

Reorganisation der Informations- und Warenflussprozesse in der Holzerntekette mit Hilfe der Transpondertechnologie

AiF-Projekt Nr. 14186

Bearbeitungszeitraum:
01.09.2004 – 30.06.2006

Schlussbericht

Forschungsstelle 1: Dr. Sven Korten, Technische Universität München
Forschungsstelle 2: Dipl.-Kfm. Jochen Schneider, Universität Dortmund

Vorwort

Im Verlauf dieses vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) geförderten Projektes hat die radiofrequente Identifikation (RFID) zunehmend an Bedeutung gewonnen und wird in immer mehr logistischen und nicht-logistischen Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Auch die Holzerntekette stellt einen viel versprechenden Einsatzfall für RFID dar, denn kaum eine Branche bietet ein derartiges Entwicklungspotenzial bei ähnlich gelagerten Strukturen.

Das vorliegende Projekt ging dabei weiter als andere Projekte, die sich zeitgleich mit dem RFID-Einsatz in der Holzerntekette beschäftigten, weil es zugleich die motormanuelle und die hochmechanisierte Kette betrachtete und für beide Fälle nach tragfähigen Lösungen suchte. Es konnte gezeigt werden, dass für eine erfolgreiche Nutzung automatischer Identifikationsverfahren in der Holzlogistik eine intensive Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen zwingend erforderlich ist. Aus der Erfahrung mit den am Projekt beteiligten Unternehmen kann gesagt werden, dass die Bereitschaft dazu grundsätzlich vorhanden ist. Die Ergebnisse des Projektes sind zwar nicht als abschließend zu sehen, jedoch wurden wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die Potenziale des RFID-Einsatzes in der Holzlogistik gewonnen.

Auf besonders großes Interesse stieß die im Projekt entwickelte Transponder-Applikationsvorrichtung für Harvesteraggregate, die auf der Fachmesse Interforst 2006 mit der Innovationsmedaille des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) ausgezeichnet wurde. Eine Kopie der Urkunde ist diesem Bericht beigelegt (siehe Anhang B). Das Gerät wird in Kapitel 4.4.2.1 beschrieben und ermöglicht die vollautomatische Anbringung von Transpondern während der Aufarbeitung. Ohne die intensive Unterstützung durch die am Projekt beteiligten Unternehmen wäre eine derartige Entwicklung im Zeit- und Kostenrahmen des Projektes kaum möglich gewesen, weswegen unser besonderer Dank Herrn Ralf Dreeke von der Firma Wahlers Forsttechnik GmbH und Herrn Michael Siller von den Holzwerken Pröbstl GmbH gilt. Großer Dank gebührt daneben dem gesamten projektbegleitenden Ausschuss, der die Projektleitung stets umfangreich unterstützt hat und zahllose Ideen und Anregungen beisteuerte.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Zusammenfassung.....	1
2 Einleitung.....	2
2.1 Die Struktur der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland.....	2
2.2 Die Prozesskette vom Wald zum Werk.....	5
2.2.1 Fällung und Aufarbeitung.....	5
2.2.2 Rückung.....	6
2.2.3 Vermessung durch den Waldbesitzer und Übergabe.....	6
2.2.4 Transport ins Werk und Lagerung.....	7
2.2.5 Vermessung und Einschnitt.....	7
2.3 Probleme innerhalb der Holzerntekette.....	8
3 RFID - ein Überblick.....	10
3.1 Allgemeines.....	10
3.2 Unterscheidungsmerkmale von Transpondersystemen.....	10
3.2.1 Frequenzbereiche.....	10
3.2.2 Energieversorgung.....	12
3.2.3 Speicher.....	12
3.3 Bauformen.....	13
3.3.1 Verbreitet eingesetzte Bauformen.....	13
3.3.2 Sonderbauformen.....	16
3.4 Vergleich von RFID mit anderen Auto-ID-Technologien.....	17

