	3,00 €	5,25 €	7,50 €
Mehrkosten je fm (HF)	5,25 €	7,50 €	9,75 €
Harvester			
Kosten Applikationsgerät	5.000,00 €	10.000,00 €	15.000,00 €
Mehrkosten je fm	0,04 €	0,08 €	0,11 €
Forwarder			
Kosten Antennen	3.000,00 €	5.000,00 €	7.000,00 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,05 €	0,06 €
LKW			
Kosten Antennen	3.000,00 €	5.000,00 €	7.000,00 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Datenhaltung			
Hardwarekosten	3.000,00 €	5.000,00 €	7.000,00 €
Software-Lizenzkosten	10.000,00 €	30.000,00 €	50.000,00 €
Kosten für zentralen DB-Zugang	500,00 €	1.000,00 €	1.500,00 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,07 €	0,12 €
Gesamt-Mehrkosten je fm (UHF)	3,13 €	5,50 €	7,87 €
Gesamt-Mehrkosten je fm (HF)	5,38 €	7,75 €	10,12 €

Im Unterschied zur motormanuellen Kette wurden die Kosten für HF-Transponder höher angesetzt als für UHF-Transponder, da für die automatische Applikation ein Scheckkartenformat empfehlenswert ist (vgl. Kapitel 4.1, S. 53 ff.). Setzt man diese Bauform voraus und kalkuliert mit robusteren Karten anstelle von einfachen Klebeetiketten, sind die angeführten Stückkosten realistisch. UHF-Transponder sind günstiger anzusetzen, da die notwendigen Inlays aufgrund ihrer vielseitigen Verwendbarkeit und der damit verbundenen hohen Nachfrage in weitaus größerer Auflage und damit weniger kostenintensiv hergestellt werden können.

Da die einzelnen Berechnungen identisch zu denen für die motormanuelle Variante sind (vgl. Formel 6-2, S. 177), wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung der Rechenwege verzichtet. Aufgrund der geringen Stückmasse (vgl. Tabelle 18, S. 178) ergeben sich unabhängig von der verwendeten Frequenz sehr hohe Transponderkosten je Festmeter, die zu ca. 96 % (UHF) bzw. 97 % (HF) in die Gesamt-Mehrkosten einfließen.

Eine Senkung des Transponder-Stückpreises bewirkt daher eine fast proportionale Senkung der Gesamt-Mehrkosten, so dass dieser Faktor als wesentlich für die Kostenstruktur identifiziert werden kann. Die Schaffung eines Transponderpools zur Senkung der Beschaffungskosten bzw. Verteilung auf alle Beteiligten oder die Einführung einer vergleichbaren Maßnahme ist aus dieser Sicht zwingend erforderlich, um den RFID-Einsatz wirtschaftlich tragen zu können.

6.2.2.3 Kostenvergleich zwischen Branchen- und Firmenpool

Konzentriert man die wirtschaftliche Analyse auf das Langholz, wo der Einsatz von Transpondern aufgrund der lediglich manuellen Applikationserfordernis technisch sehr einfach umsetzbar ist, so kommt die hochmechanisierte Holzerntekette nicht weiter in Betracht. Wie jedoch in Kapitel 5 ab Seite 155 beschrieben wurde, kann der Transpondereinsatz innerhalb eines Firmen- oder Branchenpools erfolgen, so dass für beide Alternativen eine Berechnung der Kostenverteilung erfolgen muss. Die folgende Tabelle 20 gibt die Annahmen für einen Branchenpool wieder, die im Sinne einer Vergleichbarkeit analog zu denen der motormanuellen Kette gewählt wurden.

Tabelle 20: Szenario-Betrachtung für einen Branchenpool (Annahmen)

Annahmen für einen Branchenpool	
Sortiment Langholz	
Stückmasse Buche Stärkeklasse 4	1,5 fm
Waldarbeiter	
Leistung pro Jahr	1.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	35 €
Schlepper	
Leistung pro Jahr	7.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	20 €
Langholz-LKW	
Leistung pro Jahr	15.000 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Arbeitgeberkosten pro Stunde	20 €
Datenhaltung	
Abschreibungszeitraum Hardware	5 a
Bezugsmenge pro Jahr	100.000 fm

Da die Datenbasis identisch zur motormanuellen Holzerntekette ist, lassen sich ebenfalls identische Kosten berechnen. Da diese bereits im Detail in Tabelle 17 (S. 176) dargestellt wurden, wird an dieser Stelle auf eine erneute Wiedergabe verzichtet.

Für einen Firmenpool ergeben sich jedoch andere Werte, da in diesem Fall die Transponder erst durch die Einkäufer des Sägewerks am Polter appliziert und später im Werk

wieder entfernt werden. Somit entfallen die Kosten für die Waldarbeiter, so dass die Kosten pro Festmeter je nach Szenario von 0,39 € bis zu 1,10 € gesenkt werden können. Auf der Basis dieser Annahmen können analog zur Variante des Branchenpools die folgenden Mehrkosten je Festmeter berechnet werden (vgl. Tabelle 21):

Tabelle 21: Szenario-Betrachtung für einen Firmenpool (Berechnungen)

Szenarioberechnung Firmenpool			
	Optimistisches Szenario	Trend-Szenario	Pessimistisches Szenario
Transponderkosten	0,70 €	1,00 €	1,30 €
Mehrkosten je fm	0,47 €	0,67 €	0,87 €
Waldarbeiter			
Entfällt			
Schlepper			
Zeitlicher Mehraufwand je Abschnitt	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.500,00 €	2.500,00 €	3.500,00 €
Mehrkosten je fm (Lesegerät)	0,07 €	0,11 €	0,16 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,02 €	0,04 €	0,06 €
LKW			
Zeitlicher Mehraufwand je Abschnitt	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.500,00 €	2.500,00 €	3.500,00 €
Mehrkosten je fm (Lesegerät)	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,02 €	0,04 €	0,06 €
Datenhaltung			
Hardwarekosten	3.000,00 €	5.000,00 €	7.000,00 €
Software-Lizenzkosten	10.000,00 €	30.000,00 €	50.000,00 €
Kosten für zentralen DB-Zugang	500,00 €	1.000,00 €	1.500,00 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,07 €	0,12 €
Gesamt-Mehrkosten je fm	0,63 €	0,98 €	1,33 €

Der Rechenweg ist identisch zu dem weiter oben beschriebenen und wird daher nicht erneut im Detail hergeleitet. Durch den Wegfall der kostenintensiven Applikation durch die Waldarbeiter können je Festmeter deutliche Einsparungen erzielt werden, so dass die Gesamtkosten der Transpondernutzung pro Festmeter im optimistischen und Trendszenario sogar unterhalb der Anschaffungskosten eines einzelnen Transponders liegen. Allein im pessimistischen Szenario liegen die Gesamtkosten um 3 Cent über dem

angenommenen Anschaffungspreis, was jedoch im Vergleich mit der zuvor dargestellten Branchenpoolkalkulation deutlich kostengünstiger ist.

Kalkulatorisch fließen im optimistischen und im Trendszenario die Transponder-Anschaffungspreise umgerechnet auf einen Festmeter zu mehr als 100% in die Gesamt-Mehrkosten ein, was ein entsprechend großes, weitergehendes Kostensenkungspotential bedeutet – sinken die Preise bspw. im Trend-Szenario auf 0,50 €, so ergeben sich Gesamt-Mehrkosten je fm in Höhe von 0,65 €.

6.2.3 Rentabilitätsanalyse

Neben den zuvor dargestellten Kostenaspekten generiert der Einsatz von Auto-ID-Technologien in der Holzerntekette bis zum Sägewerk auch Nutzenwerte. Im Wesentlichen sind dies:

- Durchgängiger Informationsfluss
- Zinsvorteile aus einer schnelleren Abrechnung
- Erhöhung von Volumen und Qualität sowie Verringerung der Kapitalbindung durch kürzere Lagerdauer im Wald
- Reduktion von Lagerschäden, z. B. Pilz- und Insektenbefall

Die aufgeführten Werte hängen jedoch sehr stark von individuellen Faktoren und Einflussparametern ab, weshalb sie nur schwer und nicht allgemeingültig quantifizierbar sind. Die Richtlinie VDI 4472 Blatt 4 liefert in diesem Zusammenhang mathematische Formeln unter anderem zur Berechnung des Ergebnisbeitrags durch Reduzierung von Prozesskosten und Lagerbeständen sowie durch eine Erhöhung der Prozessqualität. Um eine Aussage diesbezüglich treffen zu können, wird im Folgenden eine Analyse auf der Basis einer Balanced Scorecard [65] durchgeführt.

Dabei ist zu beachten, dass die Balanced Scorecard ein „Instrument zur Umsetzung von Strategien mit quantifizierbaren Vorgaben“ ist [66] und „damit ein Instrument zur internen Willensdurchsetzung einer bereits gefällten Strategie-Entscheidung“ darstellt, d. h. die Funktion als Controlling-Instrument „lediglich auf die Abweichungsanalyse von internen Umsetzungsvorhaben einer fest definierten Strategie“ beschränkt ist [66].

In Kapitel 3.1 (S. 27 ff.) wurde deutlich, dass die Holzerntekette nur in wenigen Fällen in ihrer Gesamtheit vom Fällen bis zum Sägewerk von lediglich einem Unternehmen abgedeckt wird, d. h. regelmäßig sind für jeden Abschnitt der Kette unterschiedliche Dienstleistungsunternehmen im Einsatz. Die Betrachtung und Analyse bezieht sich in den folgenden Kapiteln daher nicht auf ein einzelnes, sondern auf ein Netzwerk von miteinander kooperierenden Unternehmen. Die klassische Balanced Scorecard ist aus diesem

Grund als Analyseinstrument nur bedingt geeignet, weshalb auf eine – relativ junge – Modifikation zurückgegriffen wird: die Netzwerk-Balanced Scorecard [67].

6.2.3.1 Netzwerk-Balanced Scorecard: Ein Überblick

Die im Rahmen der Forschungsarbeiten des Teilprojektes M3 innerhalb des DFG Sonderforschungsbereiches 559 an der Technischen Universität Dortmund entwickelte Netzwerk-Balanced Scorecard (NBS) ist speziell dafür entworfen worden, auf Kooperationen basierenden Unternehmensnetzwerken ein Controlling-Instrument zur Verfügung zu stellen (vgl. [68; 69; 70]). Eine Übertragung und letztlich auch Anwendung auf den vorliegenden Fall bietet sich daher unter Berücksichtigung bereits existierender Arbeiten in diesem Zusammenhang [71] an.

Die NBS wurde im Vergleich zur ursprünglichen Balanced Scorecard sowohl inhaltlich als auch strukturell angepasst, um den Anforderungen an ein übergreifendes Instrument gerecht zu werden (vgl. zum Folgenden [67]). Für jeden Netzwerkteilnehmer besteht die NBS aus fünf Perspektiven: Finanzperspektive, Ressourcenperspektive, Marktperspektive, Kooperationsperspektive und Prozessperspektive (vgl. Abbildung 109).

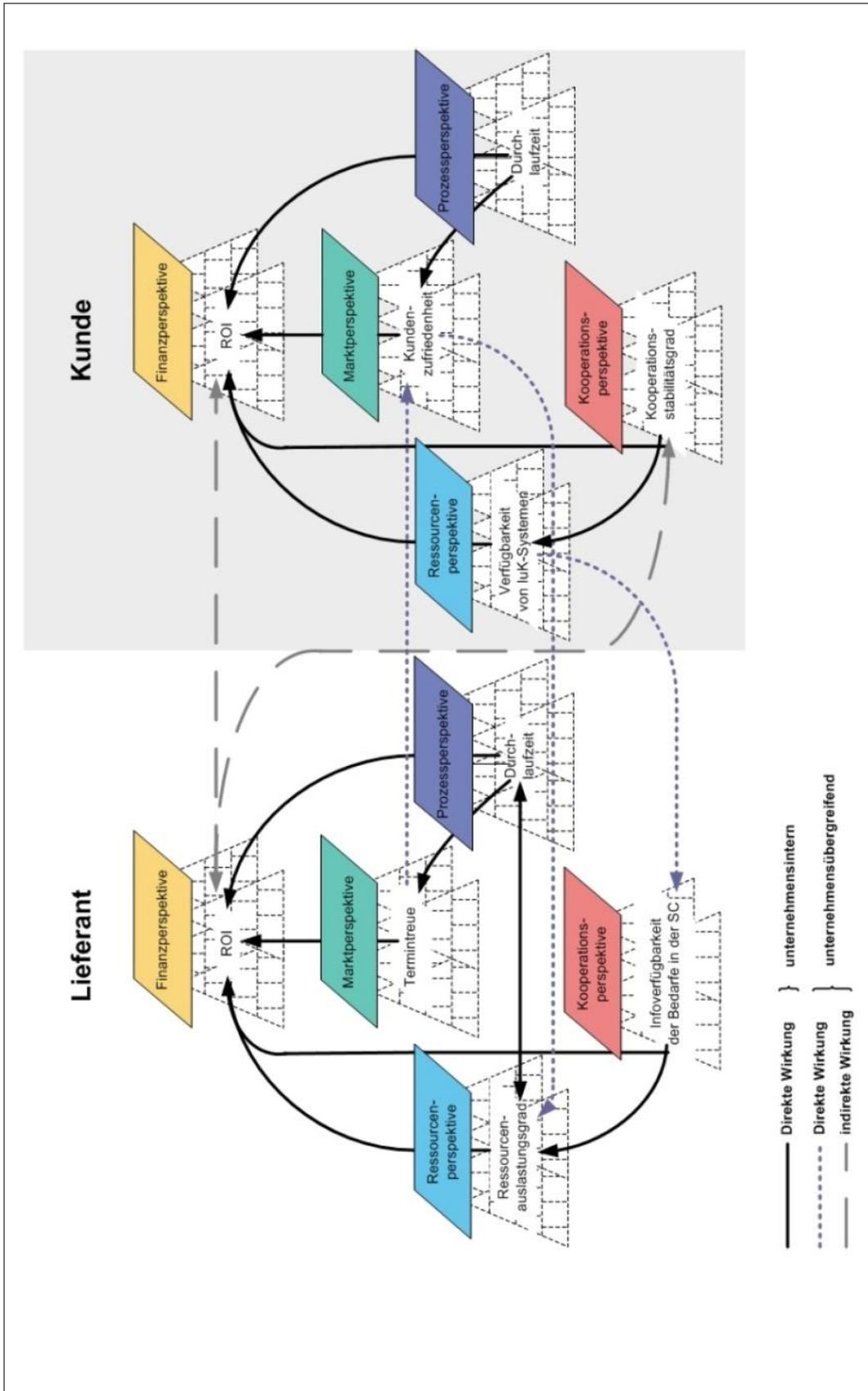


Abbildung 109: Perspektiven der Netzwerk-Balanced Scorecard mit Ursache-Wirkungs-Ketten
Quelle: [67]

Die *Finanzperspektive* ist dabei den anderen Perspektiven übergeordnet, denn an ihr sind alle anderen Ziele und Kennzahlen auszurichten. Allgemein gesprochen bildet sie die finanziellen Wirkungen des Supply Chain Managements ab. Die *Prozessperspektive* definiert die operative und strategische Ausgestaltung aller internen und übergreifenden Prozessabläufe anhand von Prozesszielen, wobei im Rahmen der vorliegenden Betrachtung von Netzwerken den unternehmensübergreifenden (mithin leistungserstellenden) Prozessen eine besondere Bedeutung zukommt. Nicht minder wichtig ist in diesem Zusammenhang die *Kooperationsperspektive*, welche die Wirkungen zwischenbetrieblicher Kooperationen innerhalb der Supply Chain darstellt. Die *Ressourcenperspektive* berücksichtigt ergänzend zu den Inhalten der klassischen Lern- und Entwicklungsperspektive strategische Potenzialfaktoren, um knappe Ressourcen steuern, planen und kontrollieren zu können. Schließlich zeigt die *Marktperspektive* die innerhalb des Netzwerks herrschende Konkurrenzsituation und den Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen auf. Zudem hängen die genannten Perspektiven im Rahmen von Ursache-Wirkungs-Ketten zusammen und können daher nicht isoliert betrachtet werden.

6.2.3.2 Definition von neuen und Anwendung bekannter Kennzahlen

Für jede der genannten Perspektiven sind Kennzahlen zu erarbeiten, anhand derer ein gezieltes Controlling möglich wird. Die in der vorliegenden Ausarbeitung betrachtete Holzerntekette lässt sich – wenn auch nicht im ursprünglichen betriebswirtschaftlichen Sinne – als Beschaffungskette beschreiben, weshalb die konkrete Ausgestaltung der Netzwerk-Balanced Scorecard unter diesem Gesichtspunkt und mit Berücksichtigung der forstspezifischen Charakteristika zielführend erscheint. Im Hinblick auf den vorliegenden Anwendungsfall können bereits bekannte Kennzahlen als Basis genutzt werden, um die grundsätzlichen ökonomischen Zusammenhänge der vielfältigen nicht-quantifizierbaren Effekte darzustellen, die ein Supply Chain übergreifender Einsatz von Auto-ID-Technologien in dieser Branche erzeugt. Darüber hinaus sind jedoch weitere, fallspezifische Kennzahlen zu definieren, welche die besonderen Gegebenheiten in der Holzerntekette berücksichtigen. Die folgende Tabelle 22 liefert eine Übersicht über die wichtigsten in diesem Zusammenhang verwendeten Kennzahlen für jeden betrachteten Teilnehmer der Verwertungskette. Die einzelnen Werte sowie ergänzende Berechnungen werden in den folgenden Kapiteln bezogen auf die jeweiligen Perspektiven erläutert. Dabei gilt für die meisten Kennzahlen der Grundsatz, dass ein möglichst hoher Wert, d. h. nahe bei oder im Idealfall auch gleich 100 %, angestrebt werden sollte.

Tabelle 22: Übersicht des Kennzahlensystems in der Holzerntekette (Auswahl)

Ausgewählte Kennzahlen in der Holzerntekette					
	Wald- besitzer	Einschlag- unter- nehmen	Fracht- führer	Sägewerk	OEM-Kunde
Finanz- perspektive	<ul style="list-style-type: none"> • ROI • RFID-Investment 	<ul style="list-style-type: none"> • ROI • RFID-Investment 	<ul style="list-style-type: none"> • ROI • RFID-Investment 	<ul style="list-style-type: none"> • ROI • RFID-Investment • Investment für interne Kennz. 	<ul style="list-style-type: none"> • ROI • Kunden-Zusatzinfo-Faktor
Prozess- perspektive	<ul style="list-style-type: none"> • Verkaufsmenge [fm] 	<ul style="list-style-type: none"> • Einschlagsmenge [fm] • Anzahl standardisierter Schnittstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Transportmenge [fm] • Anzahl standardisierter Schnittstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verarbeitungsmenge [fm] • Anzahl standardisierter Schnittstellen • RFID-Transferquote • Markierungsquote_ Intern • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Verarbeitungsmenge [fm] • Anzahl standardisierter Schnittstellen • Identifikationsquote_ WE
Ressourcen- perspektive	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von IuK-Systemen • Holznutzungsfaktor 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenverfügbarkeit • Nutzung von IuK-Systemen • Ressourcenauslastung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenverfügbarkeit • Nutzung von IuK-Systemen • Ressourcenauslastung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenverfügbarkeit • Nutzung von IuK-Systemen • Ressourcenauslastung • Lagerplatznutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenverfügbarkeit • Nutzung von IuK-Systemen • Ressourcenauslastung
Kooperations- perspektive	<ul style="list-style-type: none"> • Datenaustausch • Kosten Poolteilnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenaustausch • Kosten Poolteilnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenaustausch • Kosten Poolteilnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenaustausch • Kosten Poolteilnahme • Gemeinsame Vermarktung • Markierungsquote_ WA 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenaustausch • Markierungsquote_ WE • Markierungsgüte_ WE • Gemeinsame Vermarktung
Markt- perspektive	<ul style="list-style-type: none"> • Nachfragequote Sägewerke • Holzverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzverfügbarkeit • Einzugsgebiet 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzverfügbarkeit • Einzugsgebiet 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachfragequote OEM • Einzugsgebiet 	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenzufriedenheit • Kundeninformation

Quelle: Eigenerstellung

6.2.3.2.1 Finanzperspektive

Grundsätzlich sind als Zielstellungen der Finanzperspektive die Reduzierung der Gesamtkosten der Beschaffungskette, die Reduzierung des Cash-to-Cash-Cycle (Zeitspanne zwischen Materialkauf und Verkaufserlös) sowie die Steigerung des Gewinns jedes einzelnen Unternehmens innerhalb der Kette festzustellen. Letzteres ist jedoch von sehr vielen Faktoren aus der gesamten NBS abhängig und daher nicht einfach zu steuern.

Eine wesentliche Kennzahl im Finanzcontrolling ist das Verhältnis zwischen Logistikkosten und Umsatz bzw. analog das Verhältnis zwischen Beschaffungskosten und Umsatz:

$$\text{Logistikfaktor} = \frac{\text{Logistikkosten}}{\text{Umsatz}} \cdot 100$$

Formel 6-3: Verhältnis zwischen Logistikkosten und Umsatz

Quelle: [72]

Der Zusammenhang ist einfach zu erkennen: Sind die Logistikkosten größer als der Umsatz, ist die Kennzahl größer als 100 % und ansonsten kleiner, d. h. je kleiner die berechnete Kennzahl ist, desto vorteilhafter ist die Bewertung – ein Wert von 5 % bis etwa 15 % ist für Industrieunternehmen realistisch [73]. Problematisch dabei ist die notwendige Begriffsdefinition, da die Logistikkosten zum Teil auch innerhalb einzelner Branchen unterschiedlich festgelegt sind [74; 75]. Dies gipfelt darin, dass Beratungsunternehmen für jedes neue Projekt die Logistikkosten neu definieren [76]. Im Folgenden sollen daher vereinfachend die folgenden Kostenarten als Bestandteile der Logistikkosten definiert werden: Steuerungs- und Systemkosten, Bestandskosten, Lagerkosten, Transportkosten, Handhabungskosten und Kosten aufgrund mangelnder Prozesssicherheit.

Im Vergleich nicht weniger bedeutend ist die Gesamtkapitalrendite, wobei alternativ auch die Eigenkapitalrentabilität oder die Umsatzrentabilität verwendet werden können:

$$\text{Gesamtkapitalrentabilität} = \frac{\text{Gesamtgewinn} + \text{Zinsaufwand}}{\text{Gesamtkapital}} \cdot 100$$

Formel 6-4: Gesamtkapitalrendite

Quelle: [72]

Schließlich bietet sich die klassische Kennzahl des Return On Investment (ROI) an, die das Verhältnis zwischen Betriebsergebnis und Gesamtkapital ausdrückt (und damit niemals – wie leider häufig behauptet – einen Wert mit zeitlicher Dimension aufweisen kann):

$$ROI = \frac{\text{Betriebsergebnis}}{\text{Gesamtkapital}} \cdot 100$$

Formel 6-5: Berechnung des Return on Investment

Quelle: [72]

Eine Betrachtung der Reaktion der genannten Kennzahlen auf den Einsatz von RFID in der Holzerntekette lässt folgende Schlussfolgerungen zu: Zunächst steigen die Logistikkosten, da in diese Position unter anderem die laufenden Kosten für die Transponder einfließen und sich damit die Handhabungskosten erhöhen. Bedenkt man die in Kapitel 6.2.3.4 ab S. 207 aufgezeigten Kausalketten, so ist anzunehmen, dass sich aufgrund der besseren Kundenzufriedenheit zumindest langfristig auch der Umsatz erhöht. Auf lange Sicht wird sich das Verhältnis zwischen Logistikkosten und Umsatz also verbessern oder zumindest gleich bleiben, jedoch nicht ohne kurzfristig eine Verschlechterung aufgrund des erhöhten Zählerwertes zu erfahren. Der ROI wird sich ebenfalls kurzfristig verschlechtern, da durch die Investitionen in die RFID-Technologie das Gesamtkapital ansteigt. Erst wenn durch den erhöhten Umsatz und die höhere Kundenbindung sich auch das Betriebsergebnis verbessert, kann der ursprüngliche Wert wieder erreicht bzw. im Idealfall auch übertroffen werden. Analog gilt dies auch für die Gesamtkapitalrentabilität.