4	Einsatz der Transpondertechnologie in der Holzerntekette	20
4.1	Anforderungen	20
4.1.1	Allgemeine Anforderungen	20
4.1.2	Anforderungen in der motormanuellen Holzerntekette	21
4.1.3	Anforderungen in der hochmechanisierten Holzerntekette	26
4.1.4	Anforderungen im Sägewerk	30
4.2	Prüfung ausgewählter Transponder	33
4.2.1	Langzeitversuche.....	33
4.2.2	Belastungsversuche	38
4.2.3	Schlussfolgerungen	53
4.3	Datenhaltungs- und Datenübertragungskonzept.....	54
4.3.1	Datenbank	54
4.3.2	Datenübermittlung und Datenspeicherung	62
4.3.3	Zusammenfassung: Datenhaltung und Datenübertragung	74
4.4	Prototypische Anwendung.....	75
4.4.1	Motormanuelle Holzerntekette.....	75
4.4.2	Hochmechanisierte Holzerntekette.....	81
4.4.3	Sägewerk.....	100
5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	105
5.1.1	Kostenseite	105
5.1.2	Beispielhafte Berechnung der Kosten.....	113
5.1.3	Nutzenseite.....	119
5.1.4	Rentabilitätsanalyse.....	124
6	Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....	138

Inhaltsverzeichnis

7	Schlussbetrachtungen.....	139
7.1	Transpondersysteme.....	139
7.2	RFID-Einsatz in der Holzerntekette.....	140
7.3	Kosten und Nutzen.....	141
8	Veröffentlichungen und Vorträge.....	143
8.1	Bisherige Veröffentlichungen	143
8.2	Geplante Veröffentlichungen.....	143
8.3	Vorträge	143
9	Literaturverzeichnis	144
	Anhang A – Datenbank-Tabellen.....	148
	Anhang B – Urkunde Innovationspreis	151

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Coin- und Disk-Transponder.....	14
Abbildung 2: Transponder in Glaskapsel- und Schlüsselanhängerform	14
Abbildung 3: ISO-Karten und Smart Label (Beispiele).....	15
Abbildung 4: Nageltransponder (Quelle: Sokymat).....	16
Abbildung 5: Holz-Plättchen	17
Abbildung 6: Einfluss von Materialien auf die Lesereichweite im HF-Bereich (Quelle: Eigene Darstellung)	18
Abbildung 7: Waldarbeiter mit Ausrüstung.....	22
Abbildung 8: Seilschlepper bei der Rückung	23
Abbildung 9: Langholz-LKW	24
Abbildung 10: Harvester bei der Aufarbeitung	26
Abbildung 11: Forwarder beim Aufladen des Holzes	28
Abbildung 12: Kurzholz-LKW bei der Beladung.....	29
Abbildung 13: Geschlossene Entrindungsmesser	32
Abbildung 14: Langzeitversuch der TU München in Freising.....	34
Abbildung 15: Langzeitversuch auf dem Freigelände des LogIDLab [®] in Dortmund	36
Abbildung 16: Beschädigungen der Transponder durch Witterungseinflüsse.....	36
Abbildung 17: Versuchsaufbau Eindrückttests Nageltransponder im LogIDLab [®]	39
Abbildung 18: Messung der Holzfeuchtigkeit im LogIDLab [®]	40
Abbildung 19: Applikationsdiagramm Fichte: Kernholz.....	42
Abbildung 20: Applikationsdiagramm Fichte: Splintholz	42
Abbildung 21: Applikationsdiagramm Fichte: Rinde	43
Abbildung 22: Applikationsdiagramm Kiefer: Kernholz	44
Abbildung 23: Applikationsdiagramm Kiefer: Splintholz.....	44
Abbildung 24: Applikationsdiagramm Kiefer: Rinde.....	45
Abbildung 25: Applikationsdiagramm Eiche: Kernholz.....	46
Abbildung 26: Applikationsdiagramm Eiche: Splintholz	46
Abbildung 27: Applikationsdiagramm Eiche: Rinde	47