Insgesamt wird damit das Risiko des RFID-Einsatzes deutlich, da Entscheidungen abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit der genannten Voraussetzungen getroffen werden müssen. Ein gängiges Entscheidungshilfsmittel für derartige Aufgaben ist bspw. die Szenario-Technik, die bereits in Kapitel 6.2.2 (S. 174 ff.) angewendet wurde (für eine detaillierte Beschreibung vgl. [77]).

Für die Teilnehmer der Supply Chain bis hin zum Sägewerk ist es zudem sinnvoll, den Kostenanteil für die Investitionen in die RFID-Technologie zu überwachen.

$$RFID - Investment = \frac{\text{Ausgaben für RFID - Technologie}}{\text{Gesamte Investitionsausgaben}} \cdot 100$$

Formel 6-6: RFID-Investment

Quelle: Eigenerstellung

Das Sägewerk selbst kann – wie in Kapitel 4.2 ab S. 85 beschrieben wurde – die RFID-Technologie für interne Kennzeichnungsvorgänge nicht einsetzen, weshalb eine weitere Kennzahl zur Erfassung der Kosten für diesen Teilbereich erforderlich ist. Ggf. können beide Kennzahlen auch zu einer gemeinsamen Größe „Auto-ID-Investment“ zusammengefasst werden.

$$\text{Investment für interne Kennz.} = \frac{\text{Ausgaben für Markierungs- und Lesetechnologie}}{\text{Gesamte Investitionsausgaben}} \cdot 100$$

Formel 6-7: Investment für interne Kennzeichnungen

Quelle: Eigenerstellung

Der OEM-Kunde, der die Ware vom Sägewerk erhält, kann durch die verbesserte Informationspolitik seinen Endabnehmern gegenüber jedenfalls teilweise höhere Absatzpreise durchsetzen [14]. Dieser Umsatzanteil kann ebenfalls mit einer Kennzahl gemessen werden:

$$\text{Kunden – Zusatzinfo – Faktor} = \frac{\text{Umsatz mit "informierten" Kunden}}{\text{Gesamtumsatz}} \cdot 100$$

Formel 6-8: Kunden-Zusatzinfo-Faktor

Quelle: Eigenerstellung

Durch diesen Faktor wird es möglich, den Zusatznutzen für den Hersteller durch die Nutzung von Auto-ID-Technologien innerhalb der gesamten Supply Chain monetär zu bewerten.

6.2.3.2.2 Prozessperspektive

Zunächst kann für die Prozessperspektive festgehalten werden, dass neben dem Waren- und Materialfluss auch der Informationsfluss berücksichtigt werden muss. Grundsätzlich werden auch Supportprozesse (wie bspw. Produktentwicklungsprozesse) betrachtet, an dieser Stelle jedoch mangels Relevanz vernachlässigt. Da der Schwerpunkt der Prozessperspektive im Rahmen der NBS auf der Gestaltung, Steuerung und Kontrolle der unternehmensübergreifenden Prozesse liegt, wurden Kennzahlen gewählt, die ebenso über Unternehmensgrenzen hinweg anwendbar sind. Als Ziele können vorrangig eine Verkürzung der Durchlaufzeit, Flexibilisierung und Steigerung der Effizienz von Prozessen sowie die Vereinheitlichung von Schnittstellen identifiziert werden.

Zur Messung der Effizienz der Beschaffungskette bietet sich die Kennzahl *Supply Chain Cycle Time* an [78]. Diese ist definiert als Quotient aus der Wertschöpfungszeit und der Gesamtdurchlaufzeit in der Supply Chain, womit sich bspw. Liege- und Leerzeiten identifizieren lassen, die in der Holzerntekette besonders im Hinblick auf die Lagerdauer auf Poltern interessant sind:

$$\text{Supply Chain Cycle Time} = \frac{\text{Wertschöpfungszeit}}{\text{Gesamtdurchlaufzeit}} \cdot 100$$

Formel 6-9: Supply Chain Cycle Time

Quelle: [72]

Eine generell sehr wichtige und häufig abgefragte Kennzahl ist der *Lieferbereitschaftsgrad*, der auch und gerade in der Holzwirtschaft eine entscheidende Rolle spielen kann:

$$\text{Lieferbereitschaftsgrad} = \frac{\text{Menge ab Lager erfüllter Bestellungen}}{\text{Gesamtmenge Bestellungen}} \cdot 100$$

Formel 6-10: Lieferbereitschaftsgrad

Quelle: [72]

Die Autoren der NBS weisen darauf hin, dass außerdem auch die Betriebskosten der Beschaffungskette mit berücksichtigt werden müssen: „Steigen die Beschaffungsketten-Betriebskosten, ohne dass der ROI steigt, so sind die ineffizienten Bestandteile der Beschaffungskette zu isolieren und anschließend Gegenmaßnahmen zu bestimmen“ [72]. Dazu schlagen sie eine Aufteilung in Kategorien, etwa in Transport-, Mitarbeiter- und Materialkosten, vor. Wie Kapitel 6.2.2 (S. 174 ff.) gezeigt hat, steigen durch den Einsatz von RFID insbesondere die Materialkosten – als potenzielle Gegenmaßnahme wurde in Kapitel 5 (S. 155 ff.) die Einführung eines Transponderpools vorgestellt.

Als Indikator für die Prozesseffizienz und -flexibilität dient die Kennzahl *Anteil standardisierter Schnittstellen*, die durch die RFID-Technologie deutlich beeinflusst wird:

$$\text{Anteil standardisierter Schnittstellen} = \frac{\text{Anzahl standardisierter Schnittstellen}}{\text{Gesamtanzahl Schnittstellen}} \cdot 100$$

Formel 6-11: Anteil standardisierter Schnittstellen

Quelle: [72]

Schließlich sind die Kennzahlen *Lieferflexibilität* und *Lieferqualität* zu berücksichtigen, die entscheidend auf die Kundenzufriedenheit und damit auf die Bindung an das Unternehmen einwirken:

$$\text{Lieferflexibilität} = \frac{\text{Anzahl erfüllter Änderungswünsche}}{\text{Gesamtanzahl Änderungswünsche}} \cdot 100$$

Formel 6-12: Lieferflexibilität

Quelle: [72]

$$\text{Lieferqualität} = 100 - \frac{\text{Anzahl beanstandeter Lieferungen}}{\text{Gesamtanzahl Lieferungen}} \cdot 100$$

Formel 6-13: Lieferqualität

Quelle: [72]

Der Lieferbereitschaftsgrad hängt wesentlich von der Planbarkeit des Kundenbedarfs ab, da anhand des prognostizierten Bedarfs die Fällmengen bestimmt werden. Grundlage für eine verlässliche Prognose ist eine akkurate Historie der in der Vergangenheit

erfolgten Bestellmengen sowie eine möglichst genaue Vorhersage der zukünftigen Bedarfsmengen. Dies wiederum erfordert eine umfangreiche Datenbasis, die mit heutigen Mitteln praktisch nicht aufgebaut werden kann. Die RFID-Technik unterstützt durch automatisch erfasste und verarbeitete Datenbestände die Disposition und Planung und kann so den Lieferbereitschaftsgrad erhöhen, da die Bedarfsanforderungen besser antizipiert werden können.

Die Einführung der RFID-Technologie führt zwar zu einer Vielzahl neuer, allerdings zunehmend standardisierter Schnittstellen, so dass die Prozesseffizienz nicht beeinträchtigt wird. In den Praxisversuchen mussten zwar die Schnittstellen der einzelnen Geräte noch manuell aneinander angepasst werden, jedoch ist dieser Schritt bei einem markt-reifen System nicht mehr erforderlich. Die Hardware-Hersteller arbeiten intensiv an einer Vereinheitlichung der Schnittstellen, so dass einzelne Bestandteile innerhalb bestehender Netzwerke auch gegen Konkurrenzprodukte ausgetauscht werden können, ohne diese bzw. die empfangenden Einheiten neu konfigurieren zu müssen[79]. Insofern ist eine spürbare Änderung der Kennzahl zumindest mittelfristig nicht zu erwarten.

Die Lieferqualität ist in der Holzerntekette durchgehend hoch, allerdings kommt es dennoch vor, dass die tatsächliche Lieferung an das Sägewerk nicht mit der Bestellung übereinstimmt. Eine gängige Ursache dafür ist, dass Stämme aufgrund der LKW-Zuladungsbeschränkung von 40 Tonnen zurückgelassen werden müssen. An dieser Stelle ist die Disposition betroffen, die das Gewicht der Stämme lediglich schätzen bzw. grob berechnen kann. Komplette Falschlieferungen sind die absolute Ausnahme und kommen nur sehr selten vor, sind aber dennoch nicht auszuschließen. Der Einsatz von RFID kann aufgrund der besseren Informationsbasis dazu beitragen, dass eine exaktere Disposition vorgenommen wird und damit unter anderem nicht vorgesehene Teillieferungen minimiert bzw. im Idealfall vermieden werden können.

Im Hinblick auf das Sägewerk kommen weitere Kennzahlen hinzu, die im Hinblick auf die Auswertung und das Controlling der genutzten Auto-ID-Verfahren notwendig sind. In der Prozesskette an erster Position steht in diesem Zusammenhang die *RFID-Transferquote*, anhand derer ermittelt werden kann, wie viele Transponderkennzeichnungen erfolgreich an der Kappanlage übertragen werden konnten:

$$RFID - Transferquote = \frac{\text{Anzahl erfolgreicher Transfers RFID} \rightarrow \text{Barcode}}{\text{Gesamtzahl RFID} - \text{Transponder}} \cdot 100$$

Formel 6-14: RFID-Transferquote

Quelle: Eigenerstellung

Je höher diese Quote ist, desto besser ist der Informationsfluss gestaltet und desto größer ist die Tendenz, dass die Datenbasis vollständig und konsistent ist. Umgekehrt deutet eine niedrige RFID-Transferquote auf technische Probleme hin.

$$\text{Markierungsquote intern} = \frac{\text{Anzahl markierter Bretter}}{\text{Gesamtzahl Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-15: Interne Markierungsquote

Quelle: Eigenerstellung

Die *Markierungsquote* ist eine wesentliche Kennzahl und sollte im Idealfall nahe 100 % liegen. Je kleiner der Wert dieser Quote ausfällt, desto weniger Bretter werden im Verhältnis markiert und desto weniger aussagekräftig ist die Informationsbasis. Wie bereits in Kapitel 4.2 ab S. 85 gezeigt wurde, ist die Kennzeichnung jedes einzelnen Bretts zwingend erforderlich, weshalb diese Kennzahl einen zentralen Indikator darstellt. Ebenfalls von hoher Bedeutung ist die *Markierungsfläche*:

$$\text{Markierungsfläche} = \frac{\text{Codegröße}[cm^2] \cdot \text{Anzahl Codes je Brett}}{\text{Brettfläche}[cm^2]} \cdot 100$$

Formel 6-16: Markierungsfläche

Quelle: Eigenerstellung

Diese steigt zum einen mit der individuellen Codegröße, aber auch mit der Anzahl der Codes auf jedem Brett. Insgesamt kann die Kennzahl unter anderem dazu genutzt werden, die Markierungskosten zu beeinflussen: Je weniger Codes appliziert werden bzw. je kleiner die Codegröße ist, desto geringer sind durch den verminderten Tintenverbrauch auch die Applikationskosten. Analog kann eine Berechnung für die Applikation mittels Laser durchgeführt werden. Sowohl die Markierungsquote als auch die Markierungsfläche beeinflussen die *Markierungskosten* – diese steigen an, wenn eine der beiden anderen Kennzahlen ansteigt oder beide zugleich ansteigen. Von der Markierungsfläche abhängig ist im Kontrast dazu die *Markierungsgüte*:

$$\text{Markierungsgüte} = \frac{\text{Anzahl lesbarer Codes je Brett}}{\text{Gesamtzahl markierter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-17: Markierungsgüte

Quelle: Eigenerstellung

Je mehr Codes appliziert werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens einer von ihnen lesbar ist, wodurch auch die Markierungsgüte steigt. Wenn mehrere Codes je Brett appliziert werden, kann diese Kennzahl auch über 100 % steigen, sofern mehr Codes lesbar sind als Bretter gesägt wurden. Der Nenner ist ein kalkulatorischer Durchschnittswert, der über alle Lesungen ermittelt werden kann. Auf diese Weise wird einer Fehlinterpretation der Kennzahl entgegen gewirkt, da ansonsten die Erfas-

sung von allen Codes auf einem Brett die Erfassung keines einzigen Codes auf mehreren anderen Brettern verschleiern würde. Im Hinblick auf die Verarbeitungsschritte im Sägewerk ist außerdem die *Trocknungs-Persistenz* zu erfassen:

$$\text{Trocknungs – Persistenz} = \frac{\text{Anzahl lesbarer Codes nach Trocknung}}{\text{Gesamtzahl applizierter Codes}} \cdot 100$$

Formel 6-18: Trocknungs-Persistenz

Quelle: Eigenerstellung

Mit Hilfe dieser Kennzahl kann kontrolliert werden, welcher Anteil der applizierten Codes auch nach dem Trocknungsvorgang noch lesbar ist. Für einen optimalen Ablauf sollte der Wert dieser Kennzahl stets nahe 100 % liegen, da jeder Codeverlust gleichsam einen weitreichenden Informationsverlust bedeutet. Prinzipiell gilt, dass die Trocknungs-Persistenz gesteigert werden kann, wenn die Markierungsfläche vergrößert wird. Für die weitere Datenerhebung essentiell ist jedoch die Transferquote an der Resaw, da an dieser Stelle nicht markierte Bretter im späteren Verlauf nicht mehr erfasst werden können. Fehler an dieser Stelle unterbrechen den Informationsfluss, der aufgrund der Vielzahl der zeitgleich bearbeiteten Model nicht mehr repariert werden kann.

$$\text{Transferquote Resaw} = \frac{\text{Anzahl erfolgreicher Transfers Model} \rightarrow \text{Brett}}{\text{Gesamtzahl Model}} \cdot 100$$

Formel 6-19: Transferquote Resaw

Quelle: Eigenerstellung

Von allen vorhergehenden Schritten abhängig ist die *Identifikationsquote*. Sie liegt im Idealfall bei 100 % und bildet eine zentrale Kennzahl, da an ihr die Wirksamkeit der Kennzeichnungs- und Identifikationsmaßnahmen direkt abgelesen werden kann. Eine isolierte Betrachtung ist jedoch nicht zu empfehlen, da der Wert der Kennzahl unmittelbar von der Gesamtzahl gekennzeichneter Bretter abhängt. Sinken diese bspw. aufgrund technologischer Defekte und der Zähler in gleichem Maße, bleibt der Wert der Kennzahl jedoch gleich und verschleiert somit potenzielle Probleme.

$$\text{Identifikationsquote} = \frac{\text{Anzahl identifizierter Bretter}}{\text{Gesamtzahl markierter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-20: Identifikationsquote

Quelle: Eigenerstellung

Eine weitere wichtige Stelle stellt die Schleiferei dar, wo die Codes nach dem Abschleiff neu appliziert werden müssen. Daher muss die *Transferquote an der Schleiferei* ebenfalls erfasst werden.

$$\text{Transferquote Schleiferei} = \frac{\text{Anzahl erfolgr. Transf. ungeschliffen} \rightarrow \text{geschliffen}}{\text{Gesamtzahl markierter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-21: Transferquote Schleiferei

Quelle: Eigenerstellung

Für eine konsistente und somit fehlerfreie Datenbasis ist es entscheidend, dass diese Kennzahl stets 100 % beträgt, da ansonsten die zum Versand gelangten Bretter zumindest teilweise nicht gekennzeichnet werden können. Die Qualität der Datenbank kann über die DB-Quote ermittelt werden:

$$\text{DB - Quote} = \frac{\text{Anzahl Einträge in der Datenbank}}{\text{Gesamtzahl markierter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-22: DB-Quote

Quelle: Eigenerstellung

Je höher die DB-Quote ist, desto fundierter ist der Informationsfluss ausgelegt und desto verlässlicher sind die darauf basierenden Auswertungen. Insofern ist anzustreben, an jedem Prozessschritt mit bestmöglicher Qualität zu arbeiten, um die gewünschten Effekte erzielen zu können.

6.2.3.2.3 Ressourcenperspektive

Als Ressourcen werden im Rahmen dieser Perspektive üblicherweise Material, Mitarbeiter, Finanzen sowie Transport- und Lagermöglichkeiten bezeichnet. Vorrangig besteht die Zielsetzung in der Bestandsminimierung bei zugleich hoher Ressourcenverfügbarkeit sowie in einer möglichst optimalen Kapazitätsauslastung.

Als relevante Kennzahlen für diese Perspektive lassen sich der Ressourcenauslastungsgrad, die Ressourcenverfügbarkeit, die Mitarbeiterzufriedenheit und die Mitarbeiterfluktuation anführen:

$$\text{Ressourcenauslastungsgrad} = \frac{\text{Durchschnittliche Kapazitätsauslastung}}{\text{Verfügbare Kapazität}} \cdot 100$$

Formel 6-23: Ressourcenauslastungsgrad

Quelle: [72]

$$\text{Ressourcenverfügbarkeit} = \frac{\text{Ressourcenverfügbarkeit [h]}}{\text{Maximal benötigte Zeit [h]}} \cdot 100$$

Formel 6-24: Ressourcenverfügbarkeit

Quelle: [72]

$$\text{Mitarbeiterzufriedenheit} = \frac{\text{Anzahl zufriedener Mitarbeiter}}{\text{Gesamtanzahl Mitarbeiter}} \cdot 100$$

Formel 6-25: Mitarbeiterzufriedenheit

Quelle: [72]

$$\text{Mitarbeiterfluktuation} = \frac{\text{Anzahl freiwilliger Mitarbeiterabgänge}}{\text{Anzahl Mitarbeiter}} \cdot 100$$

Formel 6-26: Mitarbeiterfluktuation

Quelle: [72]

Bereits angesprochen wurde die bessere Planbarkeit durch den Einsatz der Transpondertechnologie. Dies kann im idealen Fall zu einer verbesserten Ressourcenauslastung führen, denn die vorhandenen Kapazitäten können deutlich effizienter disponiert werden. So steht aufgrund der umfangreichen und stets aktualisierten Datenbasis bspw. zeitnah fest, welches Holz in welcher Menge auf welchem Polter liegt. Die verbesserte Disposition hat unmittelbare positive Auswirkungen auf die Ressourcenverfügbarkeit, insbesondere im Transport- und Mitarbeiterbereich.

Die Mitarbeiterzufriedenheit und -fluktuation sind unabhängig vom RFID-Einsatz und werden sich daher nicht unmittelbar verändern. Auch hier gilt selbstverständlich, dass die Kennzahl „Mitarbeiterfluktuation“ entgegen anderen Kennzahlen möglichst auf einem sehr niedrigen Niveau liegen sollte [80; 81]. Es besteht die Möglichkeit, dass durch die automatische Identifikation und Datenverwaltung die Zufriedenheit der Mitarbeiter zunimmt, wenn aufwendige und zeitintensive manuelle Verrichtungen dadurch entfallen oder zumindest abgemildert werden. Im Hinblick auf die Holzerntekette entsteht zwar unter Umständen ein zeitlicher Mehraufwand, jedoch entfällt an anderer Stelle bspw. die aufwendige Suche nach Poltern oder das zeitintensive Neuvermessen des Holzes an der Waldstraße, um die Menge zu bestimmen.

Für alle Beteiligten der Supply Chain ist im Rahmen der Ressourcenperspektive die Nutzung von IuK-Systemen ein wesentlicher Faktor zur Beeinflussung des eigenen Geschäftserfolgs, da nur über einen geregelten, ggf. auch automatisierten Datenaustausch mit den anderen Unternehmen (vgl. Formel 6-29, S. 196) eine optimale Geschäftsbeziehung und Markterschließung realisiert werden kann.

Für den Waldbesitzer ist vorrangig der *Holznutzungsfaktor* interessant, der das Verhältnis zwischen verkauftem und verfügbarem Holz beschreibt:

$$\text{Holznutzungsfaktor} = \frac{\text{Menge verkauftes Holz [fm]}}{\text{Menge verfügbares Holz [fm]}} \cdot 100$$

Formel 6-27: Holznutzungsfaktor

Quelle: Eigenerstellung

Als verfügbares Holz wird die Holzmenge verstanden, die planmäßig zum Verkauf ansteht. Als verkauftes Holz wird die Menge Holz bezeichnet, für die bereits ein Kaufvertrag unterzeichnet wurde. Dies ist nicht zu verwechseln mit der Nachfragequote des Sägewerks (Formel 6-38, S. 200), sondern stellt vielmehr die Angebotsseite in den Vordergrund. Aufgrund externer Einflussfaktoren wie Schädlingsbefall oder Sturmschaden kann der Nenner des Quotienten zum Teil erheblich schwanken und somit auch den Wert der Kennzahl in gleichem Maße – umgekehrt proportional – beeinflussen.

Im Bereich des Sägewerks ist der Grad der Nutzung des Nasslagerplatzes interessant, da von diesem insbesondere abhängt, was mit neu ankommenden Stämmen geschieht und wie viel Holz noch angekauft werden muss, um die Auslastung des Werkes bis zur nächsten Saison sicherzustellen.

$$\text{Nasslagerplatznutzung} = \frac{\text{Genutzte Lagerfläche [m}^2\text{]}}{\text{Verfügbare Lagerfläche [m}^2\text{]}} \cdot 100$$

Formel 6-28: Nasslagerplatznutzung

Quelle: Eigenerstellung

Die Kennzahl kann darüber hinaus genutzt werden, um die durchschnittliche Lagerdauer neu hinzu kommender Stämme zu prognostizieren, indem der Füllungsgrad des Lagers mit der Verarbeitungsmenge eines Zeitraums in Beziehung gesetzt wird. Dadurch kann berechnet werden, wie lange die applizierten Transponder den erheblichen Belastungen im Nasslager ausgesetzt sein werden.

6.2.3.2.4 Kooperationsperspektive

Als Besonderheit der NBS existiert die Kooperationsperspektive, welche die Wirkungen unternehmensübergreifender Kooperationen innerhalb der betrachteten Supply Chain abbildet. Als Ziele dieser Perspektive werden eine Beschleunigung der Abrechnungsverfahren, die Verbesserung des Datenaustausches sowie die Stabilisierung der Kooperation genannt[72]. Ganz konkret wird als weiteres Ziel die Vermeidung des sog. Bullwhip-Effekts durch Aufschaukeln der Lagerbestände Supply Chain aufwärts[82] aufgeführt [67].

Dazu lassen sich die Kennzahlen Informationsaustauschquote, Poolingquote und die Prüfungsquote der Wareneingänge auswerten, wobei letztere im vorliegenden Fall am ehesten für das Sägewerk Anwendung finden dürfte:

$$\text{Informationsaustauschquote} = \frac{\text{Anzahl ausgetauschter Informationen}}{\text{Anzahl aller Informationen}} \cdot 100$$

Formel 6-29: Informationsaustauschquote

Quelle: [72]

$$\text{Poolingquote} = \frac{\text{Nutzung des Betriebsmittelpools [h]}}{\text{Gesamtnutzung [h]}} \cdot 100$$

Formel 6-30: Poolingquote

Quelle: [72]

$$\text{WE - Prüfquote} = \frac{\text{Anzahl Lieferanten mit WE - Prüfung}}{\text{Gesamtanzahl Lieferanten}} \cdot 100$$

Formel 6-31: Wareneingangsprüfquote

Quelle: [72]

Daneben existieren eine Reihe weiterer Empfehlungen für diese Perspektive [83], wobei für den vorliegenden Fall die *Kooperationszufriedenheit* sowie die *Produktionsmenge je Kooperationspartner* interessant erscheinen. Die WE-Prüfquote ist unter den oben getroffenen Annahmen allerdings nur dann relevant, wenn eine vollautomatische Wareneingangskontrolle nicht umsetzbar ist. Grundsätzlich gilt dabei: Je weniger geprüft wird, desto größer ist die Kennzahl und desto besser ist die gegenseitige Vertrauensbasis ausgebildet. RFID kann an dieser Stelle unterstützend als „vertrauensbildende Maßnahme“ wirken, denn durch die umfassende und aktuelle Datenbasis stehen bereits alle Daten zur Verfügung, noch bevor der LKW das Werkstor passiert hat. Sind die Daten verlässlich (und das muss im Rahmen einer funktionierenden Kooperation garantiert werden), so können aufwendige manuelle Wareneingangsprüfungen auf ein Minimum reduziert werden und letztlich ganz entfallen.