Abbildung 28: Applikationsdiagramm Buche: Kernholz	47
Abbildung 29: Applikationsdiagramm Buche: Splintholz	48
Abbildung 30: Applikationsdiagramm Buche: Rinde	48
Abbildung 31: Box-Plot des Kraftaufwands in Abhängigkeit von der Baumart.....	49
Abbildung 32: Streudiagramm des Kraftaufwands in Abhängigkeit von der Holzfeuchte	50
Abbildung 33: 13,56 MHz-Klebeetikett Typ Plasto-Label nach einem Testdurchlauf.....	51
Abbildung 34: Versuchsaufbau für den Belastungsversuch Plasto-Label im LogIDLab®	52
Abbildung 35: Beziehungen zwischen den Tabellen.....	59
Abbildung 36: Einsatz der Java Beans	64
Abbildung 37: Motormanuelle Holzerntekette	75
Abbildung 38: Manuelle Auslesung der Transponder im Zuge der Holzaufnahme	78
Abbildung 39: Manuelle Auslesung der Transponder am Polter mit MDE-Gerät	79
Abbildung 40: Langholzpolter	80
Abbildung 41: Beladener Langholz-LKW	81
Abbildung 42: Hochmechanisierte Holzerntekette im Überblick	82
Abbildung 43: Applikationsgerät im Holzmodell, aufgebaut im LogIDLab®	85
Abbildung 44: CAD-Modell der Applikationsvorrichtung mit und ohne Verkleidung.....	86
Abbildung 45: Nummeriertes CAD-Modell der Applikationsvorrichtung	87
Abbildung 46: Applikationsvorrichtung am Harvesteraggregat	88
Abbildung 47: Arbeitssequenz der Applikationsvorrichtung	89
Abbildung 48: Versuchsobjekt Stirngatter.....	92
Abbildung 49: 125 kHz (links) und 13,56 MHz (rechts) Antenne an der Außenseite des Stirngatters	93
Abbildung 50: Forwarder mit außen am Stirngatter befestigter HF-Ausleseantenne.....	96
Abbildung 51: Forwarder mit seitlich außen an den Rungen befestigter HF-Ausleseantenne	97
Abbildung 52: Kurzholz-LKW mit seitlich an den Rungen befestigter HF-Ausleseantenne	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 53: Auslesevorgang bei der Beladung des Rundholz-LKWs.....	99
Abbildung 54: Seitlich (links) und stirnseitig (rechts) angebrachte HF-Transponderkarten.....	101
Abbildung 55: HF-Ausleseantenne vor der Entrindungsanlage	101
Abbildung 56: Langholz mit angebrachten Transpondern	103
Abbildung 57: Ausleseantenne am Stammschieber (1) nach der Entrindung (2) und vor der Kappsäge (3)	103
Abbildung 58: Perspektiven der Netzwerk-Balanced Scorecard.....	125
Abbildung 59: Beispiele für Ursache-Wirkungs-Ketten (Quelle: Schulze im Hove/Stüllenberg 2003, S. 23)	136
Abbildung 60: Datenstruktur	148
Abbildung 61: Tabellenstruktur (1).....	149
Abbildung 62: Tabellenstruktur (2).....	150
Abbildung 63: Urkunde Innovationspreis	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Transponder im Langzeitversuch in Freising	33
Tabelle 2: Anzahl bei der Applikation zerstörter Nageltransponder	34
Tabelle 3: Transponder im Langzeitversuch in Dortmund	35
Tabelle 4: Testergebnisse Langzeitversuche Dortmund (Auszug)	38
Tabelle 5: Untersuchte Transponder in den Belastungsversuchen	38
Tabelle 6: Datenerhebungspunkte und zugehörige ELDAT-Satzarten	55
Tabelle 7: ELDAT-Satzarten und zugehörige Datenbanktabellen	58
Tabelle 8: ELDAT-Referenztabellen und zugehörige Datenbanktabellen.....	60
Tabelle 9: Zusammensetzung der MobileForst-Schnittstelle und Relevanz	68
Tabelle 10: Untersuchte Transpondertypen in der motormanuellen Holzerntekette	76
Tabelle 11: Zeitbedarf für Applikation und Auslesung der Nageltransponder	78
Tabelle 12: Legende zum CAD-Modell der Applikationsvorrichtung.....	87
Tabelle 13: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, Antenne 400x400mm)	94
Tabelle 14: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, Antenne 350x1350mm)	94
Tabelle 15: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter	95
Tabelle 16: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter	95
Tabelle 17: Untersuchte Transponder bei der automatischen Auslesung nach der Entrindung.....	102
Tabelle 18: Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Annahmen)	114
Tabelle 19: Szenario-Betrachtung in der motormanuellen Holzerntekette (Berechnungen)	115
Tabelle 20: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Annahmen)	116
Tabelle 21: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Berechnungen)	118