Die Informationsaustauschquote wird durch den Einsatz automatischer Identifikationsverfahren und durch das damit verbundene hohe Datenaufkommen stark ansteigen, da eine intensive und durchgängige Vernetzung eine zwingende Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung darstellt. Grundsätzlich ist eine hohe Austauschquote ein Zeichen für eine gut funktionierende Kooperation, insbesondere, weil dafür ein gutes gegenseitiges Vertrauensverhältnis vorhanden sein muss. Wird RFID eingesetzt und die Informationsaustauschquote bleibt niedrig, so ist dies ein Anzeichen dafür, dass die Kooperation nicht vollständig funktioniert.

Innerhalb von Kooperationsgemeinschaften spielt auch die Poolingquote eine Rolle: Je höher sie ist, desto enger ist tendenziell die Zusammenarbeit. Da Kooperationen in der Forst- und Holzbranche jedoch vorwiegend arbeitsteilig organisiert sind, ist ein Pooling eher die Ausnahme. Grundsätzlich hat der Einsatz von RFID auf diese Kennzahl keinen direkten und auch keinen erkennbaren indirekten Einfluss.

Die Kooperationszufriedenheit schließlich kann in der Forstwirtschaft durch den Einsatz von automatischen Identifikationsverfahren deutlich steigen, da eine gemeinsame aktuelle Datenbasis – wie weiter oben bereits ausgeführt – überaus vielfältige Vorteile bietet. Je größer die Unabhängigkeit von manuellen Dateneingaben und je kleiner damit die Fehleranfälligkeit der Datenbasis ausgeprägt ist, desto verlässlicher gestaltet sich die Zusammenarbeit im Rahmen einer Kooperation.

Im Hinblick auf die Nutzung von Transpondertechnologie sind darüber hinaus im Rahmen der Kooperationsperspektive die *Kosten an der Poolteilnahme* zu berücksichtigen, die jeder Teilnehmer – bspw. orientiert am zuvor vorgestellten Modell (vgl. Abbildung 106, S. 164) – aufbringen muss. Aus der Sicht des Sägewerkes ist zudem die *Markierungsquote am Wareneingang und am Warenausgang* wichtig, die jeweils aussagt, welcher Anteil der angelieferten Stämme bzw. ausgelieferten Bretter mit einem Transponder bzw. mit einer Kennzeichnung versehen ist.

$$\text{Markierungsquote Sägewerk WE} = \frac{\text{Anzahl Stämme mit Transponder}}{\text{Anzahl angelieferter Stämme}} \cdot 100$$

Formel 6-32: Markierungsquote Wareneingang Sägewerk

Quelle: Eigenerstellung

$$\text{Markierungsquote Sägewerk WA} = \frac{\text{Anzahl markierter Bretter}}{\text{Anzahl ausgelieferter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-33: Markierungsquote Warenausgang Sägewerk

Quelle: Eigenerstellung

Aus der Sicht des OEM-Kunden, der aus den Brettern des Sägewerks bspw. Möbel herstellt, ergibt sich umgekehrt der Bedarf nach einer Prüfung der *Markierungsquote* sowie der *Markierungsgüte am Wareneingang*.

$$\text{Markierungsquote OEM WE} = \frac{\text{Anzahl markierter Bretter}}{\text{Anzahl angelieferter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-34: Markierungsquote Wareneingang OEM-Kunde

Quelle: Eigenerstellung

$$\text{Markierungsgüte OEM WE} = \frac{\text{Anzahl lesbarer Bretter}}{\text{Anzahl markierter Bretter}} \cdot 100$$

Formel 6-35: Markierungsgüte Wareneingang OEM-Kunde

Quelle: Eigenerstellung

Die Markierungsgüte sollte stets nahe 100 % liegen, da ansonsten der Informationsfluss unterbrochen ist und der OEM-Hersteller den Weiterverarbeitern und Endkunden die notwendige Ausgangsdatenbasis nicht zur Verfügung stellen kann. Der in der Finanzper-

spektive vorgestellte Kunden-Zusatzinfo-Faktor (Formel 6-8, S. 189) würde somit sinken und damit die Einnahmenezuwächse verringern, was die Investition in das Gesamtsystem in Frage stellt. Eine ähnlich hohe Bedeutung hat die Markierungsquote – nicht markierte Bretter können zwar problemlos verarbeitet werden, kommen jedoch zur Nutzung im Rahmen der verbesserten Kundeninformation nicht in Frage.

Sowohl aus der Sicht des Sägewerksbetreibers als auch aus der Sicht des OEM-Kunden ist die *gemeinsame Vermarktung* der Zusatzinformationen essentiell, um diese am Markt passend platzieren und den notwendigen zusätzlichen Umsatz generieren zu können, der das System letztendlich tragen muss.

6.2.3.2.5 Marktperspektive

Zusätzlich zur ursprünglichen Kundenperspektive der Balanced Scorecard beinhaltet die Marktperspektive innerhalb der Netzwerk-Balanced Scorecard die Konkurrenzsituation der Unternehmen innerhalb des Netzwerks, d. h. die Außensicht des Unternehmens wird ergänzt [72]. Als Zielstellungen der Marktperspektive werden die Steigerung der Kundenzufriedenheit und des relativen Marktanteils sowie die Intensivierung gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten genannt.

Zu diesem Zweck lassen sich insbesondere Kennzahlen wie *Kundenzufriedenheit* und *relativer Marktanteil* auswerten:

$$\text{Kundenzufriedenheit} = \frac{\text{Anzahl zufriedener Kunden}}{\text{Gesamtanzahl Kunden}} \cdot 100$$

Formel 6-36: Kundenzufriedenheit

Quelle: [72]

$$\text{Relativer Marktanteil} = \frac{\text{Eigener Umsatz}}{\text{Gesamtmarktumsatz}} \cdot 100$$

Formel 6-37: Relativer Marktanteil

Quelle: [72]

Es ist zu erwarten, dass die Kundenzufriedenheit aufgrund des Einsatzes von RFID steigt, da auf diese Weise – wie weiter oben ausführlich beschrieben wurde – praktisch alle potenziell interessanten Daten generiert und zur Verfügung gestellt werden können. Der Kunde kann sich jederzeit über interne Informationsmedien ebenso wie über das Internet informieren und die für ihn relevanten Daten abrufen. RFID ermöglicht dabei die automatisierte Bereitstellung von Informationen, die bislang aufgrund der manuellen Erfassung nicht oder nur eingeschränkt und auf Schätzungen basierend angeboten werden können. Insbesondere die Rückverfolgbarkeit ist in diesem Zusammenhang als Treiber zu sehen, da der Kunde jedes Stück Holz bis an den Ort der Fällung zurückverfolgen und damit dessen Herkunft zuverlässig ermitteln kann. Als Tendenzaussage kann

daneben festgehalten werden, dass bei steigender Kundenzufriedenheit auch der relative Marktanteil (aufgrund des wachsenden Umsatzes) steigt, was wiederum die Stellung des Unternehmens am Markt festigt.

Im Unterschied zur Kundenzufriedenheit ist der Kundennutzen zu sehen, der darstellt, „was sich der Kunde von einem Produkt oder einer Dienstleistung wünschen würde“ [66]. Die Auswertung des identifizierten Kundennutzens versucht eine Antwort auf die Frage zu geben, was Unternehmen tun müssen, um weiteren Kundennutzen zu erzeugen. Da der Kundennutzen stets im Zusammenhang mit Produkten oder Dienstleistungen zu verstehen ist und vorwiegend durch die Wahrnehmung des Kunden – und weniger durch tatsächliche Gegebenheiten – bestimmt wird [66], ist ein wesentlicher Gestaltungsschwerpunkt auf das Marketing und die Produktqualität zu legen. Ebenso können detaillierte Produktinformationen das Kundenbedürfnis nach umfassender Kenntnis erfüllen und so zu einer Steigerung des Kundennutzens beitragen. Durch den Einsatz der RFID-Technologie kann folglich der Nutzen für den Kunden deutlich erhöht werden.

Für den Waldbesitzer vorrangig relevant ist im Hinblick auf die Marktperspektive die Nachfragequote der Sägewerke im Einzugsbereich:

$$\text{Nachfragequote Sägewerk} = \frac{\text{Menge nachgefragtes Holz [fm]}}{\text{Menge einschlagfähiges Holz [fm]}} \cdot 100$$

Formel 6-38: Nachfragequote Sägewerk

Quelle: Eigenerstellung

Der Wert dieser Kennzahl schwankt saisonal und wird von externen Faktoren – wie z. B. Unwetterschäden (sog. Sturmholz, wirkt auf den Nenner) oder aktuelle Wirtschaftslage (wirkt auf den Zähler) – unterschiedlich stark beeinflusst. Je größer die Nachfragequote ist, desto besser hat der Betrieb gewirtschaftet – im Idealfall liegt der Wert der Kennzahl bei knapp unter 100 %. Liegt der Wert hingegen über 100 %, so ist die Nachfrage größer als das Angebot, was unter anderem zu Preissteigerungen führen kann.

Spezifische Kennzahlen für Einschlagunternehmen und Frachtführer sind im Rahmen der Marktperspektive vorrangig die Holzverfügbarkeit (Formel 6-41, S. 201) sowie der relative Marktanteil (Formel 6-37, S. 199). Daneben entscheidet auch das Einzugsgebiet über die potenziellen Kunden, das auch für das Sägewerk relevant ist, vor allem jedoch die Nachfrage der eigenen Kunden (Formel 6-39).

$$\text{Nachfragequote OEM} = \frac{\text{Menge nachgefragtes Holz [fm]}}{\text{Menge produziertes Holz [fm]}} \cdot 100$$

Formel 6-39: Nachfragequote OEM

Quelle: Eigenerstellung

Für den OEM-Kunden sind insbesondere die Kennzahlen Kundenzufriedenheit und Kundeninformation herauszustellen:

$$\text{Kundeninformation} = \frac{\text{Anzahl Produkte mit Zusatzinformationen}}{\text{Gesamtzahl Produkte}} \cdot 100$$

Formel 6-40: Kundeninformation

Quelle: Eigenerstellung

Je mehr Produkte zusätzliche Angaben über die Herkunft mit sich führen und unmittelbar für den Kunden zugänglich sind, desto besser fühlt sich der Kunde informiert und honoriert dies, indem er für die verbesserte Informationspolitik höhere Produktpreise akzeptiert, was durch Untersuchungen der TU München bestätigt wurde [14].

Für alle Beteiligten ist die Holzverfügbarkeit als Geschäftsgrundlage sehr wichtig, die in diesem Fall folgendermaßen definiert ist:

$$\text{Holzverfügbarkeit} = \frac{\text{Menge einschlagfähiges Holz [fm]}}{\text{Menge gepflanztes Holz [fm]}} \cdot 100$$

Formel 6-41: Holzverfügbarkeit

Quelle: Eigenerstellung

Die Holzverfügbarkeit bestimmt, welcher Anteil des eigenen Holzbesitzes verkauft werden kann, weil er das passende Reifestadium erreicht hat. Auch diese Kennzahl wird von externen Faktoren beeinflusst: Sind bspw. die Bestände vom Borkenkäfer befallen, vermindert sich die Menge des verkaufsfähigen Holzes in erheblichem Maße und der Wert der Kennzahl sinkt proportional dazu. Auf der anderen Seite kann die Menge einschlagfähigen Holzes künstlich reduziert werden, um zum Beispiel im Rahmen eines nachhaltigen Wirtschaftens die Bestände nicht zu gefährden.

6.2.3.3 Darstellung von internen Ursache-Wirkungs-Ketten

Die Abbildungen in den folgenden Kapiteln orientieren sich grafisch an [84] und bieten durch die gewählte Darstellungsform einen schnellen Überblick über die fünf Perspektiven und ihre Interaktionen. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wurden stets nur einzelne Zusammenhänge herausgestellt.

6.2.3.3.1 Waldbesitzer

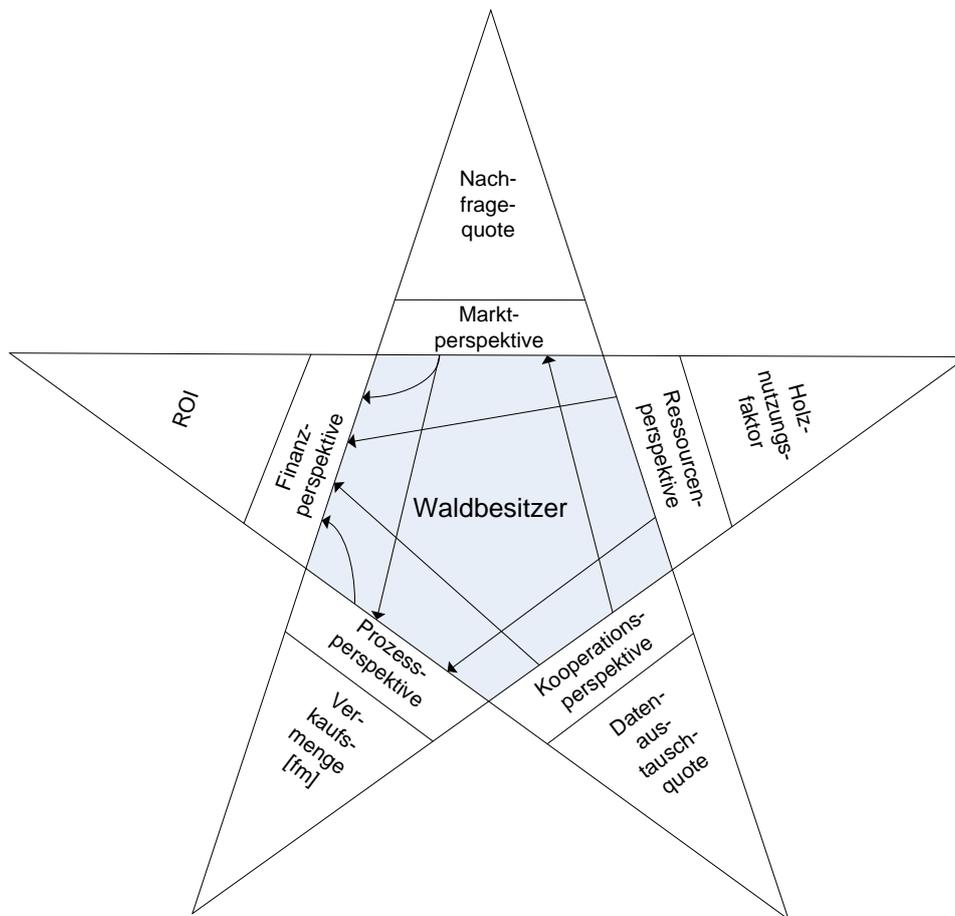


Abbildung 110: Interne Ursache-Wirkungsketten (Waldbesitzer, Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

Um aus der Sicht des Waldbesitzers einen möglichst hohen Gewinn erwirtschaften zu können, müssen zum einen genügend Bäume zum Fällen bereit stehen (Holznutzungsfaktor) und zum anderen auch eine entsprechende Nachfrage existieren. Dies bestimmt im Wesentlichen die Verkaufsmenge, und über Kooperationen mit anderen Waldbesitzern oder auch Einschlagunternehmen und Sägewerken kann der Absatz weiter gesteigert werden. Die Pfeile in der Grafik deuten die entsprechenden Beeinflussungen der einzelnen Perspektiven aufeinander an.

6.2.3.3.2 Einschlagunternehmen

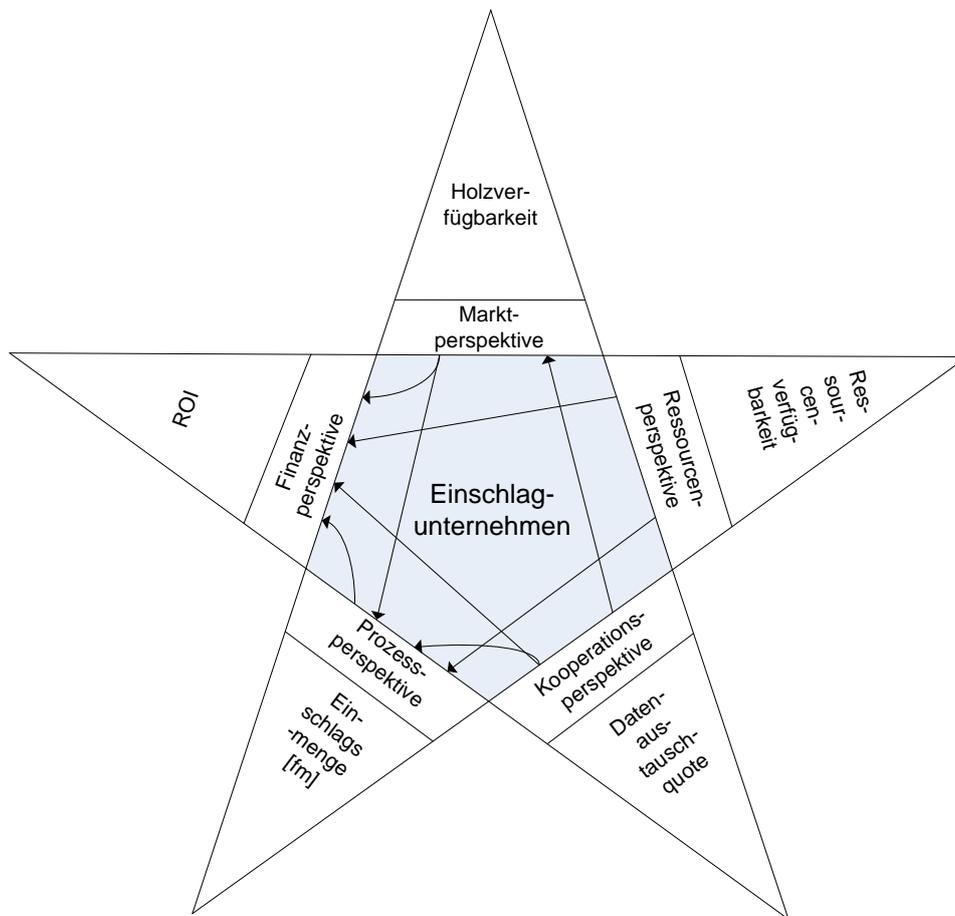


Abbildung 111: Interne Ursache-Wirkungsketten (Einschlagunternehmen, Beispiel)

Quelle: Eigenerstellung

Die Struktur der NBS für Einschlagunternehmen ist vergleichbar zu derjenigen für Waldbesitzer. In der Ressourcenperspektive dominiert hingegen die Ressourcenverfügbarkeit, die im Wesentlichen die zur Verfügung stehenden Verarbeitungskapazitäten und damit auch die mögliche Einschlagsmenge (Prozessperspektive) determiniert. Je besser die Kooperation funktioniert, desto höher ist unter Berücksichtigung der Holzverfügbarkeit als Nebenbedingung die potenzielle Einschlagsmenge, jedoch ist hier vor allem das Einzugsgebiet ein limitierender Faktor.

6.2.3.3.3 Frachtführer

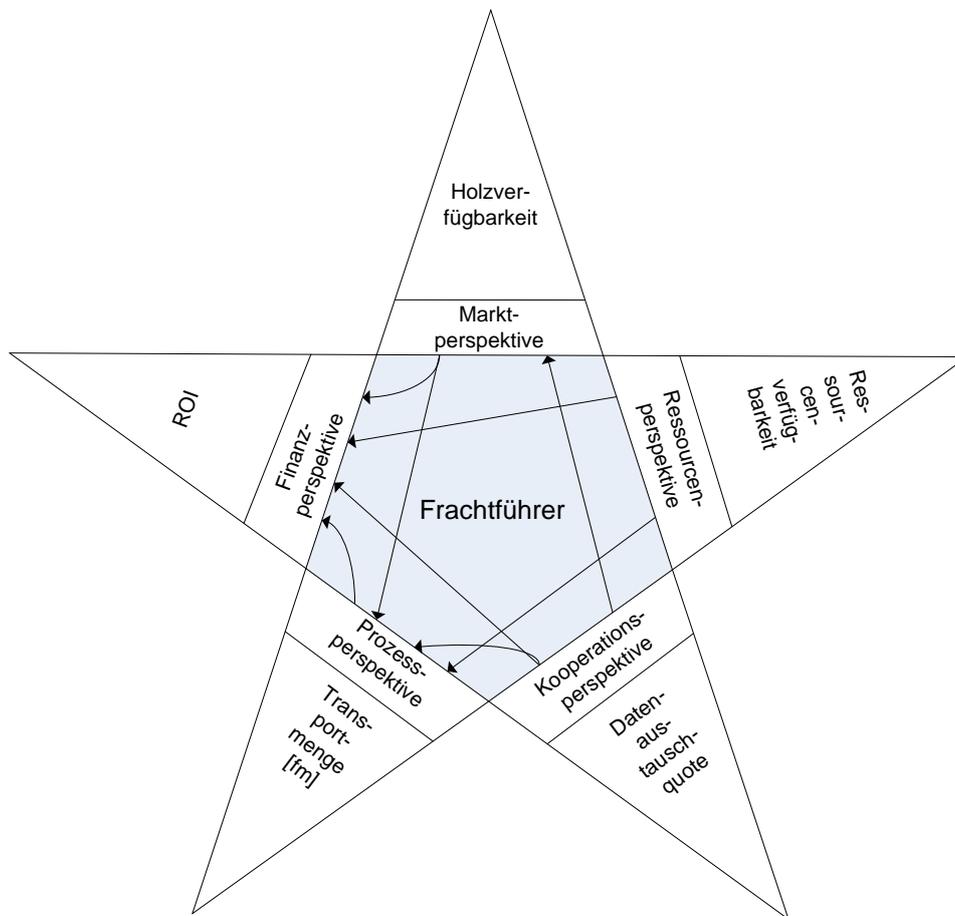


Abbildung 112: Interne Ursache-Wirkungsketten (Frachtführer, Beispiel)
 Quelle: Eigenerstellung

Die internen Wirkungsketten für den Frachtführer bieten keine neuen Erkenntnisse und unterscheiden sich lediglich im Hinblick auf die Prozessperspektive voneinander. Dies ist vorwiegend damit begründet, dass die Frachtführer in allen anderen Perspektiven auf die gleichen Faktoren und Kennzahlen angewiesen sind wie die Einschlagunternehmen, weshalb es besonders zwischen diesen beiden Gruppen oftmals zu weitgehenden Kooperationen kommt.