Abkürzungsverzeichnis

BHD	Brusthöhendurchmesser
BS	Balanced Scorecard
CoC	Chain of Custody
EPC	Electronic Product Code
HF	High Frequency
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologie
LF	Low Frequency
MAS	Maschinenarbeitsstunde
MDE	Mobile Datenerfassung
NBS	Netzwerk-Balanced Scorecard
PDA	Personal Digital Assistant
RFID	Radio Frequency Identification
ROI	Return On Investment
SHF	Super High Frequency
TAP	Technische Arbeitsproduktivität
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WORM	Write Once Read Multiple

1 Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt hatte zum Ziel, die technische und logistische Umsetzbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes der RFID-Technologie in der Holzerntekette zu untersuchen. Für die **hochmechanisierte Holzerntekette** wurde ein Applikationsgerät für Harvester entwickelt, das in der Lage ist, ISO-Karten automatisch an jeden Holzabschnitt seitlich anzuheften. Diese HF-Transponder wurden in weiteren Schritten durch fest installierte Antennen (Forwarder, LKW, Sägewerk) ausgelesen, wodurch ein durchgängiger Informationsfluss sowie eine Kontrolle des Materialflusses erreicht wurden. In der **motormanuellen Holzerntekette** boten sich mehr Bauformen an, allerdings wurde auch hier der Fokus aufgrund der besseren Performance auf den HF-Bereich gelegt. LF-Nageltransponder haben zwar aufgrund der einfachen Applizierbarkeit und dauerhaften Integration in den Stamm Vorteile, besitzen jedoch eine geringe Lesereichweite. Da die Transponder in der motormanuellen Kette von Hand angebracht und mit Handlesegeräten ausgelesen werden, ist die Bauform aber prinzipiell frei wählbar. Im Rahmen der abschließenden **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** konnten Mehrkosten von derzeit 1,5 €/fm bei motormanueller und fast 4,5 €/fm bei hochmechanisierter Holzernte festgestellt werden, denen ein nur teilweise bilanzierbarer Nutzen im Bereich von schätzungsweise 3 bis 10 € entgegensteht. Folgender wirtschaftlicher **Einsatzbereich für RFID** in der Holzerntekette lässt sich derzeit ableiten:

- Langholz ist im Vergleich mit Kurzholz als günstiger zu beurteilen, da aufgrund der höheren Stückmasse die variablen Transponderkosten weniger ins Gewicht fallen.
- Laubholz ist gegenüber Nadelholz aufgrund seines höheren Wertes vorzuziehen. Beim Einsatz in Massensortimenten erscheint derzeit die Wirtschaftlichkeit fraglich.
- Die manuelle Applikation der Transponder erscheint derzeit besser umsetzbar. Für eine automatische Applikation ist eine Integration der Applikationsvorrichtung in das Harvesteraggregat notwendig. Es zeigte sich, dass das sehr begrenzte Platzangebot im Gehäuse des Aggregates die Entwicklung spezieller Aggregate bedingt. Auch erscheint die Entwicklung einer speziellen Transponderbauform unumgänglich.
- Der Einsatz von RFID im geschlossenen System (Mehrwegsystem) ist wirtschaftlich sinnvoll. Hierdurch wird das Problem der Entsorgung ebenfalls gelöst.

Die Ziele des Vorhabens wurden erreicht.

2 Einleitung

2.1 Die Struktur der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland

Die Situation der Forst- und Holzbranche hat sich in den letzten Jahren grundlegend geändert. Dies zeigt sich in der Abkehr vom Verkäufermarkt, bei dem sowohl Angebotsmenge und Lieferzeitpunkt als auch in besonderem Umfang der Rundholzpreis vom Forstbetrieb bestimmt wurden. In dem inzwischen etablierten Käufermarkt, welcher sich konsequent an den Anforderungen der Kunden orientiert, werden dagegen ein möglichst bedarfsgerechter Materialfluss und ein durchgehender Informationsfluss verlangt. Kriterien wie Termintreue, minimale Durchlaufzeiten, erhöhte Flexibilität und niedrige Lagerbestände gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung. Dies bedingt wiederum eine deutliche Intensivierung der Koordination und Kommunikation zwischen den beteiligten Partnern, wodurch die Disziplin der Logistik innerhalb der so genannten „Holzerntekette“ eine zentrale Stellung einnimmt. Obligatorisch ist der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK).