6.2.3.3.4 Sägewerk

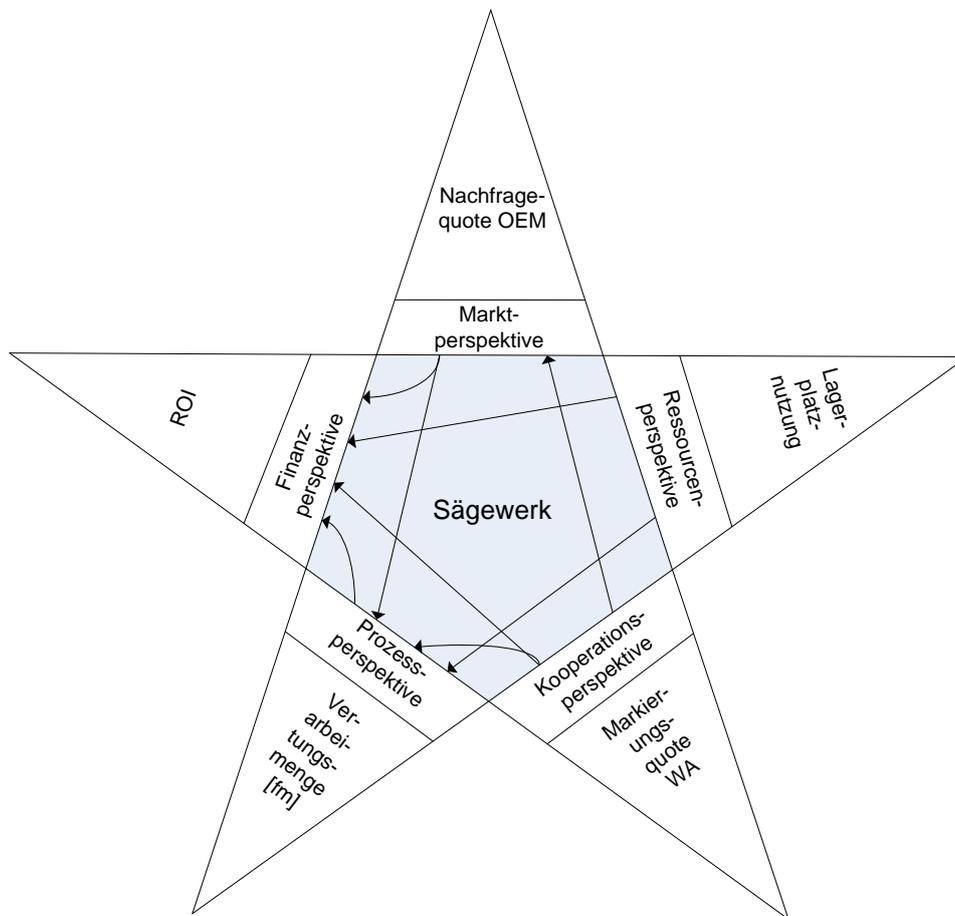


Abbildung 113: Interne Ursache-Wirkungsketten (Sägewerk, Beispiel)

Quelle: Eigenerstellung

Für das Sägewerk wurde eine Vielzahl eigenständige Kennzahlen definiert (vgl. z. B. für die Prozessperspektive Kapitel 6.2.3.2.2 ab S. 189), an dieser Stelle wurde jedoch mit Blick auf die Verständlichkeit beispielhaft ein einzelner Zusammenhang herausgegriffen. Die Markierungsquote am Warenausgang beeinflusst über die Marktperspektive die Nachfragequote, da tendenziell eine erhöhte Nachfrage nach vollständig gekennzeichnete Ware besteht. Daher steigt die Nachfrage mit steigender Markierungsquote, womit ggf. die Verarbeitungsmenge ebenfalls angepasst werden muss. Insgesamt wirken auch hier alle anderen Perspektiven auf die Finanzperspektive ein. Für die Prozessperspektive können die Interaktionen der Kennzahlen wie in Abbildung 114 dargestellt werden.

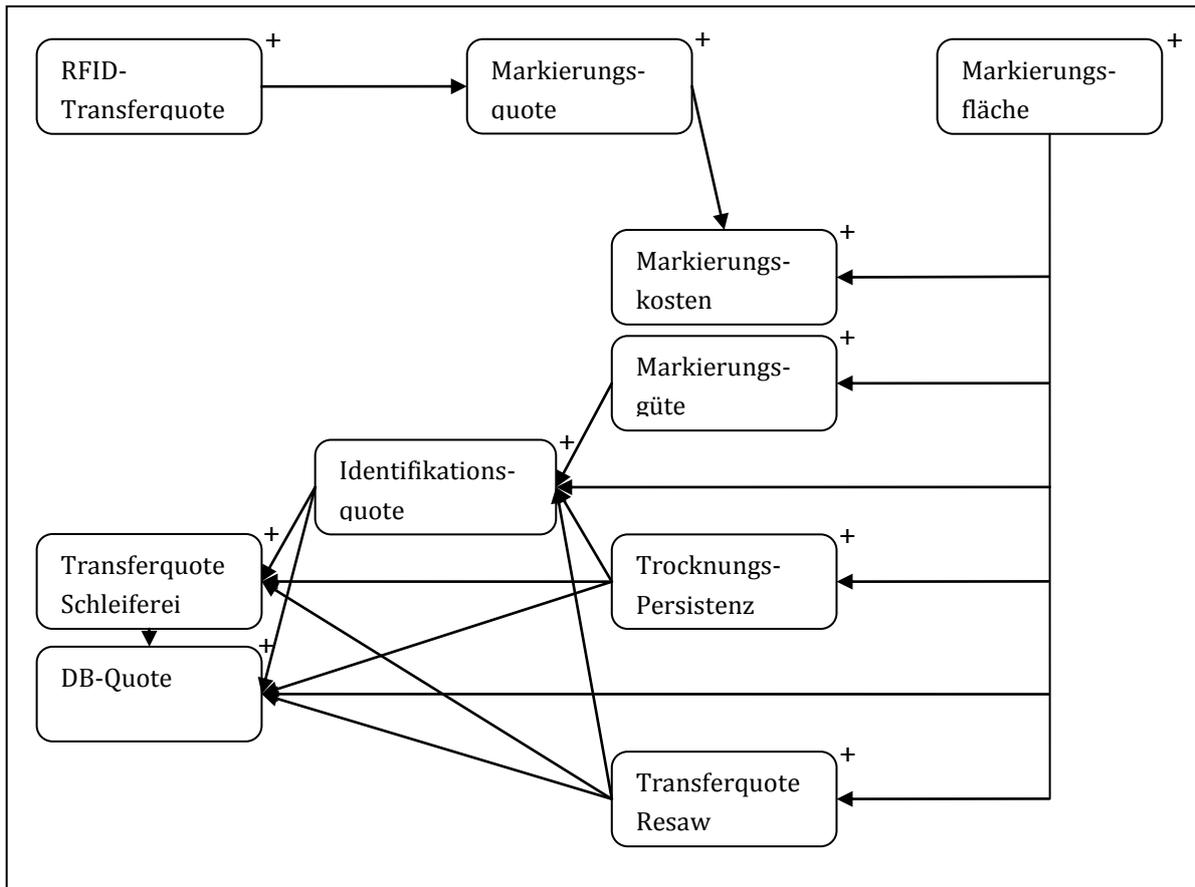


Abbildung 114: Beziehungen der Kennzahlen in der Prozessperspektive (Sägewerk)
 Quelle: Eigenerstellung

Die Kennzahlen stehen größtenteils in einer hierarchischen Beziehung zueinander. Je besser die Werte an der Ausgangsbasis (also der Kappanlage) ausgeprägt sind, desto fundierter sind auch die darauf basierenden Kennzahlen. Fällt also bspw. an der Kappanlage der Drucker oder RFID-Leser aus, sinken automatisch alle anderen Kennzahlen. Die Identifikationsquote, DB-Quote sowie die Transferquote an der Schleiferei werden von mehreren Faktoren beeinflusst, so dass der Beziehungszusammenhang nicht notwendigerweise linear ist. Die Änderung einer Kennzahl bewirkt somit nicht zwangsweise eine Änderung einer mit ihr in Beziehung stehenden Kennzahl im gleichen Ausmaß.

6.2.3.3.5 OEM-Kunde

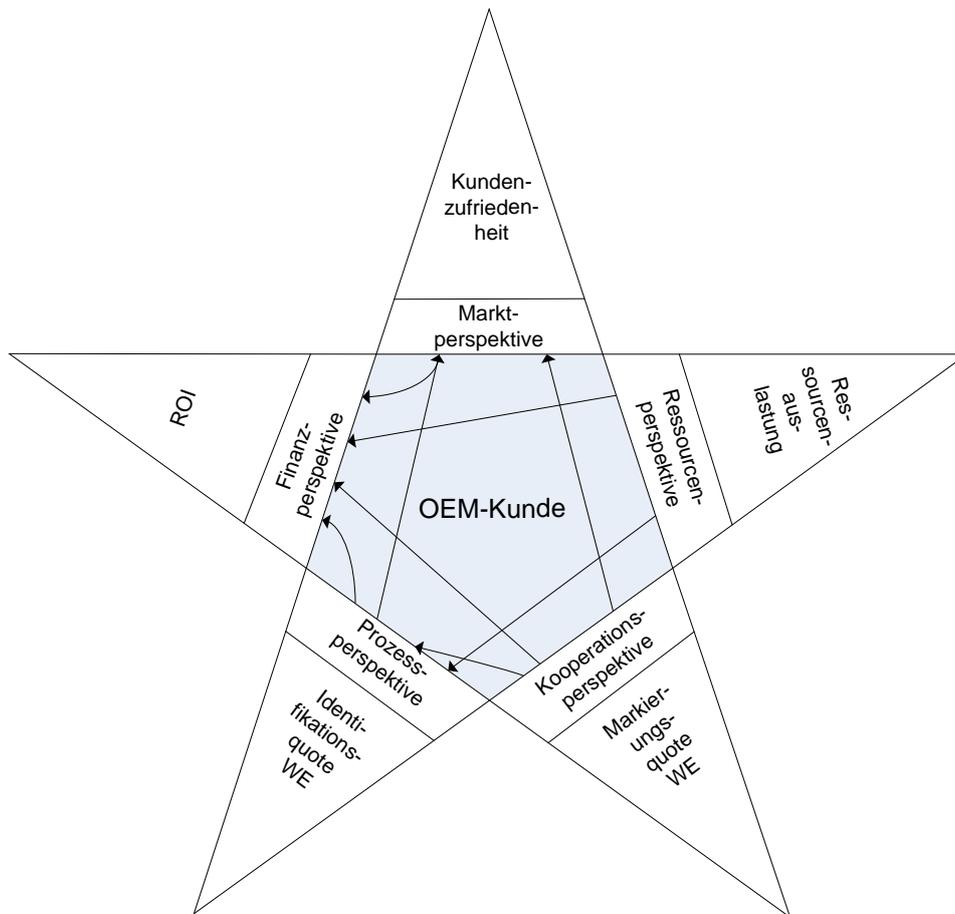


Abbildung 115: Interne Ursache-Wirkungsketten (OEM-Kunde, Beispiel)

Quelle: Eigenerstellung

Der OEM-Kunde, der die gekennzeichneten Bretter vom Sägewerk erhält, verarbeitet diese weiter und verkauft die fertigen Produkte an Endkunden. Daher wirken die Prozess- und Kooperationsperspektive im gezeigten Beispiel auf die Kundenzufriedenheit und damit auf die Marktperspektive: Je besser die Prozesse in den erstgenannten Perspektiven funktionieren, desto größer sind tendenziell die Chancen auf dem Absatzmarkt.

6.2.3.4 Unternehmensübergreifende Zusammenhänge

Stellt man die Einzelperspektiven der gezeigten Teilnehmer der Lieferkette in einen Gesamtzusammenhang, so ergeben sich vielfältige Interaktionen und unternehmensübergreifende Ursache-Wirkungs-Ketten. Die folgende Abbildung 116 zeigt diese beispielhaft Anhand der vorgestellten Supply Chain Partner und ausgewählter Kennzahlen für die einzelnen Perspektiven.

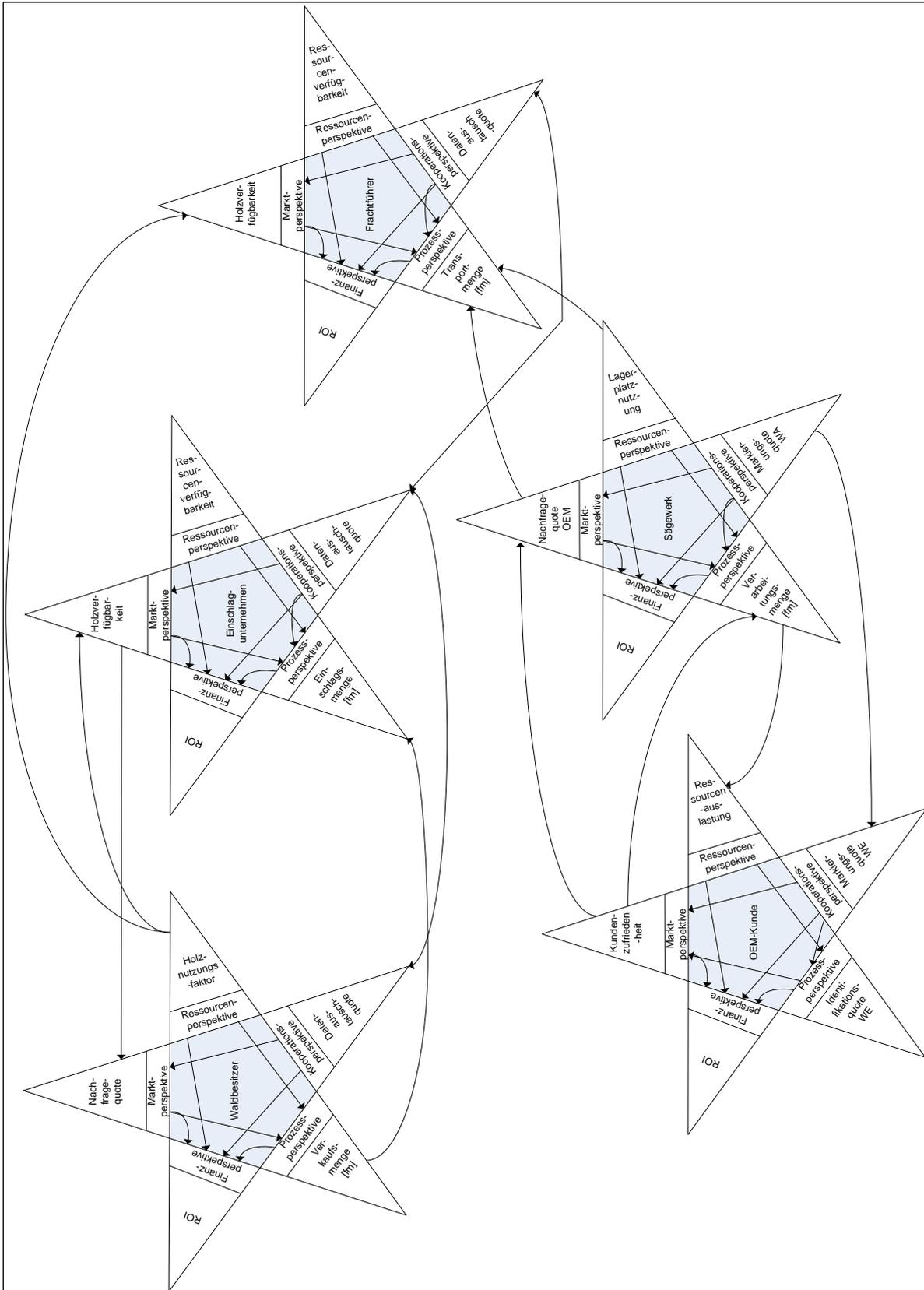


Abbildung 116: Übergreifende Ursache-Wirkungsketten (Beispiel)
Quelle: Eigenerstellung

Ausgehend vom Waldbesitzer beeinflusst der Holznutzungsfaktor wesentlich die Holzverfügbarkeit, die grundlegend für die gesamte Supply Chain ist, da diese vom einzigen Rohstoff Holz abhängt. Die Holzverfügbarkeit wiederum determiniert die Nachfragequote, jedenfalls bis zu einem gewissen Maß – ist der Markt gesättigt, steigt durch ein weiteres Mehrangebot an Holz nicht zwingend die Nachfrage. Die Verkaufsmenge der Waldbesitzer bestimmt wesentlich die Einschlagsmenge der Einschlagunternehmen, und die Datenaustauschquote aller Beteiligten (dargestellt lediglich bis zum Frachtführer) führt zu einer besseren Koordination und damit zu einer gesteigerten unternehmensübergreifenden Effizienz.

Die Nachfragequote der OEM-Kunden, die nicht zuletzt von der Zufriedenheit der Endkunden profitiert, bestimmt aus der Sicht des Sägewerks im Wesentlichen die eigene Einkaufsmenge und damit die Transportmenge der Frachtführer, aber auch die Lagerplatznutzung spielt an dieser Stelle eine determinierende Rolle. Die tatsächliche Verarbeitungsmenge des Sägewerks bestimmt über die Ressourcenauslastung des OEM-Kunden, und die Markierungsquote im Warenausgang sollte möglichst identisch sein zu derjenigen am Wareneingang des OEM-Kunden. Die durch Installation eines durchgängigen Informationsflusses geschaffene Möglichkeit, den Kunden mit Zusatzinformationen zu versorgen, erhöht tendenziell die Nachfrage nach diesen Produkten, so dass alle Beteiligten der Supply Chain davon direkt profitieren.

Das gezeigte Beispiel verdeutlicht die Interaktivität und enge Verbindung der Unternehmen in einer Lieferkette im Forst- und Holzbereich. Da die gesamte Supply Chain lediglich auf einem einzigen Rohstoff basiert, sind die beteiligten Unternehmen direkt voneinander abhängig und darauf angewiesen, dass die jeweils vorgelagerte Stufe ihre Aufgabe anforderungsgemäß erfüllt. Vor diesem Hintergrund gibt es durchaus Tendenzen für vertikale Integrationen und somit auch Rückwärtsintegration [85; 86], jedoch sind diese aufgrund der gewachsenen Strukturen im internationalen Vergleich nicht besonders stark ausgeprägt.

6.3 Teil 2: Prozesse im Sägewerk

Ergänzend zu den vorhergehenden Betrachtungen ist es erforderlich, den wirtschaftlichen Nutzen der vorgestellten Ergebnisse und Entwicklungen für das Sägewerk zu überprüfen sowie die Kosten im Detail zu analysieren. Dies geschieht im Folgenden zunächst einzeln anhand der jeweiligen Prozessschritte und im Anschluss daran noch einmal zusammenfassend für die gesamte Kette vom Wald bis zum Endkunden.

Da mangels Identifikations- und damit Zuordnungsmöglichkeit aktuell keine Ausbeuteanalysen durchgeführt werden können, spielen nachgetragene Informationen momentan lediglich eine untergeordnete Rolle, da letztlich nur entscheidend ist, dass alle Daten im EDV-System vorhanden sind, so dass notwendige Analysen mit einer korrekten Datenbasis hinterlegt sind. Im Falle eines vorhandenen durchgängigen Informationsflusses jedoch wäre eine Unterbrechung des Datenflusses in Verbindung mit der hohen Prozessgeschwindigkeit überaus schädlich. Unsicherheiten in der Ausbeuteanalyse und damit auch ungenaue Auswertungsergebnisse wären die unvermeidliche Folge, d. h. die vorgesehene Effizienz und Genauigkeit könnte nicht erreicht werden.

Durch eine vollständige Ausbeuteanalyse können aufgrund von Qualitätsauswertungen direkte Einsparungen beim Rundholzeinkauf sowie verbesserte Einstellungen der Sägeparameter, verbunden mit einer besseren Ausnutzung der vorhandenen Rohstoffe erzielt werden. Als Rechengröße kann in diesem Zusammenhang von jährlichen Einsparungen in Höhe von insgesamt 150.000 € bzw. 12.500 € pro Monat ausgegangen werden [14].

Minderlieferungen erzeugen einen hohen Mehraufwand, da der LKW eine neue Tour fahren muss, um im Wald verbliebene Restmengen abzuholen und zum Sägewerk zu bringen. Die dafür notwendige Organisation sowie die Durchführung selbst erfordern einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand, der durch den Einsatz von RFID vollständig eliminiert werden kann. Insgesamt kann an dieser Stelle pro Jahr mit Kosten für Minderlieferungen und damit einem erzielbaren Spareffekt in Höhe von ca. 15.000 € jährlich bzw. 1.250 € monatlich gerechnet werden [14].

6.3.1 Anlieferung

Um den Nutzengewinn für den Wareneingang bestimmen zu können, sind einige vorausgehende Berechnungen durchzuführen und möglichst realistische Annahmen zu treffen. Um deren Einfluss möglichst gering zu halten, werden zunächst statistische Methoden herangezogen, um die dort erzielten Ergebnisse später mit Realdaten vergleichen zu können.

6.3.1.1 Berechnung mit statistischen Annahmen

Wie bereits zuvor in Kapitel 3.2.1 (S. 34 ff.) beschrieben, erfolgt die Anlieferung der Stämme in der Regel saisonal von Oktober bis Juni, oder anders ausgedrückt lediglich in 9 Monaten des Jahres. Dann jedoch kommt es insbesondere in den Hauptanliefermonaten Dezember bis Februar vor, dass aufgrund der großen Einkaufsmengen der Sägewerke vor dem Werkstor längere Warteschlangen entstehen, wenn zu viele LKW zur gleichen Zeit anliefern wollen. Durch den Einsatz von RFID und die damit ermöglichte vollautomatische Wareneingangskontrolle kann dieser Prozess deutlich beschleunigt und zugleich auf eine sichere Informationsbasis gestellt werden.

Für eine mathematische bzw. stochastische Analyse sei angenommen, die Ankunftszeiten der LKW folgen der Poisson-Verteilung¹³

$$P_{\lambda}(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

Formel 6-42: Poisson-Verteilung

Quelle: [40]

wobei λ als reelle positive Zahl zugleich Erwartungswert und Varianz ist, e die Eulersche Zahl beschreibt und k eine natürliche Zahl darstellt, der die Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden soll.

Erfahrungswerte für Sägewerke besagen, dass in der Saison im Durchschnitt alle dreißig Minuten ein LKW am Werkstor eintrifft, d. h. der Erwartungswert beträgt $\lambda = 2$ LKW pro Stunde [14]. Damit ergibt sich die folgende Verteilung von Wahrscheinlichkeiten:

Tabelle 23: Poisson-Verteilung für die Anzahl anliefernder LKW pro Stunde

Wahrscheinlichkeiten (P) für LKW-Anlieferungen bei $\lambda = 2$		
Anzahl LKW (k)	Wahrscheinlichkeit	Kumuliert
0	13,53%	13,53%
1	27,07%	40,60%
2	27,07%	67,67%
3	18,04%	85,71%
4	9,02%	94,73%
5	3,61%	98,34%
6	1,20%	99,55%
7	0,34%	99,89%
8	0,09%	99,98%
9	0,02%	100,00%

¹³ Die Poisson-Verteilung ist als Spezialfall der Panjer-Verteilung in der Statistik eine typische Verteilung für eine Anzahl von Ereignissen, die innerhalb einer Zeitspanne auftreten. Eine bestimmte Poisson-Verteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit in einem Zeitraum eine bestimmte Anzahl von Ereignissen auftritt.

Die beobachteten 2 LKW pro Stunde treten gemäß obiger Tabelle 23 mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 27 % auf, während die Wahrscheinlichkeit dafür, dass in einer bestimmten Stunde zwischen 0 und 6 LKW eintreffen, mehr als 99 % beträgt. In lediglich einem von 100 Fällen treffen jedoch tatsächlich 6 LKW ein. Insgesamt kann aus der tabellarischen Auflistung geschlossen werden, dass der überwiegende Teil der möglichen Fälle abgedeckt ist, wenn mit 5 Anlieferungen pro Stunde – also alle 12 Minuten ein LKW¹⁴ – als Maximalwert kalkuliert wird.

Ohne den Einsatz von RFID dürfte die ausführliche Kontrolle eines LKWs demzufolge maximal 10 Minuten (unter Berücksichtigung der Zeit bis zur Bereitstellung des nächsten LKWs) dauern, um keinen Stau vor dem Werkstor zu verursachen. Wie bereits weiter oben beschrieben, ist diese Zeitspanne ohne Zuhilfenahme technischer Automation jedoch nicht immer einzuhalten, da eine manuelle Kontrolle der Fracht aufgrund der aufwendigen manuellen Identifikation der Baumstämme deutlich länger anzusetzen ist, insbesondere bei Vereisung oder zunächst zu entfernender Schneedecke – in wärmeren Monaten und bei etwa gleich langen oder zahlenmäßig wenigen Stämmen ist eine Kontrolle mit zwei bis drei Minuten allerdings deutlich kürzer.