In Skandinavien haben große Konzerne (z. B. Stora Enso, SCA oder UPM Kymmene) die Möglichkeit, alle Prozessschritte vom Wald bis ins Werk betriebsintern zu planen und zu koordinieren. Durch die Funktionalisierung bedeutsamer Unternehmensbereiche sowie den konsequenten Einsatz modernster Informations- und Kommunikationstechnologie werden Durchlaufzeiten von wenigen Tagen realisiert. In so genannten integrierten Betrieben mit gleichzeitiger Produktion von Schnittholz und Papier (Zellstoff) wird der Holzeinschlag mit firmeneigenen Ernte- und Transportkapazitäten durchgeführt, wodurch Prozessoptimierungen wesentlich erleichtert werden.

Die Holzerntekette in Deutschland setzt sich dagegen in allen Branchen überwiegend aus kleinen und mittleren Unternehmen zusammen. Große Konzerne, die vom Waldbesitz über Holzernte und -transport bis hin zur Holzindustrie alle Prozessschritte unter einem Dach vereinen, sind in Deutschland nicht vorhanden. Die Struktur der verschiedenen Branchen, die jeweiligen Akteure und ihre typischen Aufgaben bei der Bereitstellung des Rohstoffes Holz werden im Folgenden kurz dargestellt.

Die Waldfläche Deutschlands verteilt sich auf die drei Besitzarten Staats-, Körperschafts- und Privatwald, wobei sich der größte Teil in Privatbesitz befindet. Die durch-

schnittliche Besitzgröße liegt bei rund 5 Hektar, die oftmals noch in mehrere kleine Parzellen aufgegliedert sind. Durch die Vereinigung in Forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen wird versucht, den Holzanfall zu bündeln, gemeinsam zu vermarkten und dadurch größeres Gewicht auf dem Markt zu erlangen (vgl. Bodelschwingh et al. 2005). Momentan gibt es in Deutschland über 5.000 forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse. Aktuelle Bestrebungen zur Stärkung des „Frei-Werk-Verkaufs“, also die Übernahme des Holzes durch den Käufer erst im Werk, verdeutlichen die Bereitschaft zur Analyse bestehender Bereitstellungskonzepte sowie die zunehmende Bedeutung der Logistik innerhalb der Forstwirtschaft.

Die Anzahl der Forstunternehmen, deren Schwerpunkt die motormanuelle und hochmechanisierte Holzernte ist, liegt in Deutschland bei rund 2.000 Betrieben. Im Schnitt beschäftigen die forstlichen Dienstleister pro Betrieb fünf Personen (vgl. Ripken 2001). Die Forstunternehmen sind für die Fällung und Aufarbeitung des Holzes sowie die Rückung aus dem Bestand an die Waldstraße zuständig. Der Kunde (Sägewerk, Papierindustrie etc.) organisiert die weitere Distribution, also den Transport des Holzes zum verarbeitenden Werk.

Die Unternehmensstruktur des Holztransportgewerbes weist ähnlich wie bei den Forstunternehmern einen klein- bzw. familienbetrieblichen Charakter auf. Laut einer repräsentativen Studie, die Unternehmen in Abhängigkeit von der Zahl ihrer Fahrzeuge darstellt, steht 38 % der Transport-Unternehmen nur ein Fahrzeug für den Holztransport zur Verfügung. Die Unternehmen, die mit 3 oder weniger Fahrzeugen arbeiten, machen 81 % aller Befragten aus, und nur die restlichen 19 % arbeiten mit mehr als 3 Fahrzeugen (vgl. Bodelschwingh 2001).

Die Vereinigung deutscher Sägewerksverbände (VDS) gibt die Zahl der Sägewerksbetriebe in Deutschland mit derzeit ca. 2.200 Betrieben an, wobei 87 % der Beschäftigten in Betrieben mit weniger als 20 Mitarbeitern tätig sind (vgl. VDS 2005). In letzter Zeit konnten tief greifende Konzentrationsprozesse auf Seiten der Holzindustrie beobachtet werden, momentan ist die Branche aber noch von vielen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägt. Die Zahl der im Zeitraum von 2000 bis 2004 stillgelegten Sägewerke beläuft sich auf 530 Betriebe.