Es käme aus diesen Gründen vor allem in den Wintermonaten, also während der Hauptanlieferungszeit, zu Staus vor dem Werkstor. Daher ist es in der Praxis so geregelt, dass nur ein geringer Prozentsatz der eintreffenden Fahrzeuge (ca. 5 %) tatsächlich überprüft wird und ansonsten die Wareneingangsverbuchung allein auf Basis der Frachtpapiere und einer Sichtprüfung durch das Werkspersonal erfolgt. Erfahrungswerte am Wareneingang haben gezeigt, dass eine ausführliche Kontrolle eines LKW durchschnittlich 5 Minuten (über die gesamte Anlieferzeit gerechnet) in Anspruch nimmt, während das Personal ansonsten, d. h. wenn keine Kontrolle erfolgt, nur maximal 3 Minuten für die Formalitäten benötigt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Abfertigungsrate von

$$\bar{T} = 0,05 \cdot 5 + 0,95 \cdot 3 = 0,5 + 2,85 = 3,1$$

Minuten. Da – wie oben gezeigt – im Schnitt alle 30, kalkulatorisch maximal alle 12 Minuten ein neuer LKW eintrifft, entsteht nur in Ausnahmefällen eine Warteschlange vor dem Werkstor, auch wenn viele LKWs zum gleichen Zeitpunkt eintreffen. Ergänzend können weitere Berechnungen auf der Basis der getroffenen Annahmen und vorhandenen Messdaten durchgeführt werden.

¹⁴ In der Realität kommen die LKW natürlich nicht in regelmäßigen Abständen am Werkstor an – statistisch gesehen folgt die Ankunftsrate eher einer Erlang-Verteilung. Im Rahmen der hier durchzuführenden Berechnungen ist dieser Umstand jedoch nicht relevant, da die Summe der manuellen Kontrollzeiten konstant bzw. unabhängig von der Zahl der ankommenden LKWs pro Zeiteinheit ist.

Es ist bekannt, dass im Schnitt 2 LKW pro Stunde eintreffen, es liegt also eine Zwischenankunftszeit von $T = 30$ Minuten vor. Es soll bestimmt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Warteschlange 0 bis 5 Fahrzeuge umfasst, sowie die durchschnittliche Wartezeit bis zur Abfertigung des nächsten LKWs. Die Wahrscheinlichkeit λ für das Eintreffen eines LKW innerhalb einer Stunde sowie die Wahrscheinlichkeit μ für die Abfertigung ergeben sich als:

$$\lambda = \frac{1}{T} = \frac{1}{30} \quad , \quad \mu = \frac{1}{T} = \frac{1}{3}$$

Die Verkehrsdichte bzw. der Servicegrad beträgt damit

$$p = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\frac{1}{30}}{\frac{1}{3}} = \frac{3}{30} = \frac{1}{10} = 0,1,$$

womit sich die folgenden Wahrscheinlichkeiten \bar{p}_j für die Warteschlangenlängen $j = 0$ bis $N (= 5)$ Fahrzeuge mit der Formel

$$\bar{p}_j = p^j \cdot \frac{1-p}{1-p^{N+1}}$$

Formel 6-43: Wahrscheinlichkeitsberechnung für Warteschlangenlängen

wie folgt berechnen lassen:

Tabelle 24: Länge der LKW-Warteschlange bei 5% manueller Kontrolle

Warteschlangenlänge am Werkseingang (5% manuelle Kontrolle)						
j	0	1	2	3	4	5
\bar{p}_j	89,67%	9,27%	0,96%	0,10%	0,01%	0,00%

In immerhin fast 90% der Fälle ist die Warteschlange leer, d. h. neu ankommende Fahrzeuge können direkt abgefertigt werden. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,01 % ist es dennoch rechnerisch möglich – wenngleich sehr unwahrscheinlich –, dass sich 4 Fahrzeuge in der Warteschlange befinden. Die Schlangenlänge kann berechnet werden als

$$L_S = \frac{p^2}{1-p} = 0,01$$

LKWs, und die durchschnittliche Wartezeit beträgt

$$W_z = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{p^2}{(1-p) \cdot \lambda} = 0,36 \text{ Minuten.}$$

Durch die Nutzung der radiofrequenten Identifikation kann die Kontrolle der Fracht vollständig automatisiert erfolgen, während der LKW durch das Wareneingangstor fährt. Aufgrund der Einflüsse der unterschiedlichen Materialien wie Holz und Metall dauert der Prozess – in ausführlichen Testreihen ermittelt [14] – je nach Aufbau der LKW-Ladung und Anzahl der zu identifizierenden Stämme inklusive ggf. erforderlicher manueller Nachidentifikation einzelner Stämme unter guten Bedingungen zwischen einer und zwei Minuten, was allerdings im Hinblick auf die obigen Ausführungen in jedem Fall ausreichend kurz ist. Aus Vereinfachungsgründen wird an dieser Stelle auf eine Wahrscheinlichkeitsbeurteilung der Identifikationszeit verzichtet, da der Maximalwert in jedem Fall unter der festgelegten Obergrenze liegt.

Die folgende Tabelle 25 zeigt noch einmal die rechnerischen Wahrscheinlichkeiten für die zu erwartende Länge der Warteschlange vor dem Werkstor bei vollständig automatisierter, zweiminütiger Kontrolle unter der Voraussetzung, dass im Schnitt alle 30 Minuten ein LKW eintrifft.

Tabelle 25: Länge der LKW-Warteschlange bei 100% automatisierter Kontrolle

Warteschlangenlänge am Werkseingang (100% automatische Kontrolle, 2 Minuten)						
j	0	1	2	3	4	5
\bar{p}_j	93,33%	6,22%	0,41%	0,03%	0,00%	0,00%

Die Schlangenlänge und Wartezeit lassen sich berechnen zu:

$$p = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,03}{0,5} \Rightarrow L_s = \frac{p^2}{1-p} = 0,005 \text{ Fahrzeuge bzw.}$$

$$W_z = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{p^2}{(1-p) \cdot \lambda} = 0,14 \text{ Minuten.}$$

Die Verwendung der RFID-Technologie eröffnet damit die Perspektive, bei vollständiger Kontrolle der Wareneingänge (im Unterschied zu 5 % zuvor) zusätzlich noch Abfertigungszeit einsparen und den Prozess des Wareneingangs insgesamt beschleunigen zu können. Damit kann das Sägewerk in diesem Bereich auch dann noch effizient arbeiten und Warteschlangen vermeiden, wenn sehr viele LKWs zur gleichen Zeit am Werkstor eintreffen. Anders ausgedrückt kann das Sägewerk in der gleichen Zeitspanne mehr LKWs abfertigen und kann daher z. B. größere Mengen einkaufen, sofern die Lager- und Verarbeitungskapazitäten dies zulassen.

Damit ergibt sich die folgende, an marktüblichen Preisen orientierte Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen:

Tabelle 26: Kosten-/Nutzenverhältnis Wareneingang

Kosten und Nutzen des RFID-Einsatzes am Wareneingang	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • RFID-Hardware (5.000 €) • Softwareintegration (5.000 €) • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wegfall der manuellen Stichprobenkontrolle • Automatische, sofortige Wareneingangsverbuchung im EDV-System • Minderlieferungen werden sofort erkannt • Restbestände im Wald werden direkt vermerkt • Beschleunigung des WE-Prozesses bei vollständiger Kontrolle der Lieferungen

In der Saison liefern die LKWs das Holz rund um die Uhr an, da das Sägewerk im Dreischichtbetrieb ebenfalls Tag und Nacht produziert. Geringfügige Abweichungen ergeben sich ggf. aufgrund des Nachtfahrverbotes, wenn keine Ausnahmegenehmigungen erteilt werden. Gemäß Tabelle 23 (S. 211) ist ein Mittelwert von 2 Fahrzeugen je Stunde anzunehmen, so dass in den neun Monaten der Saison rechnerisch $2 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 9 = 12.960$ Anlieferungen stattfinden. Bei nächtlichem Fahrverbot ist das Aufkommen in den Morgenstunden entsprechend größer, so dass die Gesamtzahl lediglich als kalkulatorischer Mittelwert dienen kann. Wie bereits beschrieben, werden momentan 5 % davon, also 648 Lieferungen, durch die Mitarbeiter des Sägewerks kontrolliert, wobei jede Kontrolle maximal 5 Minuten in Anspruch nimmt. Bei angenommenen Arbeitgeberkosten von 35 € pro Stunde kann damit durch den Wegfall der Kontrollen folgendes monetäre Einsparpotenzial pro Saison bzw. pro Lieferung berechnet werden (die Kosten der Stichprobenkontrolle wurden hierbei auf alle Lieferungen umgelegt):

$$648 \frac{\text{Kontrollen}}{\text{Saison}} \cdot 5 \frac{\text{Minuten}}{\text{Kontrolle}} = 3.240 \frac{\text{Kontrollminuten}}{\text{Saison}}$$

$$\Rightarrow \frac{3.240}{60} = 54 \frac{\text{Kontrollstunden}}{\text{Saison}} \Rightarrow 54 \cdot 35\text{€} = 1.890 \frac{\text{€}}{\text{Saison}} \approx 0,15 \frac{\text{€}}{\text{Lieferung}}$$

Bislang kostet den Betreiber des Sägewerks somit jede Lieferung unter Vernachlässigung weiterer Kostenfaktoren ca. 15 Cent, auch wenn überhaupt keine Kontrolle stattfindet. Schreibt man die Investitionskosten über 5 Jahre ab, so ergeben sich durch den RFID-Einsatz zunächst Kosten in Höhe von $10.000 \text{ €} \div 5 \div 12.960 = 0,154 \text{ €}$ pro Lieferung. Verrechnet mit den zuvor genannten entfallenden Kontrollkosten ergeben sich damit praktisch keine Änderungen – der RFID-Einsatz ist über die Abschreibungsperiode hinweg genauso teuer wie eine manuelle Kontrolle, leistet jedoch mit einer vollständigen Kontrolle deutlich mehr. Wenn nach fünf Jahren das technische Equipment ersetzt wird

und die Softwareintegration nicht mehr erforderlich ist, berechnen sich die Kosten pro Lieferung zu $5.000 \text{ €} \div 5 \div 12.960 = 0,077 \text{ €}$, d. h. ab diesem Zeitpunkt können geringfügige Einsparungen im Vergleich zu einer manuellen Kontrolle erzielt werden. An dieser Stelle sind – wie stets auch im Folgenden – die jeweils genannten Kosten für Schulungen kalkulatorisch allerdings nicht berücksichtigt, da sie nicht abgeschrieben werden können.

Eine Umrechnung auf einzelne Baumstämme bzw. auf Festmeter ist an dieser Stelle im Kontrast zu der Betrachtung der Kette vom Wald bis zum Sägewerk (vgl. Kapitel 6.2.2 ab S. 174) nicht sinnvoll, da jeder LKW eine unterschiedliche Anzahl von Stämmen transportiert und damit eine Umrechnung nicht seriös durchführbar ist. Laufende Kosten entstehen nicht, da lediglich ankommende Transponder erfasst werden, jedoch keine Neuapplikation stattfindet. Berechnungen der TU München auf Basis von Realdaten kommen zu vergleichbaren Ergebnissen [14].

Die beiden durchgeführten Berechnungsvarianten zeigen, dass Statistik und Realdaten nicht sehr weit auseinander liegen. Dennoch sind werks- und monatspezifische Unterschiede bei Anzahl und Menge des angelieferten Stammholzes zu berücksichtigen, was allein eine Analyse auf Basis von Realdaten leisten kann. Insgesamt kann gesagt werden, dass durch den Wegfall der manuellen Kontrollen kleinere Kosteneinsparungen erzielt werden können, sobald die Installationskosten abgeschrieben sind.

Ergänzend kann eine Berechnung des Kapitalwerts durchgeführt werden, wie sie in der folgenden Tabelle 27 dargestellt ist.

Tabelle 27: Kapitalwertberechnung Wareneingang

Kapitalwertberechnung für RFID-Nutzung (Wareneingang)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	5.000,00 €	Weitere K.	7.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
RFID	0	1	2	3	4	5
Kosten	12.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		26.652,00 €	26.652,00 €	26.652,00 €	26.652,00 €	26.652,00 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		24.908,41 €	23.278,89 €	21.755,97 €	20.332,68 €	19.002,51 €
Kapitalwert	- 12.000,00 €	12.908,41 €	36.187,30 €	57.943,27 €	78.275,95 €	97.278,46 €

Den Berechnungen zugrunde liegt die Formel 6-44:

$$C_0 = -A_0 + \sum_{t=1}^T b_t (1+i)^{-t} + L_T (1+i)^{-T}$$

Formel 6-44: Kapitalwertberechnung

Quelle: [87]

Dabei gilt:

C_0 ... Kapitalwert

$-A_0$... Anfangsauszahlung in $t = 0$

b_t ... Nettoszahungen im Zeitpunkt $t = 1 \dots T$

i ... Kalkulationszinsfuß

L_T ... Liquidationserlös am Ende des Zeitraums T

Der Liquidationserlös wurde für diese und alle folgenden Berechnungen mit dem Wert 0 € angenommen, der Zinsfuß mit 7 % angesetzt. Die Nutzenwerte errechnen sich aus den angegebenen Einsparpotenzialen (vgl. Kapitel 6.3, S. 210), die zunächst aufsummiert und anschließend zu gleichen Teilen auf die sechs betrachteten Bereiche des Sägewerks aufgeteilt wurden. Die einmaligen Investitionskosten setzen sich aus dem Anschaffungspreis und den weiteren Kosten zusammen (vgl. Tabelle 26 auf S. 215). Zu erkennen ist, dass sich die Kosten bereits im ersten Jahr amortisieren.

6.3.2 Nasslager

Nach dem Wareneingang werden die Baumstämme entweder direkt zur Kappanlage oder zunächst in das Nasslager transportiert. Da durch den RFID-Einsatz am Wareneingang exakt dokumentiert werden kann, welche Stämme und damit auch welche Qualitäten sich auf dem Werksgelände befinden, kann die Zusammensetzung des Nasslagers kontinuierlich kontrolliert und zielgenau verwaltet werden. Ein Auslesen der Transponder durch ein mobiles RFID-Lesegerät ermöglicht im Prinzip eine FIFO-Lagerhaltung und erlaubt den Mitarbeitern, etwaige Qualitätsveränderungen stammgenau direkt vor Ort zu dokumentieren. Die folgende Tabelle 28 stellt die Kosten- und Nutzeneffekte einander gegenüber.

Tabelle 28: Kosten-/Nutzenverhältnis Nasslager

Kosten und Nutzen des RFID-Einsatzes im Nasslager	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • RFID-Hardware (6.000 €) • Softwareintegration (5.000 €) • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierliche Kontrolle der Holzqualität wird stammgenau dokumentierbar • Präzise Bestimmung der Lagerdauer wird möglich • Aktuelle Qualität des Holzes kann mit derjenigen zum Zeitpunkt des Kaufs direkt verglichen werden

Ein mobiles Lesegerät, das für den Einsatz in einem Sägewerk – zudem in einem Nasslager – entsprechend robust ausgelegt sein sollte, liegt preislich durchaus nahe an einem fest installierten Gate-System. Die Softwareintegration kann hier geringer angesetzt werden als beim Wareneingang, da auf die dort bereits genutzten Entwicklungen aufgesetzt werden kann. Schulungsmaßnahmen sind jedoch auch hier in vollem Umfang erforderlich. Zudem ist aufgrund der speziellen Lagerungsform (vgl. Abbildung 20, S. 35) die theoretisch durchführbare FIFO-Regelung allenfalls blockweise, jedoch insbesondere bei untenliegenden Stämmen nicht stammgenau umsetzbar.

Bei 5-jähriger Abschreibung ergeben sich damit rechnerisch bei Anschaffung von zwei mobilen Lesegeräten monatliche Kosten in Höhe von $11.000\text{ €} \div 60 = 183,33\text{ €}$.

Die präzise Bestimmung der Lagerdauer lässt in Verbindung mit den Daten aus dem Einkauf wichtige Rückschlüsse auf die noch erzielbare Holzqualität zu. Auf diese Weise können die Stämme rechtzeitig der weiteren Bearbeitung durchgeführt und Einnahmeverminderungen aufgrund von Qualitätseinbußen verringert werden. Bisher obliegt diese Verantwortung dem Lagermanagement, das vorwiegend auf Erfahrungswerte angewiesen ist. Der potenzielle Gewinn durch höhere erzielbare Qualitäten kann auf 50.000 € pro Jahr bzw. 4.166,67 € pro Monat geschätzt werden [14]. Dieser verhältnismäßig geringe Wert resultiert aus der Tatsache, dass das Holz im Nasslager grundsätzlich gut konserviert wird und daraus resultierende, ausschlaggebende Qualitätsminderungen eher die Ausnahme sind.

Auch an dieser Stelle kann eine Berechnung des Kapitalwerts durchgeführt werden, wie die folgende Tabelle 29 zeigt. Auch in diesem Prozessschritt sind nach einem Jahr die Kosten bereits amortisiert.

Tabelle 29: Kapitalwertberechnung Nasslager

Kapitalwertberechnung für RFID-Nutzung (Nasslager)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	6.000,00 €	Weitere K.	7.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
RFID	0	1	2	3	4	5
Kosten	13.000,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		26.452,00 €	26.452,00 €	26.452,00 €	26.452,00 €	26.452,00 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		24.721,50 €	23.104,20 €	21.592,71 €	20.180,10 €	18.859,91 €
Kapitalwert	- 13.000,00 €	11.721,50 €	34.825,70 €	56.418,41 €	76.598,51 €	95.458,42 €

6.3.3 Kappanlage

Dies ist die entscheidende Stelle für die Betrachtung des Informationsflusses, da hier ein Medienwechsel von Transpondern zu einer gedruckten Direktkennzeichnung erfolgt. Um diesen Wechsel ohne Daten- bzw. Informationsverlust realisieren zu können, ist es zum einen erforderlich, über stationäre Lesegeräte die Transponderdaten auszulesen und zum anderen, die Informationen in die Anlagensteuerung zu übertragen, so dass die spätere Codierung der Abschnitte zur ursprünglichen Transponder-Identifikationsnummer passt. Aufgrund dieser Schnittstellenfunktion ergeben sich insgesamt höhere Kosten im Vergleich zu den anderen Prozessschritten, die dem Nutzen in der folgenden Tabelle 30 gegenübergestellt sind.

Tabelle 30: Kosten-/Nutzenverhältnis Kappanlage

Kosten und Nutzen der Abschnittskennzeichnung	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • RFID-Hardware (5.000 €) • Hardware Direktmarkierung (30.000 € Tinten-direktdruck bzw. 100.000 € Lasersystem) • Lesepunkt (6.000 €) • Softwareintegration (5.000 €) • Ggf. manuelle Entfernung des Transponders • Laufende Kosten für Direktmarkierung • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Kennzeichnung der Abschnitte durch Referenz auf ursprüngliche Transponder-ID • Sicherung der Rückverfolgbarkeit bis zum Stamm • Ermöglichung von Ausbeuteanalysen

6.3.3.1 Tintendirektdruck

Zunächst ist ein stationäres RFID-Lesegerät erforderlich, mit dessen Hilfe der am Stamm montierte Transponder ausgelesen werden kann. Ein Mitarbeiter entfernt diesen dann von Hand, d. h. an dieser Stelle ist der gezahlte Stundenlohn maßgeblich für eine Ent-

scheidung darüber, ob diese Aufgabe durch einen Mitarbeiter oder durch einen speziell angefertigten Automaten durchgeführt werden soll. Im Rahmen der hier dargestellten Analyse wird davon ausgegangen, dass keine Maschine zum Entfernen der Transponder beauftragt und ein Stundenlohn von 10 € brutto gezahlt wird – die Arbeit kann sehr gut von Hilfskräften erledigt werden. Wenn „Wegwerftransponder“ genutzt werden, kann die Entfernung des Transponders entfallen.

Die Markierungstechnologie für die Abschnitte muss zum einen beschafft und zum anderen funktionstechnisch, von Seiten der Software sowie konstruktiv in die Kappanlage integriert werden. Sobald die Markierung auf dem Abschnitt appliziert ist, muss diese zur Kontrolle verifiziert werden, um sie ggf. erneut applizieren zu können. Daher ist auch ein entsprechender Lesepunkt sowie dessen Integration in die maschinellen Abläufe vorzusehen. Die Kosten hierfür wurden relativ hoch angesetzt, da neben einem ausgereiften Kamerasystem auch ein entsprechendes Umfeld – z. B. im Hinblick auf die Ausleuchtung – geschaffen werden muss. Schließlich muss der Maschinenführer mit der neuen Technik vertraut gemacht werden, um im Bedarfsfall passend reagieren zu können.

Insgesamt ergeben sich damit monatliche Kosten in Höhe von $30.000 \text{ €} \div 60 = 500,00 \text{ €}$ für die Drucktechnik bzw. $16.000 \text{ €} \div 60 = 266,67 \text{ €}$ für die übrigen Investitionen, hinzu kommt der Aufwand für den notwendigen Mitarbeiter in Höhe von $10 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cdot 30 \frac{\text{Tage}}{\text{Monat}} = 7.200 \text{ €}$ pro Monat. Da ein einzelner Mitarbeiter nicht rund um die Uhr arbeiten kann, wird sich dieser Betrag de facto auf mehrere Personen verteilen, ist jedoch als Gesamtsumme rechnerisch in dieser Höhe anzusetzen und verringert sich bei weniger als drei Schichten dementsprechend.

Im Rahmen einer Gegenrechnung ist zu prüfen, ob ggf. geringfügig Beschäftigte (so genannte „400 Euro – Jobs“) zur Besetzung dieser Position ausreichend und kostengünstiger sind. Im Dreischichtbetrieb werden bei einer Wochenarbeitszeit von etwas mehr als 40 Stunden rechnerisch vier Personen benötigt, um diese Arbeit zu erledigen, d. h. es entstehen Kosten in Höhe von $4 \cdot 400 \cdot 1,3 = 2.080 \text{ €}$ inkl. Abgaben des Arbeitgebers¹⁵, was bereits deutlich günstiger ist als der zuvor genannte Betrag.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, als Alternative die Beauftragung einer Maschine in Erwägung zu ziehen, welche die Entfernung der Transponder vollautomatisch durchführen kann, sofern nicht grundsätzlich Transponder genutzt werden können, die nicht wieder verwendet und entsorgt werden. Aufgrund der notwendigen soliden Anbringung

¹⁵ Im Rahmen eines 400-Euro-Arbeitsverhältnisses gilt in Deutschland für den Arbeitnehmer zwar „Brutto gleich Netto“, jedoch muss der Arbeitgeber ca. 30 % Abgaben (Pauschalen für Kranken- und Rentenversicherung sowie Kirchensteuer, Lohnsteuer und Solidaritätszuschlag) zusätzlich entrichten.

der Transponder ist dies jedoch nicht trivial umsetzbar und daher von der Kostenseite her gesehen kaum abzuschätzen. Es bleibt die Aussage, dass unabhängig von den Entwicklungskosten auf Dauer gesehen eine automatische Entfernung der Transponder dann kostengünstiger ist, wenn der Prozess weitgehend fehlerfrei durchgeführt werden kann. Dazu muss entweder die Transponderbauform angepasst werden, oder das zu konstruierende Gerät ist mit ausreichender Intelligenz auszustatten, um bspw. jede mögliche Raumlage des Transponders erkennen und darauf reagieren zu können. Eine erste Idee zur Automatisierung liefert [88].