Die Holzerntekette in Deutschland ist derzeit durch folgende Eigenschaften und Bestrebungen gekennzeichnet:

- Knapper werdende Margen zwingen alle an der Holzerntekette Beteiligten zu einem effizienteren Ressourceneinsatz.
- In Folge des steigenden Konkurrenzdruckes wachsen die Ansprüche der Holzindustrie an den Rohstoff Holz bezüglich Frische, Qualität, Homogenität und Dimension laufend.
- Eine kontinuierliche Bereitstellung von Holz soll die Lagerhaltung verringern und dafür sorgen, dass die modernen Sägewerke effizient produzieren können.

Ein schneller Abtransport des aufgearbeiteten Holzes soll folgende Vorteile für den Waldbesitzer und für die Holzindustrie bringen:

- Rasche Durchlaufzeiten bedeuten kurzfristige Kapitalbindung, geringere Einbußen bei der Holzqualität und weniger Aufwand für Maßnahmen des Forstschutzes (Borkenkäfer-Problematik).
- Die Zeit, die vom Einschlag des Holzes bis zu seiner Verarbeitung vergeht, und der Bereitstellungspreis „frei Werk“ sind im internationalen Vergleich sehr hoch (vgl. Funk 1999). Grund dafür sind althergebrachte Abläufe und Denkweisen bei Rundholzbereitstellung und Holzeinkauf.
- Die Holzerntekette ist geprägt durch zahlreiche Stufen, auf denen keine Wertschöpfung stattfindet, sowie durch zu viele Schnittstellen, die Arbeitskräfte binden und den zügigen Ablauf lähmen. Nach Leinert (1998) wird in Deutschland im Schnitt auf fünfmal soviel Ebenen und mit dem Siebenfachen an Schnittstellen gegenüber skandinavischen Holzernteketten gearbeitet.
- Durch eine Produktkettenzertifizierung im Sinne der „Chain of Custody“ (CoC) soll der Holzfluss durch die Verarbeitung und den Handel zwischen Wald und Endkunden kontrolliert werden. Dabei wird nicht das Produkt Holz zertifiziert, sondern die forstliche Bewirtschaftung. Eine Kontrolle auf Produktebene ist derzeit nicht gegeben. Stattdessen werden entweder ungenaue Mengenbilanzierungen oder aufwändige physische Trennungen der Produkte durchgeführt (vgl. SCS 2005).

Durch ein modernes, betriebsübergreifendes Supply Chain Management und den Einsatz von Auto-ID-Systemen ließen sich diese Probleme weitgehend lösen. Einsparmöglichkeiten und Wertschöpfungspotentiale könnten realisiert werden. Eine Neuordnung der Informations- und Materialflüsse sowie ein Abbau von Schnittstellen und Redundanzen innerhalb der Holzerntekette bieten ökonomische Vorteile, die allen Beteiligten zu Gute kommen.

Diese win-win-Situation kann aber nur erreicht werden, wenn alte Vorbehalte der an der Holzerntekette Beteiligten abgebaut werden und der Wille zur Kooperation gestärkt wird. Unter dieser Voraussetzung erlaubt der gezielte Einsatz logistischer Konzepte auf der Basis moderner Informations- und Kommunikationstechnologien deutliche Effizienzsteigerungen, die es der kleinstrukturierten Branche ermöglichen, sich in der derzeitigen wirtschaftlich angespannten Situation dem internationalen Wettbewerb zu stellen und dabei erfolgreich am Markt zu agieren.

2.2 Die Prozesskette vom Wald zum Werk

Unter dem Begriff „Holzerntekette“ versteht man den logistischen Prozess der Rundholzbereitstellung. Sie beginnt mit der eigentlichen Holzernte im Wald und erstreckt sich über verschiedene Transportvorgänge bis zu der Vermessung im verarbeitenden Sägewerk. Die einzelnen Arbeitsschritte sollen in den folgenden Kapiteln kurz erläutert werden.