Zu diesen Beträgen addieren sich die laufenden Kosten für die Kennzeichnung der Abschnitte, wobei die Markierung auf der Stirnseite appliziert werden soll. Um eine ausreichende Sicherheit einzukalkulieren, gibt das Unternehmen Pollmeier 4.000 Abschnitte pro Tag an, die gekennzeichnet werden müssen. Da die Stammdurchmesser von 20 bis 80 cm reichen und von Baum zu Baum unterschiedlich ausgeprägt sind (z. B. aufgrund von Ovalität und Abholzigkeit), muss erneut eine Betrachtung der Wahrscheinlichkeiten zur Ermittlung der im Schnitt zu bedruckenden Fläche erfolgen. Wie bereits beim Wareneingang sei auch an dieser Stelle eine Poisson-Verteilung für den Baumstammdurchmesser mit einem erfahrungsbasierten Erwartungswert von 50 cm angenommen, womit sich die folgende Wahrscheinlichkeitsverteilung ergibt:

Tabelle 31: Poisson-Wahrscheinlichkeitsverteilung für Baumstammdurchmesser

Wahrscheinlichkeiten (P) für Baumstammdurchmesser bei $\lambda = 50$		
Baumstammdurchmesser (k)	Wahrscheinlichkeit	Kumuliert
25	0,00%	0,01%
26	0,01%	0,01%
27	0,01%	0,03%
28	0,02%	0,05%
29	0,04%	0,09%
30	0,07%	0,16%
31	0,11%	0,27%
32	0,17%	0,44%
33	0,26%	0,70%
34	0,38%	1,08%
35	0,54%	1,62%
36	0,75%	2,38%
37	1,02%	3,40%
38	1,34%	4,74%
39	1,72%	6,46%
40	2,15%	8,61%
41	2,62%	11,23%
42	3,12%	14,35%
43	3,63%	17,98%
44	4,12%	22,10%
45	4,58%	26,69%
46	4,98%	31,67%
47	5,30%	36,97%
48	5,52%	42,49%
49	5,63%	48,12%
50	5,63%	53,75%
51	5,52%	59,27%
52	5,31%	64,58%
53	5,01%	69,59%
54	4,64%	74,23%
55	4,22%	78,45%
56	3,76%	82,21%
57	3,30%	85,51%
58	2,85%	88,36%
59	2,41%	90,77%
60	2,01%	92,78%
61	1,65%	94,43%
62	1,33%	95,76%
63	1,05%	96,82%
64	0,82%	97,64%
65	0,63%	98,27%
66	0,48%	98,75%
67	0,36%	99,11%
68	0,26%	99,38%
69	0,19%	99,57%
70	0,14%	99,70%
71	0,10%	99,80%
72	0,07%	99,87%
73	0,05%	99,91%
74	0,03%	99,94%
75	0,02%	99,96%
76	0,01%	99,98%
77	0,01%	99,99%
78	0,01%	99,99%
79	0,00%	99,99%
80	0,00%	100,00%

Gemäß obiger Tabelle 31 ergibt sich, dass in 99 % der Fälle ein Baumstamm mit einem Durchmesser zwischen 25 cm und 67 cm an der Kappanlage eintrifft. In den in Kapitel 4.2.4.2 (Seite 130 ff.) beschriebenen Testreihen wurden Codes mit einer maximalen Höhe von 1,8 cm genutzt, ihre Länge betrug ca. 7 cm. Das Verhältnis zwischen schwarzen Balken und sichtbarem Untergrund schwankt auf der Grundlage des Codeinhaltes,

weshalb an dieser Stelle vereinfachend von einem Deckungsgrad in Höhe von 75 % ausgegangen wird, d. h. die bedruckte Codefläche beträgt $5,25 \text{ cm} \times 1,8 \text{ cm} = 9,45 \text{ cm}^2$. Werden mehrere Codes appliziert, muss dieser Wert entsprechend mit der jeweiligen Anzahl multipliziert werden. Als Durchschnittswert sei an dieser Stelle für die Grundlage der folgenden Berechnungen angenommen, dass ein Abschnitt mit 50 cm Durchmesser bedruckt werden muss – aufgrund der skizzierten Verteilung ist dieser Wert realistisch. Auf einer Fläche dieser Größe finden gemäß der obigen Annahmen rechnerisch 7 Codes Platz, jedoch werden die Codes mit ausreichendem Abstand zueinander appliziert, so dass mit durchschnittlich 4 Codes je Stirnseite gerechnet werden kann. Die bedruckte Fläche beträgt somit jeweils im Mittel $9,45 \text{ cm}^2 \times 4 = 37,8 \text{ cm}^2$. Werden zwei Druckköpfe eingesetzt, ist folglich die doppelte Menge anzusetzen.

Die Applikationstests (vgl. Kapitel 4.2.2.4 ab S. 106) haben gezeigt, dass entweder MEK- oder auf Aceton basierende Tinte verwendet werden muss, um ein brauchbares Ergebnis zu erzielen. Diese kosten je Liter ca. 30 €, so dass über eine Verbrauchskalkulation die periodisch anfallenden Kosten berechnet werden können.

Zur Berechnung des Tintenverbrauchs für Strichcodes muss der Umweg über OCR gegangen werden, da für diesen Fall die Anzahl der benötigten Punkte bekannt ist. Jedes Schriftzeichen besteht im Durchschnitt aus 15 Punkten, und bei Verwendung einer 100 µm-Düse können mit einem Liter Tinte 43 Mio. Zeichen gedruckt werden bzw. 645 Mio. Punkte. Die Punktgröße beträgt bei der für die Versuche (vgl. Kapitel 4.2.4 ab S. 123) verwendeten Düse 0,7 mm, d. h. für die flächige Bedruckung von 1 cm^2 werden 143 Punkte benötigt. Daraus wiederum lässt sich berechnen, dass mit einem Liter Tinte

$$\frac{645 \text{ Mio. Punkte/Liter}}{143 \text{ Punkte/cm}^2} = 4.510.000 \frac{\text{cm}^2}{\text{l}} = 451 \frac{\text{m}^2}{\text{l}}$$

bedruckt werden können. Dies lässt sich umrechnen zu einem Bedarf von $0,22 \text{ µl}$ je cm^2 Fläche.

Nimmt man nun den durchschnittlichen oben hergeleiteten Flächenbedarf je Stirnseite in Höhe von $37,8 \text{ cm}^2$ an, berechnen sich der Tintenbedarf und damit die Kosten zu:

$$37,8 \text{ cm}^2 \cdot \frac{0,22 \text{ µl}}{\text{cm}^2} = 8,316 \text{ µl} = 0,008316 \text{ ml}$$

$$0,008 \text{ ml} \cdot 4.000 = 32 \text{ ml} = 0,032 \text{ l}$$

$$\Rightarrow 0,032 \text{ l/Tag} \cdot 30 \text{ €/l} = 0,96 \text{ €/Tag} = 0,00024 \text{ €/Abschnitt} = 0,00006 \text{ €/Code}$$

Bei 4.000 Abschnitten pro Tag ergeben sich somit durchschnittliche monatliche Kosten für die Markierung in Höhe von 17,60 €. Hinzugerechnet werden muss der Stromverbrauch des Druckers in Höhe von 100 Watt – dies bedeutet bei 220 Arbeitstagen und angenommenen Stromkosten von 0,11 € je kWh einen Jahresverbrauch von 528 Kilowattstunden bzw. jährliche Kosten in Höhe von 58,08 € (entspricht 4,84 € monatlich).

Der verwendete Drucker benötigt zudem einen Druckluftanschluss mit 5 Bar Druck, jedoch erzeugt das Sägewerk diese i.d.R. selbst, so dass allenfalls interne Verrechnungspreise berechnet werden können und im Folgenden auf den Ansatz dieser Kosten verzichtet wird. Die Stromkosten für die Kamera (10 Watt [61]) sowie den zugehörigen Computer (angegeben mit 30 Watt [61]) sind vernachlässigbar gering und werden daher im Folgenden nicht mit eingerechnet. Auch weitere Kosten wie Reinigungs- und Wartungsaufwand bleiben mangels Kalkulierbarkeit unberücksichtigt – ein pauschaler Ansatz wäre für Tinten- und Lasersystem jeweils in gleicher Höhe anzusetzen und kann daher gewissermaßen vor die Klammer gezogen werden. Aufgrund der getroffenen Annahmen sowie der beschriebenen bewussten Auslassungen sind die genannten Kosten an dieser Stelle sowie an allen weiteren genannten Punkten daher lediglich als Richtwerte zu verstehen.

6.3.3.2 Laserapplikation

Wird anstelle eines Tintendirektdrucksystems ein Laser eingesetzt, so ist mit erheblich höheren Anschaffungs- sowie Installationskosten zu rechnen. Da der Laser kein Verbrauchsmaterial benötigt, beschränken sich die laufenden Kosten auf den erhöhten Strombedarf sowie gelegentliche Instandhaltungsarbeiten. Die Versuche im Sägewerk (vgl. Kapitel 4.2.2.4.2, S. 120) haben gezeigt, dass die Nutzung eines Lasers zur Kennzeichnung der Model an der Kappanlage technisch grundsätzlich möglich ist, weshalb an dieser Stelle die Anschaffungskosten i.H.v. 100.000 € bzw. $100.000 \text{ €} \div 60 = 1.666,67 \text{ €}$ pro Monat alternativ mit berücksichtigt werden sollen; der Strommehrbedarf des Lasersystems lässt sich bei angenommenen, auf den für die Versuche genutzten Geräten basierenden 200 Watt Laserleistung und 2.000 Watt Stromverbrauch während des Applikationsvorgangs insgesamt unter Annahme eines Dreischichtbetriebs wie folgt kalkulieren:

$$2.000 \text{ W} \cong 2.000 \text{ Wh} = 2 \text{ kWh}$$

4 Codes je Fläche, 10 Sekunden Begutachtungszeit je Abschnitt

$$\Rightarrow 24 \frac{\text{Codes}}{\text{Minute}} \text{ bei } 1 \text{ Sekunde Applikationszeit je Code}$$

$$\Rightarrow \text{Laser ist } 24 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 40 \% \text{ der Zeit im Einsatz}$$

$$\Rightarrow 24 \frac{h}{Tag} \cdot 0,4 = 9,6 \frac{h}{Tag} \hat{=} 9,6 \frac{h}{Tag} \cdot 220 \frac{Tage}{Jahr} = 2.112 \frac{h}{a} \text{ Betriebszeit}$$

$$\Rightarrow 2.112 \frac{h}{a} \cdot 2 \text{ kWh} \approx 4.224 \frac{kWh}{a} \text{ Maximale Leistungsaufnahme}$$

Hinzu kommt ein kalkulatorischer Standby-Verbrauch von 100 Watt, d. h. pro Jahr kommen noch einmal $0,1 \text{ kWh} \cdot 220 \frac{Tage}{Jahr} = 528 \text{ kWh}$ hinzu. Eine Realisierung des genannten Mehrverbrauchs in Höhe von insgesamt 4.752 kWh kostet demnach bei weiterhin angenommenen Kosten von 0,11 € pro kWh insgesamt 522,72 € pro Jahr bzw. 43,56 € pro Monat.

Neben dem reinen Kostenvergleich ist eine Berechnung des Kapitalwerts interessant, die auf der Basis der getroffenen Annahmen erfolgen kann. In der folgende Tabelle 32 ist sowohl für den Tintendirektdruck als auch für die Laserapplikation eine entsprechende Kalkulation dargestellt.

Tabelle 32: Kapitalwertberechnung Kappanlage

Kapitalwertberechnung für Tinten- und Laserdruck (Kappanlage)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	30.000,00 €	Weitere K.	18.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
Tintendruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	48.000,00 €	9.469,28 €	9.469,28 €	9.469,28 €	9.469,28 €	9.469,28 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		19.182,72 €	19.182,72 €	19.182,72 €	19.182,72 €	19.182,72 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		17.927,78 €	16.754,93 €	15.658,81 €	14.634,41 €	13.677,01 €
Kapitalwert	- 48.000,00 €	- 30.072,22 €	- 13.317,29 €	2.341,52 €	16.975,93 €	30.652,94 €

Zinssatz	7%		Anschaffung	100.000,00 €	Weitere K.	18.000,00 €
Laserdruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	118.000,00 €	23.722,72 €	23.722,72 €	23.722,72 €	23.722,72 €	23.722,72 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		4.929,28 €	4.929,28 €	4.929,28 €	4.929,28 €	4.929,28 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		4.606,80 €	4.305,42 €	4.023,76 €	3.760,52 €	3.514,51 €
Kapitalwert	- 118.000,00 €	- 113.393,20 €	- 109.087,77 €	- 105.064,01 €	- 101.303,49 €	- 97.788,98 €

Die angegebenen einmaligen Investitionskosten setzen sich zusammen aus dem Anschaffungspreis sowie den der Anlage zuzuordnenden weiteren Kostenfaktoren (vgl.

Tabelle 30, S. 219) unter Vernachlässigung der Personalkosten. Die jährlichen Kosten wurden den Ausführungen in diesem Kapitel übernommen und aufsummiert.

Zu erkennen ist, dass die Lasertechnologie nur einen geringen positiven Barwert pro Periode erreicht, so dass der Kapitalwert auch nach fünf Jahren noch nicht positiv ist. Ein rentabler Einsatz ist daher an dieser Stelle unter den getroffenen Annahmen nicht möglich, während der Tintendruck bereits nach drei Jahren einen positiven Kapitalwert erreicht.

6.3.4 Blockbandsäge

Sobald die „Schwarten“ abgeschnitten worden sind, ist eine sofortige Kennzeichnung der nun sichtbaren Brettfläche erforderlich, um im späteren Prozess einen reibungslosen Ablauf gewährleisten zu können. Die Übertragung der Abschnittskennzeichnung auf die Seitenflächen der Model erfordert neben einem Lesepunkt eine durchdachte Applikationstechnologie, um im Hinblick auf die Arbeitsweise der Maschine eine technische Machbarkeit realisieren zu können. Die folgende Tabelle 33 liefert einen Überblick über Kosten und Nutzen.

Tabelle 33: Kosten-/Nutzenverhältnis Blockbandsäge

Kosten und Nutzen der Model-Kennzeichnung	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • Hardware Direktmarkierung (60.000 € bzw. 400.000 €) • Lesepunkt (6.000 €) • Softwareintegration (5.000 €) • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) • Laufende Kosten für Direktmarkierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Kennzeichnung der Abschnitte durch Referenz auf ursprüngliche Transponder-ID • Sicherung der Rückverfolgbarkeit bis zum Stamm • Ermöglichung von Ausbeuteanalysen

6.3.4.1 Tintendirektdruck

Aufgrund der speziellen Arbeitsweise der Blockbandsäge mit zwei zweiseitigen Sägeblättern und einmaliger 90°-Rotation des Abschnitts entsteht die Notwendigkeit, mit vier Druckköpfen zu arbeiten, und zwar an jeder Säge jeweils ein Druckkopf links und rechts neben dem Sägeblatt. Nur so kann sichergestellt werden, dass sowohl nach dem Vorfahren des Abschnitts als auch nach dem Zurückfahren des gedrehten Abschnitts eine Markierung auf der entstandenen Schnittfläche appliziert werden kann. Aus diesem Grund sind die Hardwarekosten für diesen Prozessschritt doppelt so hoch angegeben als bei den übrigen Stationen, da mindestens zwei Drucker mit jeweils zwei Druckköpfen eingesetzt werden müssen.

Um die Brettfläche jedoch überhaupt mit einem sinnvollen, d. h. die Rückverfolgung des Holzes möglich machenden Code bedrucken zu können, müssen die hierfür notwendigen Informationen zunächst aus der Abschnittsmarkierung auf der Stirnseite ausgelesen werden. Dazu ist ein Lesepunkt zu installieren und die Software so zu gestalten, dass die

ausgelesenen Informationen umgehend in den Code für die Bretter umgewandelt werden. Im Regelfall wird die Nummer des Abschnitts auf jedes folgende Brett übertragen, so dass ein einfaches Weiterreichen der ausgelesenen Abschnittsidentifikation bereits ausreichend ist. Aufwendig hingegen ist die Integration der Markierungstechnologie in die Maschinensteuerung, womit sich für die Drucker $60.000 \text{ €} \div 60 = 1.000,00 \text{ €}$ bzw. für die übrigen Investitionskosten $11.000 \text{ €} \div 60 = 183,33 \text{ €}$ an Abschreibungen pro Monat ergeben.

Im Hinblick auf die Brett Kennzeichnung ist anzumerken, dass an dieser Stelle die Brettflächen im Längsdruck gekennzeichnet werden sollten, d. h. die Anzahl der zu applizierenden Codes ist abhängig von der jeweiligen Länge des Models bzw. des „opening face“. Vereinfachend soll an dieser Stelle – basierend auf einer durchschnittlichen Modelllänge von 10 Fuß bzw. ca. 3 Metern sowie unter Einbezug der Waldkanten – mit einem durchschnittlichen Wert von 1,5 m Länge der bedruckbaren Fläche gerechnet werden, d. h. es würden 21 Codes mit je 7 cm Länge Platz finden. Aufgrund der Applizierung mit Abstand zwischen den Codes sei ein Wert von 15 Codes je Modelseite angenommen. Der Sonderfall, dass die Blockbandsäge die nachfolgenden Sägen unterstützt und auch bereits Bretter sägt, sei für die nachfolgenden Berechnungen nicht berücksichtigt, da die Anzahl der gesägten Bretter insgesamt maßgeblich und dabei unabhängig vom Entstehungsort ist – Mehrkosten an der Blockbandsäge werden durch Minderkosten bei der Resaw in der Summe aufgehoben.

Bei 4.000 Abschnitten bzw. Model pro Tag sind also 240.000 Kennzeichnungen an der Blockbandsäge erforderlich, d. h. die Kosten der Markierung betragen gemäß den weiter oben getroffenen Annahmen $0,00006 \text{ €/Code} \cdot 240.000 \text{ Codes} = 14,40 \text{ €/Tag}$. Insgesamt entstehen somit jährliche Markierungskosten an der Blockbandsäge in Höhe von $14,40 \text{ €/Tag} \cdot 220 \text{ Tage} = 3.168 \text{ €/Jahr}$ bzw. 264 € pro Monat. Hinzugerechnet werden müssen die Stromkosten für 200 Watt Leistungsaufnahme bei zwei Geräten, die sich auf 1.056 kWh pro Jahr und damit 116,16 € pro Jahr bzw. 9,68 € pro Monat belaufen.

6.3.4.2 Laserapplikation

Wird alternativ ein Lasersystem genutzt und sollen auch mit dieser Technologie vier Markierungen appliziert werden, sind dementsprechend vier Laser zu Gesamtkosten in Höhe von 400.000 € (Abschreibungskosten $400.000 \text{ €} \div 60 = 6.666,67 \text{ €}$ monatlich) zu installieren. Hinzu kommt noch der Aufwand für Abschirmungen und Instandhaltungsmaßnahmen. Aufgrund dieser Größenordnung ist diese Alternative zwar nur theoretischer Natur, soll hier aber im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit angeführt werden. Dies wird durch den Kapitalwertvergleich bestätigt (vgl. Tabelle 34 auf Seite 229).

Da die Lasersysteme aufgrund des feuchten Holzes mit ebenso hoher Leistung arbeiten müssen wie an der Kappanlage, können sie nicht die gleiche Anzahl Codes wie die Tin-

tensysteme applizieren. Pro Abschnitt sollen alle vier Seiten mit jeweils einem Code versehen sein, d. h. insgesamt sind 16.000 Codes pro Tag zu applizieren. Bei gleicher Applikationsdauer von einer Sekunde kann je Modelseite jeweils nur ein einzelner Code appliziert werden, d. h. die Stromkosten betragen in diesem Fall:

Je Laser 2.000 W $\hat{=}$ 2 kWh, d. h. insgesamt 8 kWh

Annahme: 1 Code je Modelfläche

$\Rightarrow 16.000 \frac{\text{Codes}}{\text{Tag}}$ bei 1 Sekunde Applikationszeit je Code

\Rightarrow Laser sind $16.000 \frac{\text{s}}{\text{Tag}} = \frac{16.000 \text{ s}}{86.400 \text{ s}} = 19\%$ der Zeit im Einsatz

$\Rightarrow 24 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cdot 0,19 = 4,56 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \hat{=} 4,56 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cdot 220 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \approx 1.003 \frac{\text{h}}{\text{a}}$ Betriebszeit

$\Rightarrow 1.003 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 8 \text{ kWh} = 8.024 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$ Maximale Leistungsaufnahme

Pro Laser sind auch an dieser Stelle 100 Watt Standby-Verbrauch anzusetzen, was in der Summe für die vier Geräte $0,4 \text{ kWh} \cdot 220 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} = 2.112 \text{ kWh}$ pro Jahr ergibt. Der Strommehrbedarf von insgesamt 10.136 kWh erzeugt Zusatzkosten in Höhe von 1.114,96 € pro Jahr bzw. 92,91 € pro Monat. Wie die folgende Berechnung zeigt, ist der Betrieb von zwei Tintendrucksystemen trotz der deutlich höheren Applikationskosten im Vergleich zu vier Lasersystemen kostengünstiger.

Tabelle 34: Kapitalwertberechnung Blockbandsäge

Kapitalwertberechnung für Tinten- und Laserdruck (Blockbandsäge)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	60.000,00 €	Weitere K.	13.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
Tintendruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	73.000,00 €	17.484,16 €	17.484,16 €	17.484,16 €	17.484,16 €	17.484,16 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		11.167,84 €	11.167,84 €	11.167,84 €	11.167,84 €	11.167,84 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		10.437,23 €	9.754,42 €	9.116,28 €	8.519,89 €	7.962,52 €
Kapitalwert	- 73.000,00 €	- 62.562,77 €	- 52.808,34 €	- 43.692,06 €	- 35.172,17 €	- 27.209,65 €

Zinssatz	7%		Anschaffung	400.000,00 €	Weitere K.	13.000,00 €
Laserdruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	413.000,00 €	83.314,92 €	83.314,92 €	83.314,92 €	83.314,92 €	83.314,92 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		- 54.662,92 €	- 54.662,92 €	- 54.662,92 €	- 54.662,92 €	- 54.662,92 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		- 51.086,84 €	- 47.744,71 €	- 44.621,23 €	- 41.702,08 €	- 38.973,91 €
Kapitalwert	- 413.000,00 €	- 464.086,84 €	- 511.831,55 €	- 556.452,78 €	- 598.154,86 €	- 637.128,76 €

In diesem Fall weist das Tintendrucksystem auch nach fünf Jahren keinen positiven Kapitalwert auf, erreicht aber einen positiven Barwert pro Periode, während der Laser an dieser Stelle deutlich mehr Kosten verursacht als Nutzen generiert. Das Ergebnis ist vorwiegend deswegen so unterschiedlich, weil aufgrund der Nutzung von zwei Druckköpfen je Tintendrucksystem nur zwei Systeme installiert werden müssen, während jedoch vier Lasersysteme erforderlich sind. Aufgrund des geringen Nutzenüberschusses beim Tintendirektdrucksystem müssen die an dieser Stelle entstehenden Kosten durch Überschüsse an anderen Prozessschritten kompensiert werden.

6.3.5 Resaw

6.3.5.1 Tintendirektdruck

Wenn die einzelnen Rohbretter geschnitten werden, muss die von der Blockbandsäge überlieferte Kennzeichnung nach dem Absägen des Bretts auf die neu entstandene Schnittfläche übertragen werden, d. h. sie muss zunächst ausgelesen und anschließend – ergänzt um die Brettnummer – wieder neu appliziert werden. Dies setzt einen weiteren Lesepunkt sowie einen Applikationspunkt voraus. Es ergeben sich monatliche Abschreibungen für den Drucker in Höhe von $30.000 \text{ €} \div 60 = 500,00 \text{ €}$ bzw. für die übrigen Investitionskosten in Höhe von $8.000 \text{ €} \div 60 = 133,33 \text{ €}$.

Tabelle 35: Kosten-/Nutzenverhältnis Resaw

Kosten und Nutzen der Brett-Kennzeichnung	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • Hardware Direktmarkierung (30.000 € bzw. 100.000 €) • Lesepunkt (6.000 €) • Softwareintegration (2.000 €) • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) • Laufende Kosten für Direktmarkierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Kennzeichnung der Bretter durch Referenz auf ursprüngliche Abschnitts-ID • Brettgenaue Sicherung der Rückverfolgbarkeit bis zum Stamm • Ermöglichung von Ausbeuteanalysen

Wie die obige Tabelle 35 zeigt, ist die Kostenstruktur bei der Resaw analog zu den vorhergehenden Prozessschritten zu sehen. Die laufenden Kosten für die Brett Kennzeichnung ergeben sich aus den Rahmenbedingungen, dass im gesamten Werk ca. 40.000 Bretter pro Tag produziert werden und bei Längskennzeichnung eine durchschnittliche Modellänge von 10 Fuß bzw. 3 Metern angenommen wird, in folgender Höhe:

$$3 \text{ Meter Applikationsfläche ergeben } \frac{300\text{cm}}{7\text{cm}} = 42 \text{ Codes} \Rightarrow 30 \text{ Codes real möglich}$$

$$\text{Damit ergeben sich Druckkosten in Höhe von } 0,00006 \text{ €/Code} \cdot 40.000 \cdot 30 = 72,00 \text{ €/Tag bzw. } 72 \frac{\text{€}}{\text{Tag}} \cdot 220 \frac{\text{Arbeitsstage}}{\text{Jahr}} = 15.840 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} = 1.320 \frac{\text{€}}{\text{Monat}}.$$

Kann im Dauerbetrieb festgestellt werden, dass die Anzahl der zu applizierenden Codes bspw. auf 10 Stück gesenkt werden kann, sind an dieser Stelle erhebliche Kostenoptimierungspotenziale vorhanden; aus Konsistenzgründen wird im Folgenden jedoch mit der maximalen Anzahl gerechnet. Wie bereits zuvor müssen zusätzlich noch die Stromkosten in Höhe von monatlich 4,84 € berücksichtigt werden.

6.3.5.2 Laserapplikation

Als Abschreibungskosten können analog zur Kappanlage 1.666,67 € je Monat angesetzt werden. Im Hinblick auf den Verbrauch können die bisher genutzten Werte als Grundlage dienen, wobei hier jedoch aufgrund der Länge der Model mit drei Codes je Brett gerechnet werden soll. Um dies möglich zu machen, muss die Applikationszeit auf 0,5 Sekunden reduziert werden, was im Hinblick auf die erzielbare Leseratte durch Anwendung der Mehrfachapplikation unschädlich ist. Auf Basis dieser Grundlagen ergibt sich folgende Berechnung:

$$\text{Laserleistung } 2.000 \text{ W} \cong 2 \text{ kWh}$$

$$\text{Annahme: } 3 \text{ Codes je Fläche}$$

$$\Rightarrow 3 \cdot 40.000 = 120.000 \frac{\text{Codes}}{\text{Tag}} \text{ bei } 0,5 \text{ Sekunden Applikationszeit je Code}$$

$$\Rightarrow \text{Laser ist } 60.000 \frac{s}{\text{Tag}} = \frac{60.000 s}{86.400 s} = 69,4 \% \text{ der Zeit im Einsatz}$$

$$\Rightarrow 24 \frac{h}{\text{Tag}} \cdot 0,694 = 16,66 \frac{h}{\text{Tag}} \hat{=} 16,66 \frac{h}{\text{Tag}} \cdot 220 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \approx 3.665 \frac{h}{a} \text{ Betriebszeit}$$

$$\Rightarrow 3.665 \frac{h}{a} \cdot 2 \text{ kWh} = 7.330 \frac{\text{kWh}}{a} \text{ Maximale Leistungsaufnahme}$$

Zusammen mit dem Standby-Verbrauch in Höhe von 528 kWh ergeben sich Kosten von 864,38 € pro Jahr bzw. 72,03 € pro Monat. In der folgenden Tabelle 36 ist die entsprechende Kapitalwertberechnung dargestellt.

Tabelle 36: Kapitalwertberechnung Resaw

Kapitalwertberechnung für Tinten- und Laserdruck (Resaw)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	30.000,00 €	Weitere K.	10.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
Tintendruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	40.000,00 €	23.498,08 €	23.498,08 €	23.498,08 €	23.498,08 €	23.498,08 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		5.153,92 €	5.153,92 €	5.153,92 €	5.153,92 €	5.153,92 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		4.816,75 €	4.501,63 €	4.207,13 €	3.931,90 €	3.674,67 €
Kapitalwert	- 40.000,00 €	- 35.183,25 €	- 30.681,62 €	- 26.474,49 €	- 22.542,58 €	- 18.867,91 €

Zinssatz	7%		Anschaffung	100.000,00 €	Weitere K.	10.000,00 €
Laserdruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	110.000,00 €	22.464,36 €	22.464,36 €	22.464,36 €	22.464,36 €	22.464,36 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		6.187,64 €	6.187,64 €	6.187,64 €	6.187,64 €	6.187,64 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		5.782,84 €	5.404,52 €	5.050,96 €	4.720,52 €	4.411,70 €
Kapitalwert	- 110.000,00 €	- 104.217,16 €	- 98.812,63 €	- 93.761,68 €	- 89.041,16 €	- 84.629,45 €

Keine der beiden Alternativtechnologien kann an dieser Stelle nach fünf Jahren einen positiven Kapitalwert erzielen, so dass auch hier eine Gegenfinanzierung durch Einsparungen an anderer Stelle erforderlich ist.

6.3.6 Schleifstation und Qualitätsbeurteilung

6.3.6.1 Tintendirektdruck

Am Schluss der Identifikations- und Kennzeichnungskette steht noch einmal ein etwas aufwendigerer Prozess. Die Identifikation ist an dieser Stelle besonders anspruchsvoll, da die Bretter nur einseitig markiert sind und auf Längs- und Querförderern sicher identifiziert werden müssen, obwohl die Lage des Codes unbekannt ist. Das hat zur Folge, dass die Bretter sowohl von unten als auch von oben zugleich erfasst werden müssen, um in jedem Fall eine Auslesung sicherstellen zu können. Wie in der folgenden Tabelle 37 zu erkennen ist, bedingt diese Anforderung zum einen deutlich höhere Kosten für den erforderlichen Lesepunkt, zum anderen aber auch für die nach dem Schleifvorgang notwendige Neuapplikation der Markierungen.

Tabelle 37: Kosten-/Nutzenverhältnis Schleifen und Grading

Kosten und Nutzen der Brett-Neukennzeichnung	
Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • Hardware Brettmarkierung (30.000 € bzw. 100.000 €) • Lesepunkt (12.000 €) • Softwareintegration (10.000 €) • Schulungsmaßnahmen (2.000 €) • Laufende Kosten für Direktmarkierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Individuelle Kennzeichnung der Bretter durch Referenz auf ursprüngliche Abschnitts-ID • Brettgenaue Sicherung der Rückverfolgbarkeit bis zum Stamm • Ermöglichung von Ausbeuteanalysen • Brettgenaue Qualitätskennzeichnung und -beurteilung auch auf Ebene der EDV-Systeme

Die Kosten für die Softwareintegration sind ebenfalls höher als an anderen Stationen der Prozesskette, weil die vor der Maschine erfassten Codes aufwendig verifiziert und so an die Schleifmaschine weitergeleitet werden müssen, dass die Reihenfolge der Codes mit der Reihenfolge der abgeschliffenen Bretter übereinstimmt. Dies ist insbesondere bei wartungsbedingten und ungeplanten Stillständen der Maschine zu berücksichtigen und ist organisatorisch im Voraus zu planen, weshalb auch an dieser Stelle Schulungskosten anzusetzen sind. Insgesamt ergeben sich damit monatliche Abschreibungskosten in Höhe von $22.000 \text{ €} \div 60 = 366,67 \text{ €}$.

Zur Berechnung der laufenden Kosten ist die Wahl der Kennzeichnungstechnologie entscheidend, da grundsätzlich die Möglichkeit besteht, nach dem Schleifen auf dem nunmehr ebenmäßigen Holz z. B. Klebeetiketten zu applizieren, die der Kunde bei Bedarf wieder unkompliziert entfernen kann. Zunächst ist grundsätzlich – wiederum anhand einer Poisson-Verteilung – zu bestimmen, mit welcher Anzahl Brettern im Durchschnitt gerechnet werden muss, wenn 1,85 m an Breite der Fördertechnik zur Verfügung stehen und maximal 10 Bretter je Lage gehandhabt werden können (vgl. Tabelle 38):

Tabelle 38: Poisson-Verteilung der Anzahl der Bretter an der Schleifstation

Wahrscheinlichkeiten (P) für die Brettanzahl bei $\lambda = 7$		
Anzahl Bretter (k)	Wahrscheinlichkeit	Kumuliert
2	2,23%	2,96%
3	5,21%	8,18%
4	9,12%	17,30%
5	12,77%	30,07%
6	14,90%	44,97%
7	14,90%	59,87%
8	13,04%	72,91%
9	10,14%	83,05%
10	7,10%	90,15%

Der Erwartungswert von 7 Brettern ergibt sich aus dem Mittelwert einer entsprechenden Zeitreihenanalyse der Schleifmaschine (vgl. Tabelle 39). Mit 7,10 % Wahrscheinlichkeit müssen allerdings 10 Bretter zugleich gekennzeichnet werden und in gut 72 % der Fälle sind es 8 oder weniger, wobei die Werte für 2 und 3 Bretter in der Praxis niedriger liegen als in der Tabelle angegeben. Der Erwartungswert von 7 Brettern entspricht rechnerisch einer durchschnittlichen Brettbreite von 26,4 cm, wobei diese jedoch i.d.R. nicht press liegen und daher der Wert etwas verfälscht ist. Der auf umfangreichen Messwerten basierende interne Durchschnittswert ist mit 25,3 cm angegeben, weshalb mit diesem Wert – aus Vereinfachungsgründen gerundet auf 25 cm – auch im Rahmen des vorliegenden Berichts gerechnet werden soll (vgl. nachfolgende Tabelle 39).

Tabelle 39: Berechnung der durchschnittlichen Brettbreite (verkürzt)

Ermittlung der durchschnittlichen Brettbreite					
Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6
Brettstärke [Viertelzoll]	Länge [Fuß]	Bretter [Stück]	Breitensumme [cm]	Durchschn. Brettbreite [cm] = Spalte 4 / Spalte 3	Durchschn. Bretter je Lage [Stück] = 185 cm / Spalte 5
8	8	547	15567,6	28,5	6,5
8	10	350	10044,1	28,7	6,4
8	11	348	9695,6	27,9	6,6
4	10	2508	63966,2	25,5	7,3
4	11	2434	62080,8	25,5	7,3
4	8	2787	64765,5	23,2	8,0
6	8	577	15131,5	26,2	7,1
8	8	369	10302,8	27,9	6,6
8	10	915	24791,6	27,1	6,8
8	11	309	8206,5	26,6	7,0
4	10	2009	51223,5	25,5	7,3
4	11	1801	44185,4	24,5	7,5
4	8	3029	70606,6	23,3	7,9
6	11	191	5360,5	28,1	6,6
8	8	1168	32057,2	27,4	6,7
			Mittelwert	25,3	7,4

Zur Vereinfachung der Kostenrechnung und auf der Basis der vorherigen Ausführungen sei an dieser Stelle angenommen, dass die Neumarkierung der geschliffenen Bretter ebenfalls im Direktdruckverfahren erfolgt. Um die Anzahl der benötigten Codes an der Schleifstation zu berechnen, muss die Anzahl der Bretter, die täglich dort bearbeitet werden, geschätzt werden. Eine genaue Berechnung ist nicht möglich, da die Leistung der Maschine in der Einheit m^3 je Stunde angegeben wird und daher eine Umrechnung erfolgen muss, die zwar nicht dem tatsächlichen Wert entsprechen kann, aber zur Kalkulation dennoch eine ausreichend fundierte Grundlage liefert.

Tabelle 40: Leistungsdaten der Schleifmaschine

Schleifleistung in Abhängigkeit von der Brettstärke		
Brettstärke [Zoll]	m^3 / h	UE ¹
3/4	25	26,6
4/4	29	31,3
5/4	37	37,7
6/4	45	43,1
7/4	53	50,4
8/4	59	43,5
10/4	76	41,6

¹ UE = unfertiges Erzeugnis

Wie bereits weiter oben erwähnt, sägt das Unternehmen Pollmeier Bretter je nach Bedarf in unterschiedlichen Stärken von $\frac{3}{4}$ bis 10/4 Zoll ein, wobei die gängigste Größe 4/4 Zoll beträgt. Auf eine deterministische Ermittlung der Verteilung – z. B. mit Hilfe eines Chi-Quadrat-Anpassungstests – wurde an dieser Stelle verzichtet, da zum einen alle notwendigen Basisdaten durch die Maschinen automatisch ermittelt und gespeichert werden und zum anderen die geschliffenen Stärken stark von der gegenwärtigen Einstellung der Sägen abhängen. Die Verteilung kann daher vom Betreiber durch die Vorgaben an der Resaw beliebig verzerrt werden, so dass die Maschinendaten eine bessere Grundlage bilden. Aber auch deren Auswertung basiert stets auf den im Betrachtungszeitraum aktiven Einstellungen, so dass immer nur eine Näherungslösung erzielt werden kann.

Auf Basis der durch die Schleifmaschine ermittelten Realdaten kann die durchschnittliche Anzahl der geschliffenen Bretter pro Stunde näherungsweise berechnet werden. Die Grundlage dafür bildet die Aufstellung in Tabelle 41.

Tabelle 41: Ausgewählte Realdaten der Schleifmaschine

Realdaten der Schleifmaschine und Basisberechnungen						
Brettstärke [Viertelzoll]		Länge [Fuß]			Summe	Gewogene mittlere Brettlänge [m]
		8	10	11		
4	Breitensumme [cm]	94.2474,1	57.1172,1	546.414,7	2.060.060,9	2,8
	Bretter [Stück]	41.322	23.919	23.286	88.527	
	Anteil [%]	47	27	26		
	Durchschn. Brettbreite [cm]	22,8	23,9	23,5	23,3	
6	Breitensumme [cm]	301.203,5	171.082	195.556,7	667.842,2	2,9
	Bretter [Stück]	11.347	6.226	7.233	24.806	
	Anteil [%]	46	25	29		
	Durchschn. Brettbreite [cm]	26,5	27,5	27,0	26,9	
8	Breitensumme [cm]	150.424,7	135593,7	105.815,7	391.834,1	2,9
	Bretter [Stück]	5.613	4.845	3.842	14.300	
	Anteil [%]	39	34	27		
	Durchschn. Brettbreite [cm]	26,8	28,0	27,5	27,4	

Folgendes Rechenbeispiel für die Brettstärke 4/4-Zoll soll die Vorgehensweise verdeutlichen:

$$\text{Brettlänge} = (41.322 \text{ Zoll} \cdot 0,47 + 23.919 \text{ Zoll} \cdot 0,27 + 23.286 \text{ Zoll} \cdot 0,26) \cdot 0,3048 \frac{\text{m}}{\text{Zoll}} \approx 2,8 \text{ m}$$

Im nächsten Schritt lässt sich nun die durchschnittliche Brettanzahl pro Stunde bestimmen, indem die Leistung der Maschine auf die behandelten Volumina umgerechnet wird (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42: Berechnung der durchschnittlichen Brettanzahl

Berechnung der Anzahl zu markierender Bretter an der Schleifmaschine							
Brettstärke [Viertelzoll]	Brettstärke [mm]	Leistung [m³/h]	Durchschn. Brettbreite [cm]	Durchschn. Länge [m]	Bretter pro Stunde [Stück]	Bretter pro Sekunde [Stück]	Anteil [%]
4	29	26,8	23,3	2,8	13.966	3,88	42
6	45	36,2	26,9	2,9	10.455	2,90	32
8	59	39,5	27,4	2,9	8.453	2,35	26
-----			-----				
Gewogenes Mittel			25,5		11.431		
Bretter pro Tag (Leistung)					274.344		
Bretter pro Monat (Leistung)					8.230.320		
Bretter pro Monat (real)					1.200.000		

Auch hier soll anhand der Stärke 4/4-Zoll die Rechenweise demonstriert werden:

$$\text{Bretter pro Stunde} = \frac{26,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{29 \text{ mm}}{10.000} \cdot \frac{23,3 \text{ cm}}{100} \cdot 2,8 \text{ m}} \approx 13.966$$

Die Leistung von knapp 4 Brettern pro Sekunde erklärt sich dadurch, dass stets mehrere Bretter zugleich die Maschine durchlaufen. Für die weiteren Betrachtungen wird das gewogene arithmetische Mittel der Brettzahl pro Stunde als Grundlage genommen, da aufgrund der Marktsituation die Bretter mit 4/4-Zoll Stärke den größten Anteil haben. Da im Durchschnitt pro Tag ca. 40.000 Bretter hergestellt werden können, muss mit dieser Obergrenze pro Tag gerechnet werden, um das Lager nicht leerzuziehen. Somit ergeben sich im Durchschnitt 1.200.000 Bretter, die pro Monat markiert werden müssen. Aufgrund der Kennzeichnung im Quertransport wird jedes Brett nur mit einem einzigen Code markiert, so dass sich die folgenden Verbrauchskosten ergeben:

$$0,00006 \text{ €/Code} \cdot 40.000 \text{ Codes} = 2,40 \text{ €/Tag}$$

$$\Rightarrow 2,40 \frac{\text{€}}{\text{Tag}} \cdot 220 \frac{\text{Arbeitstage}}{\text{Jahr}} = 528,00 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} = 44,00 \frac{\text{€}}{\text{Monat}}$$

Zusätzliche Kosten entstehen durch den Stromverbrauch des Druckers in Höhe von 4,84 € pro Monat bei weiterhin angenommenen Kosten von 0,11 €/kWh.

6.3.6.2 Laserapplikation

Neben den bekannten Abschreibungskosten für das Lasersystem in Höhe von 1.666,67 € pro Monat lassen sich die folgenden variablen Kosten berechnen:

Laserleistung 2.000 W \cong 2 kWh

Annahme: 1 Code je Fläche

$$\Rightarrow 40.000 \frac{\text{Codes}}{\text{Tag}} \text{ bei } 0,5 \text{ Sekunden Applikationszeit je Code}$$

$$\Rightarrow \text{Laser ist } 20.000 \frac{\text{s}}{\text{Tag}} = \frac{20.000 \text{ s}}{86.400 \text{ s}} = 23,15 \% \text{ der Zeit im Einsatz}$$

$$\Rightarrow 24 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cdot 0,232 = 5,57 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cong 5,57 \frac{\text{h}}{\text{Tag}} \cdot 220 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \approx 1.225 \frac{\text{h}}{\text{a}} \text{ Betriebszeit}$$

$$\Rightarrow 1.225 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 2 \text{ kWh} \approx 2.450 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \text{ Maximale Leistungsaufnahme}$$

Zusammen mit dem Standby-Verbrauch in Höhe von 528 kWh (Berechnung siehe vorherige Ausführungen zu den anderen Stationen) ergeben sich Kosten von 327,58 € pro Jahr bzw. 27,30 € pro Monat. Die Kapitalwertberechnung für diesen Prozessschritt ist in der folgenden Tabelle 43 wiedergegeben.

Tabelle 43: Kapitalwertberechnung Schleiferei

Kapitalwertberechnung für Tinten- und Laserdruck (Schleiferei)						
Zinssatz	7%		Anschaffung	30.000,00 €	Weitere K.	24.000,00 €
Abschreibungsdauer	5 Jahre					
Tintendruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	54.000,00 €	10.986,08 €	10.986,08 €	10.986,08 €	10.986,08 €	10.986,08 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		17.665,92 €	17.665,92 €	17.665,92 €	17.665,92 €	17.665,92 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		16.510,21 €	15.430,10 €	14.420,65 €	13.477,25 €	12.595,56 €
Kapitalwert	- 54.000,00 €	- 37.489,79 €	- 22.059,70 €	- 7.639,04 €	5.838,20 €	18.433,76 €

Zinssatz	7%		Anschaffung	100.000,00 €	Weitere K.	24.000,00 €
Laserdruck	0	1	2	3	4	5
Kosten	124.000,00 €	24.727,60 €	24.727,60 €	24.727,60 €	24.727,60 €	24.727,60 €
Nutzen		28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €	28.652,00 €
Nutzen ./ . Kosten		3.924,40 €	3.924,40 €	3.924,40 €	3.924,40 €	3.924,40 €
Abzinsungsfaktor		0,935	0,873	0,816	0,763	0,713
Barwert pro Periode		3.667,66 €	3.427,72 €	3.203,48 €	2.993,91 €	2.798,04 €
Kapitalwert	- 124.000,00 €	- 120.332,34 €	- 116.904,61 €	- 113.701,13 €	- 110.707,23 €	- 107.909,19 €

Die Tintentechnologie erreicht bereits nach vier Jahren einen positiven Kapitalwert, während die Lasertechnik keinen ausreichend hohen Barwert je Periode aufweist, so dass der Kapitalwert auch nach fünf Jahren noch stark negativ ist.

6.3.7 Gesamtberechnung für die Sägewerksprozesse

Stellt man die Kapitalwertberechnungen, die in den zurückliegenden Kapiteln durchgeführt wurden, in einer gemeinsamen Übersicht zusammen, so erhält man eine Gesamtaussage über die Kosten-/Nutzenverteilung im Sägewerk (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44: Gesamtkapitalwertberechnung für das Sägewerk

Gesamtkostenberechnung			
Prozess	Kapitalwert nach 5 Perioden		
	RFID	Tinte	Laser
Wareneingang	97.278,46 €		
Nasslager	95.458,42 €		
Kappanlage		30.652,94 €	- 97.788,98 €
Blockbandsäge		- 27.209,65 €	- 637.128,76 €
Resaw		- 18.867,91 €	- 84.629,45 €
Schleiferei		18.433,76 €	- 107.909,19 €
Summe	192.736,88 €	3.009,14 €	- 927.456,38 €

Zu erkennen ist, dass die Lasertechnologie in jedem Prozessschritt einen negativen Kapitalwert aufweist, während der Tintendruck immerhin an drei von fünf Stationen profitabel ist. In der Summe trägt sich die Tintentechnologie selbst – die dem Wareneingang sowie dem Nasslager zugeordneten Einsparungen wurden bereits in die Kapitalwertberechnung einbezogen und dürfen daher nicht mehr mit der Summe verrechnet werden. Insofern steht im Ergebnis fest, dass trotz negativer Kapitalwerte an zwei Einsatzpunkten die Tintentechnologie insgesamt positive Ergebnisse erzielt, während die Lasertechnologie – insbesondere aufgrund der Situation an der Blockbandsäge – lediglich sehr hohe Kosten produziert.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung wurde auf der Basis zweier gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München bearbeiteten Forschungsprojekte erstmalig gezeigt, dass eine durchgehende Kennzeichnung des Holzes vom Zeitpunkt der Fällung bis hin zum lieferfertigen Brett im Sägewerk mit Hilfe unterschiedlicher Markierungs- und Ausleseverfahren technisch möglich und auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Während im Rahmen der Prozesskette bis zum Sägewerk die RFID-Technologie als am besten geeignet erscheint, so bieten sich aus technologischer Sicht im Sägewerk die Verfahren Laserkennzeichnung und Tintendirektdruck an.

Insgesamt kann so eine durchgängige Rückverfolgbarkeit der Holzprodukte sichergestellt werden, und die Beteiligten der Supply Chain erhalten durch die so aufgebaute umfassende und valide Informationsbasis ein wertvolles Werkzeug zur Optimierung ihrer Prozesse. Darüber hinaus wird dem Sägewerksbetreiber die Möglichkeit eröffnet, eine strukturierte und auf Realdaten basierende Ausbeuteanalyse durchzuführen, um beispielsweise die Qualität des Einkaufs weiter verbessern und Lieferantenbewertungen durchsetzen zu können.

Um die zum Teil erheblichen Kosten des vorgestellten Systems tragen zu können, ist dabei eine Aufteilung der Kosten- und Nutzenaspekte auf alle beteiligten Unternehmen der Prozesskette sinnvoll. Dies kann zum Beispiel durch die Einrichtung eines Transponderpools erfolgen, der von allen anteilig genutzt und dadurch finanziert wird. Die Kennzeichnungs- und Identifikationsverfahren im Sägewerk selbst bewirken umfangreiche Einspareffekte, so dass die Investitionen dort allein getragen werden können.

Zur Umsetzung der vorgestellten Lösungen sind allerdings weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich. So existiert zurzeit kein Transponder, der die Anforderungen vollständig erfüllt, so dass auf eigentlich für den Einsatz auf Metallprodukten ausgerichtete Transponder ausgewichen werden musste. Die Integration der Kennzeichnungstechnik in die Prozesse des Sägewerks ist technisch sehr anspruchsvoll und beansprucht die Gerätschaften insbesondere aufgrund der zum Teil sehr starken Vibrationen in hohem Maß. Insofern ist davon auszugehen, dass ohne besondere Berücksichtigung dieser Faktoren eine erfolgreiche Kennzeichnung im Sägewerk aufgrund von hohem Verschleiß nicht dauerhaft möglich ist.

Kann das beschriebene Kennzeichnungs- und Identifikationskonzept unter Berücksichtigung der aufgezeigten, noch bestehenden Problematiken in die Praxis umgesetzt werden, eröffnen sich für die gesamte Branche vielfältige Optimierungs- und Einsparpotenziale, deren Ausnutzung die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen auch im internationalen Konkurrenzkampf wirkungsvoll unterstützen kann.

Grundsätzlich ist bei Kooperationen auf eine Ausgewogenheit der Beziehungen der beteiligten Unternehmen auf einem durch die gewählte Strategie determinierten Balance-Niveau zu achten [89]. Dazu werden fortlaufend Soll-Ist-Abweichungen analysiert und eventuelle Anpassungsbedarfe abgeleitet. Entsprechend der Abweichung der eigenen Leistung und der des Kooperationspartners können unterschiedliche Fälle definiert werden, für die jeweils empfohlene Handlungsanweisungen existieren [89].

Zum Erkennen derartiger Abweichungen sind fortwährende Kontrollen unabdingbar. Innerhalb der Kooperation ist es demnach erforderlich, entsprechende Kontrollstrukturen aufzubauen und diese auch konsequent zu nutzen, etwa im Rahmen von regelmäßigen Audits oder durch die Implementierung von Performance Measurement-Systemen (vgl. [90 S. 60 ff.]; für einen Ansatz zur Integration in die Informationsinfrastruktur vgl. ebd., S. 149 ff.). Der Einsatz von RFID in der Holzerntekette kann derartige Kontrollstrukturen unterstützen, indem die dafür notwendigen Daten automatisiert bereitgestellt werden. Auf diese Weise wird auch der ansonsten als wenig innovativ bekannten Forstbranche als Nebeneffekt ein effizientes Controlling-Instrument zur Verfügung gestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass insbesondere aufgrund der gegenseitigen unternehmensinternen, aber auch zwischenbetrieblichen Abhängigkeiten einzelner Kennzahlen die Nutzenaspekte des RFID-Einsatzes die dafür aufzuwendenden Kosten durchaus überwiegen können – so wirkt sich beispielsweise die durch den RFID-Einsatz verbesserte Termintreue direkt auf die Kundenzufriedenheit aus, was zu einem höheren Ressourcenauslastungsgrad führt, da die Nachfrage steigt. Hohe Termintreue und eine gute Auslastung der Ressourcen beeinflussen positiv den ROI, was wiederum indirekt die Stabilität der Kooperation begünstigt.

Insofern kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Mehrkosten je Festmeter vorwiegend durch qualitative Nutzeneffekte kompensiert werden, die über verschiedene Abhängigkeiten gemeinsam eine Steigerung des ROI bewirken können. Der Einsatz von RFID-Technologie vom Wald bis zum Sägewerk ist somit bei effizienter Nutzung ökonomisch legitimiert.

Darüber hinaus wurde in Kapitel 6.2 ab S. 173 aufgezeigt, dass auch die unternehmensübergreifenden Effekte eine wesentliche Rolle spielen. Die Unternehmen sind aufgrund der systemimmanenten Struktur der Supply Chain direkt voneinander abhängig und somit fast schon zu einer engen Zusammenarbeit gezwungen. Erstmalig konnten diese Effekte durch Anwendung der Netzwerk-Balanced Scorecard als junger Modifikation der ursprünglichen Balanced Scorecard auf spezifische, neu definierte Kennzahlen nachgewiesen werden. Die vorgestellten Kennzahlen erlauben ein dediziertes Controlling und Aufarbeiten der gegenseitigen Einflussnahmen sowie der unternehmensinternen Faktoren, die für die Branche einzigartig sind.

Die für das Sägewerk dargestellten Berechnungen (vgl. Kapitel 6.3 ab S. 210) zeigen, dass der Einsatz von Auto-ID-Verfahren innerhalb des Sägewerks zur Kennzeichnung und Identifikation bis hin zur Brettebene sich auch isoliert betrachtet rechnet, sofern im Gegenzug Einsparungen durch Wegfall von Kontrollen oder durch verbesserte Strukturen im Einkauf erzielt werden können. Insgesamt wird jedoch durch den erzielbaren höheren Absatzpreis ein wesentlicher Anreiz geschaffen, das Bedürfnis nach zusätzlichen Informationen zu erfüllen.

Die vorliegende Arbeit hat erstmalig aufgezeigt, dass es sowohl technisch als auch wirtschaftlich möglich ist, einen durchgängigen Informationsfluss vom Zeitpunkt der Fällung bis hin zum fertigen Brett zu schaffen und damit aufgrund der vielfältigen Interdependenzen für alle Beteiligten messbare Vorteile zu generieren. An einigen Stellen sind jedoch noch Detailfragen offen geblieben, die im Rahmen weiterer Forschungen zu untersuchen sind. Dies betrifft insbesondere das Design eines passenden UHF-Transponders zur Applikation an die gefällten Baumstämme. Dieser sollte idealerweise so ausgelegt sein, dass er einfach zu applizieren und auch wieder zu entfernen ist, und wenn es gelingt, ein Material zu finden, das für spätere Verwertungsprozesse des Sägerestholzes unkritisch ist, kann unter vorausgesetzten passenden Preisstrukturen auf ein Poolsystem ggf. gänzlich verzichtet werden. Darüber hinaus sind geeignete Antennen bzw. Gates zu entwickeln, die den rauen Anforderungen der einzelnen Prozesse bis hin zum Wareneingang des Sägewerks angepasst sind und damit die erforderliche Langlebigkeit aufweisen.

Für eine effiziente Nutzung der Markierungstechnologien innerhalb des Sägewerks sind betriebsspezifische Parameter zu definieren, die einen kostengünstigen und langlebigen Einsatz der Gerätschaften erlauben. Dies betrifft insbesondere die Festlegung der Anzahl von Markierungen auf Stirnseiten und Bretter, aber auch die Wahl der Wartungsintervalle und Installationspunkte – speziell die Markierung und Auslesung an der Blockbandsäge ist technisch sehr aufwendig.

Ökonomisch gesehen ist der durchgängige Einsatz von Tintendirektdruck-Verfahren tragfähig, da die erzielbaren Einsparungen die Kosten in der Summe übertreffen. Für die technologische Integration und softwareseitige Umsetzung sind unternehmensspezifische Maßnahmen erforderlich, die allgemein nicht abgehandelt werden können. Es wurde jedoch auf im Rahmen der durchgeführten Tests erkannte Problematiken und entsprechende Lösungsvorschläge hingewiesen.

Insgesamt bietet die vorliegende Arbeit die Grundlage zur prozesstechnischen Umsetzung eines durchgängigen Kennzeichnungssystems von der Fällung bis zum fertigen Brett und vielfältige Anreize zu weiteren Forschungsarbeiten.

Literaturverzeichnis

1. **Cambium Forstbetriebe.** [Online] <http://cambium-forstbetriebe.de/cambium/system/page.php>.
2. **Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.** Umweltbericht NRW 2006. [Online] 2006. http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/ub06_kapitel/kapitel_7.pdf.
3. **Bodelschwingh, E. von, Bauer, J. und Warkotsch, W.** Impulse für die Mobilisierung von Rundholz im Kleinprivatwald. *AFZ - DerWald*. 2005, Bd. 60, 18, S. 955-958.
4. **Ripken, X.** Vom Baum zum Werk - wer soll die Logistik bewältigen? *Forst und Holz*. 2001, Bd. 56. Jahrgang, S. 628-631.
5. **Bodelschwingh, E. von.** *Rundholztransport-Logistik - Situationsanalyse und Einsparpotenziale*. 2001. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München.
6. **VDS.** *Jahresbericht 2004/2005*. s.l. : Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie, 2005.
7. **Sägewerk & Hobbelwerk H. Jäck.** [Online] 17. 09 2008. http://www.saegewerk-jaeck.de/?Presse-Spiegel/Krise_in_den_USA_bedroht_Saegewerke.
8. **Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.** Umweltbericht des Landes Schleswig-Holstein. [Online] 2006. <http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/servlet/is/23872/holzmarkt.htm>.
9. **Funk, M.** *Strategien des Forstbetriebes zur wertschöpfungssteigernden Prozeßoptimierung in der Holzbereitstellung*. 1999. Vortrag zum Winterkolloquium Forst und Holz der Universität Freiburg.
10. **Parviainen, Jari.** Wälder und Waldbewirtschaftung in Finnland. [Online] April 2002. <http://virtual.finland.fi/netcomm/news/showarticle.asp?intNWSAID=25853&intSubArtID=14337>.
11. **Leinert, S.** *Voraussetzung für die Mobilisierung der erforderlichen Angebotsmenge zur Belieferung eines großen Sulfatzellstoffwerkes in Nordostdeutschland - Beurteilung von Logistikketten*. 1998. Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds.

12. **Bodelschwingh, E. von.** *Analyse der Rundholzlogistik in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management.* 2005. Dissertation am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München.
13. **Korten, S. und Schneider, J.** *Reorganisation der Informations- und Warenflussprozesse in der Holzerntekette mit Hilfe der Transpondertechnologie.* Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München; Fachgebiet Logistik der TU Dortmund. Dortmund, München : s.n., 2006. Endbericht zum AiF-Projekt Nr. 14186.
14. **Kaul, C. und Schneider, J.** *Einsatz von Auto-ID-Systemen in der Holzerntekette vom Rundholz bis zum Schnittholz zur Sicherung der Rückverfolgbarkeit und Kontrolle des Materialflusses.* Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München; Fachgebiet Logistik der TU Dortmund. München, Dortmund : s.n., 2009. Endbericht zum Forschungsvorhaben AiF Nr. 15247.
15. **Interforst.** [Online] <http://www.interforst.at>.
16. **Lamers, Marinus C., Dr., 79104 Freiburg, DE.** *Identifikation und/oder Kennzeichnung von Holz.* DE102004029252A1 DE, 12. 01 2006.
17. **MiCROTEC s.r.l. GmbH.** MiCTROTEC - Innovating the Wood. [Online] [Zitat vom: 14. 02 2009.] <http://www.microtec.eu/valueshop/microtec.asp?GrpID=C:147695>.
18. **ISO/IEC 18000-1.** *Informationstechnik; Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses; Teil 1: Referenz - Architektur und Definition der zu standardisierenden Parameter.* Berlin : Beuth Verlag, 2008.
19. **Finkenzeller, K.** *RFID-Handbuch, Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten.* 3. Auflage. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 2002.
20. **ISO/IEC 18000-2.** *Informationstechnik - Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses - Teil 2: Parameter für die Kommunikation auf Frequenzen unterhalb 135 kHz.* Berlin : Beuth Verlag, 2009.
21. **ISO/IEC 18000-3.** *Informationstechnik - Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses - Teil 3: Parameter für die Kommunikation auf der Frequenz von 13,56 MHz.* Berlin : Beuth-Verlag, 2008.

22. **ISO/IEC 18000-7.** *Informationstechnik - Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses - Teil 7: Parameter für die Kommunikation über aktive Luftschnittstelle auf der Frequenz von 433 MHz.* Berlin : Beuth-Verlag, 2009.
23. **ISO/IEC 18000-6.** *Informationstechnik; AIDC - Techniken; Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses; Luftschnittstelle; Teil 6: Parameter für die Kommunikation auf Frequenzen von 860 - 930 MHz.* Berlin : Beuth Verlag, 2004.
24. **ISO/IEC 18000-4.** *Informationstechnik - Identifizierung von Waren mittels Hochfrequenz (RFID) für das Management des Warenflusses - Teil 4: Parameter für die Kommunikation auf der Frequenz von 2,45 GHz.* Berlin : Beuth Verlag, 2008.
25. **High Tech Aid.** ISO/IEC 18000 - RFID Air Interface Standards. [Online] 02. 03 2006. <http://www.hightechaid.com/standards/18000.htm>.
26. **DFKI.** Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz. [Online] 2006. [Zitat vom: 07. 07 2009.] http://www.dfki.de/web/presse/pressemitteilungen_intern/2006/prof-wolfgang-wahlster-laudatio-hermes-award-2006.
27. **Jansen, R. und Schneider, J.** RFID aus Sicht der Forschung. *Allgemeine Papierrundschau.* 2006, 03/2006, S. 19-20.
28. **Korten, S.** *Einsatz der RFID-Technologie in der Forstlogistik.* 2006. GVB-Tagung Mai 2006.
29. **Meshed Systems.** [Online] <http://www.meshedsystems.com>.
30. **Schreiner LogiData.** Produktinformation ((rfid))-Plasto-Label. [Online] [Zitat vom: 06. 07 2008.] http://schreiner-logidata.de/fileadmin/downloads/LogiData_PI/rfid-Plasto_Label_d.pdf.
31. **Pregla, R.** *Grundlagen der Elektrotechnik.* 8. Auflage. s.l. : Hüthig, 2009.
32. **METRO AG.** Metro Group Future Store Initiative. [Online] <http://www.future-store.org>.
33. **EPCglobal.** EPCglobal Tag Data Standards Version 1.4. [Online] 11. 06 2008. http://www.epcglobalinc.org/standards/tds/tds_1_4-standard-20080611.pdf.

34. **OEVE/OENORM EN 302208-1.** *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM) - Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W - Part 1: Technical requirements and methods of measurement (ETSI EN 302208-1).* Berlin : Beuth Verlag, 2008.
35. **OEVE/OENORM EN 302208-2.** *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM) - Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W - Part 2 (ETSI EN 302208-2).* Berlin : Beuth Verlag, 2008.
36. **EPCglobal.** EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz Version 1.2.0. [Online] 23. 10 2008. http://www.epcglobalinc.org/standards/uhfc1g2/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf.
37. **ISO/IEC 15417.** *Informationstechnik - Verfahren der automatischen Identifikation und Datenerfassung - Spezifikationen für Strichcode-Symbologien; Code 128.* Berlin : Beuth Verlag, 2007.
38. **ISO/IEC 16390.** *Informationstechnik - Verfahren der automatischen Identifikation und Datenerfassung - Spezifikationen für Strichcode-Symbologien - Interleaved 2 of 5.* Berlin : Beuth Verlag, 2007.
39. **Active Barcode.** Active Barcode. [Online] [Zitat vom: 10. 04 2009.] <http://www.activebarcode.de/codes/code25.html>.
40. **Wikipedia.** [Online] <http://www.wikipedia.de>.
41. **ISO 1073-1.** *Alphanumerische Zeichengruppe für optische Ablesung; Teil 1: Zeichengruppe OCR-A; Formen und Abmessungen des Druckbildes.* Berlin : Beuth Verlag, 1976.
42. **ISO 1073-2.** *Alphanumerische Zeichengruppe für optische Ablesung; Teil 2: Zeichengruppe OCR-B; Formen und Abmessungen des Druckbildes.* Berlin : Beuth Verlag, 1976.
43. **DIN 66225.** *Schrift H für die maschinelle optische Zeichenerkennung; Zeichen, Schreibregeln und Maße.* Berlin : Beuth Verlag, 1979.
44. **Wikipedia.** [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_ink_character_recognition.
45. **ISO/IEC 16022.** *Informationstechnik - Internationale Symbologie-Spezifizierung - Daten-Matrix.* Berlin : Beuth Verlag, 2006. NB: Technical Corrigendum 1, Oktober 2008.

46. **DIN EN 9132.** *Luft- und Raumfahrt - Qualitätsmanagementsysteme - Data Matrix Qualitätsanforderungen für Teilemarkierung; Deutsche und Englische Fassung EN 9132:2006.* Berlin : Beuth Verlag, 2008.
47. **Denso Wave Inc.** QR-Code Standardization. [Online] 2003. <http://www.denso-wave.com/qrcode/qstandard-e.html>.
48. **Dykstra, D.P., Kuru, G. und Nussbaum, R.** Tools and Methodologies for Independent Verification and Monitoring. *International Forestry Review.* 2003, Bd. 5, 3, S. 262-267.
49. **Microtrace Solutions.** Die originale Taggant-Technologie. [Online] o. J. [Zitat vom: 28. 04 2009.] <http://www.microtracesolutions.de/microtaggant.htm>.
50. **Stora Enso Kabel GmbH & Co. KG.** Hagen Online. *Nasslager am Hengsteysee wird schnellstmöglich eingerichtet.* [Online] 10. 05 2007. http://www.hagen-online.de/index.php?id=484&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4413&tx_ttnews%5BbackPid%5D=483&cHash=111b093d95.
51. **Trübswetter, T.** *Holztrocknung. Verfahren zur Trocknung von Schnittholz - Planung von Trocknungsanlagen.* München Wien : Carl Hanser Verlag, 2006.
52. **Indisputable_Key.** Indisputable Key. [Online] 2009. [Zitat vom: 28. 04 2009.] <http://www.indisputablekey.com>.
53. **Pohl, D.** *Überprüfung zur Verwendung von Klebeetiketten bei Schnittholz.* Dortmund, Creuzburg, 06 2008. Telefonisches Interview.
54. **Dargahi, K.** RFID im industriellen Umfeld wird erst durch geeignete RFID-Datenträger möglich. *ident.* 2009, 1, S. 19.
55. **Uusijärvi, Richard.** *Linking raw material characteristics with Industrial Needs for Environmentally Sustainable and Efficient Transformation processes (LINESET).* Stockholm : s.n., 2003.
56. **RAL gemeinnützige GmbH.** [Online] [Zitat vom: 05. 10 2008.] <http://www.ral-farben.de>.
57. **DIN 5033 - 2.** *Farbmessung; Normvalenz-Systeme.* Berlin : Beuth Verlag, 1992.
58. **ISO 12647.** *Druck- und Reproduktionstechnik - Prozesskontrolle für die Herstellung von gerasterten Farbauszügen, Prüfdrucken sowie An- und Auflagendruck, Teil 1-7.* Berlin : Beuth Verlag, 2001-2007.

59. **DIN ISO 13655.** *Graphische Technik - Spektrale Messung und farbmétrische Berechnung für graphische Objekte (ISO 13655:1996).* Berlin : Beuth Verlag, 2000.
60. **Videojet Technologies GmbH.** Videojet. [Online] [Zitat vom: 02. 04 2008.]
<http://www.videojet.eu>.
61. **Accu-Sort/Europe GmbH.** [Online] [Zitat vom: 02. 04 2008.]
<http://www.accusort.com/>.
62. **Holzabsatzfonds, Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft.** *www.infoholz.de.* [Online] [Zitat vom: 09. 10 2008.]
<http://eldat.infoholz.de>.
63. **VDI 4472 - 4.** *Anforderungen an Transpondersystemen (RFID) zum Einsatz in der Supply Chain - Kosten-Nutzenbewertung von RFID-Systemen in der Logistik.* Berlin : Beuth-Verlag, 2009.
64. **Meyer-Schönherr, M.** *Szenario-Technik als Instrument der strategischen Planung.* 1992.
65. **Kaplan, S. und Norton, P.** *Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen.* 1997.
66. **Rughase, O. G.** *Jenseits der Balanced Scorecard: Strategische Wettbewerbsvorteile messen.* 1999.
67. **Stüllenberg, F. und Schulze im Hove, A.** *Die Netzwerk-Balanced Scorecard als Instrument des Netzwerk-Controlling.* 2003. ISSN 1612-1376.
68. **Stüllenberg, F.** *Konzeption eines modularen Kooperationscontrolling.* Diss. TU Dortmund : s.n., 2005.
69. **Sonnek, A.** *Verhaltensorientierte Steuerung logistischer Netzwerke - Eine konzeptionell-theoretische Analyse.* Diss. TU Dortmund : s.n., 2005.
70. **Siepermann, C. und Vockeroth, J.** *Gestaltungsansätze einer Netzwerk-Balanced Scorecard.* [Buchverf.] J. Becker, R. Knackstedt und D. Pfeiffer. *Wertschöpfungsnetzwerke. Konzepte für das Netzwerkmanagement und Potenziale aktueller Informationstechnologien.* Heidelberg : Physica Verlag, 2007, S. 109-132.
71. **Friedl, K., Kanzian, C. und Stampfer, K.** *Netzwerk Holz. Endbericht.* ohne Ort : Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, 2004.

72. **Stüllenberg, F., Schulze im Hove, A. und Weidt, S.** *Inhaltliche Ausgestaltung der Netzwerk-Balanced Scorecard für Beschaffungsketten*. Dortmund : s.n., 2004. ISSN 1612-1376.
73. **Gudehus, T.** *Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. 3. Auflage. Berlin-Heidelberg : Springer, 2005.
74. **Baumgarten, H.** *Trends und Strategien der Logistik 2000, Analysen-Potentiale-Perspektiven*. s.l. : TU Berlin, Bereich Logistik, 1996.
75. **Weber, J.** *Logistikkostenrechnung, Kosten-, Leistungs- und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik*. Berlin-Heidelberg-New York : Springer, 2002.
76. **Seidenschwarz & Comp. GmbH.** [Online] o. J. [Zitat vom: 08. 05 2009.]
http://www.sas.com/offices/europe/germany/download/files/solutions/SAS_ABM_Logistik.pdf.
77. **Götze, U.** *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*. Wiesbaden : s.n., 1993. zugl. Diss. Universität Göttingen 1990.
78. **Brewer, P. und Speh, T.** Using the Balanced Scorecard to Measure Supply Chain Performance. *Journal of Business Logistics*. 2000, Bd. 21 (2000), 1, S. 75-93.
79. **Virtual Round Table RFID.** [Online] o. J. [Zitat vom: 08. 05 2009.]
<http://www.competence-site.de/handel.nsf/News/EC326617A901659AC12570AB004A3A0D>.
80. **Höckels, A.** Möglichkeiten der Absicherung von Humankapitalinvestitionen zur Vermeidung unerwünschter Mitarbeiterfluktuation. *Arbeitspapiere des Instituts für Genossenschaftswesen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*. November 2000, Nr. 20.
81. **Knaese, B. und Probst, G.** Wissensorientiertes Management der Mitarbeiterfluktuation. *Zeitschrift für Organisation zfo*. 70. Jg., 2001, Heft 1, S. 35-41.
82. **Lee, H.L., Padmanabhan, V. und Whang, S.** Information Distortion in a Supply Chain. *Management Science*. Dezember 2004, Bd. 50, 12 Supplement, S. 1875-1886.
83. **Friedl, K., Kanzian, C. und Stampfer, K.** *Netzwerk Holz. Endbericht*. ohne Ort : Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, 2004.
84. **Giordano, A.** *Konzeption einer Netzwerk-Balanced Scorecard für Beschaffungsketten*. Dortmund : s.n., 2003. Diplomarbeit an der TU Dortmund.

85. **Flückiger, S.** Ein Weg zur gewinnbringenden Waldwirtschaft. Generalunternehmungen. *Wald und Holz*. 2002, 04, S. 43-45.
86. **Oswald, K., et al.** Verbesserung von organisatorischen Strukturen und betrieblichen Abläufen in der Holzproduktion. [Online] 06 2003.
http://www.waldwissen.net/themen/betriebsfuehrung/oragisation_personal/wsl_reorganisation_bucheggberg_originalversion.pdf.
87. **Marek, C.** *RFID - Kosten und Nutzen. Eine wirtschaftliche Analyse*. Saarbrücken : VDM Verlag Dr. Müller e. K. und Lizenzgeber, 2007.
88. **Holzmann, M., Föllner, J. und Sauter, H-U.** Tags verfolgen Bäume – RFID Technologie in der Chain of Custody der Forst- und Holzwirtschaft. "Vortragsfolien Workshop Holzlogistik" - 22. Juni 2006 - Im Rahmen der 9. IFF Wissenschaftstage im Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung. 2006.
89. **Bischof, J.** Die Balanced Scorecard als Instrument einer modernen Controlling-Konzeption. *Schriftenreihe für Controlling und Unternehmensführung*. Edition Österreichisches Controller-Institut, zugl. Diss. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, 2002.
90. **Wiese, J.** *Implementierung der Balanced Scorecard: Grundlagen und IT-Fachkonzept*. Nachdruck Juli 2001, zugl. Diss. Universität Münster 1999. Wiesbaden : s.n., 2000.

Versicherung der Eigenerstellung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Herdecke/Dortmund, den 01.12.2009

Unterschrift:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Schneider', is written over a horizontal line. The signature is cursive and somewhat stylized.