2.2.1 Fällung und Aufarbeitung

Dem Holzeinschlag geht zunächst eine Holzernteplanung voraus. Der Waldbesitzer oder Förster legt dabei fest, in welche Bestände eingegriffen werden soll. In Abhängigkeit von den verschiedenen Bestandesparametern wie Alter, Baumartenzusammensetzung und Holzqualität werden die auszuhaltenden Sortimente bestimmt. In einer Vorkalkulation wird der zu erwartende Holzanfall sortimentsweise berechnet und mit den Aushaltungskriterien der Holzindustrie unter Berücksichtigung des aktuellen Holzpreises abgeglichen. Große Forstbetriebe, mit entsprechend hohem Holzaufkommen, schließen Rahmenverträge über Liefermengen, Sortimente und Preise mit der Holzindustrie ab. Die Entscheidung, ob hochmechanisierte oder motormanuelle Holzernteverfahren ein-

gesetzt werden, hängt von der Holzstärke, den Sortimenten und wesentlich auch von der Beschaffenheit des Geländes ab. In der Regel erfolgt vor Hiebsbeginn eine Markierung („Auszeichnung“) der zu entnehmenden Bäume durch den Förster.

Bei der motormanuellen Holzernte werden die Bäume von Waldarbeitern mit der Motorsäge gefällt, aufgearbeitet und anschließend vermessen. Länge, Durchmesser und Qualität werden auf der Schnittfläche des Stammes angeschrieben.

In hochmechanisierten Verfahren erfolgen Fällung, Aufarbeitung und Vermessung durch einen Harvester (Vollerntemaschine). Die Vermessungsdaten werden dabei zusammen mit den Vertragsdaten (Verkäufer, Käufer, Waldort, etc.) als Produktionsprotokoll im Bordcomputer gespeichert.

2.2.2 Rückung

Nach der Aufarbeitung befindet sich das Rundholz immer noch im Bestand. Der Transportvorgang aus dem Bestand zu einem Holzlagerplatz an der Waldstraße wird als Rückung bezeichnet. Langholz wird dabei in der Regel durch einen Schlepper mittels Seil von der Hiebsfläche gezogen („gerückt“). Kurzholz wird von einem Forwarder (Tragschlepper) mit einem Kran geladen und aus dem Bestand gefahren. Am Holzlagerplatz werden die Stämme oder Abschnitte nach Sortimenten getrennt gepoltert, das heißt zu Stapeln aufgeschichtet und zwischengelagert.

2.2.3 Vermessung durch den Waldbesitzer und Übergabe

Bei einem „Verkauf frei Waldstraße“ findet die Eigentumsübergabe des Holzes vom Verkäufer an den Käufer an den Holzlagerplätzen an der Waldstraße statt. Sie bilden die rechtswirksame Schnittstelle, an der das Risiko für Verlust und Qualitätseinbußen an das Sägewerk übergeht. Die Rechnungsgrundlage bildet das Volumen, das durch den Waldbesitzer in einer erneuten Vermessung des gepolterten Holzes ermittelt wird. Eine Besichtigung des Holzes durch den Kunden ist üblich. Oftmals findet dabei wiederum eine Kontrollmessung und Qualitätsbeurteilung durch den Holzeinkäufer statt. Das Sägewerk veranlasst anschließend den Abtransport durch Fuhrunternehmen mit speziellen Rundholz-LKW.

Auch in dem Fall, dass erst die Vermessung im Sägewerk zur Ermittlung des Abrechnungsvolumens dienen soll, ist eine Poltervermessung durch den Waldbesitzer die Regel. Sie dient der Kontrolle und soll eine zuverlässige Grundlage für die weitere Disposition schaffen.

2.2.4 Transport ins Werk und Lagerung

Von den Lagerplätzen transportieren LKWs das Rundholz in die verarbeitenden Werke. Teilweise findet auch eine weitere Verladung auf Schiffe oder Güterzüge statt. Am Werkseingang werden die Fuhren stichprobenartig geprüft. Abhängig von den angelieferten Sortimenten und der Lagerhaltung des Werkes werden die Stämme direkt auf den Querförderer geladen und in den Verarbeitungsprozess geschleust oder zunächst auf dem Holzplatz des Werkes gelagert. Im Lager befinden sich, trotz täglicher Lieferungen, häufig Vorräte für mehrere Produktionswochen um einen flexiblen Holzeinschnitt garantieren zu können.

2.2.5 Vermessung und Einschnitt

In einem ersten Bearbeitungsschritt wird das Holz entrindet. Danach erfolgt eine Vermessung, die neben den Maßen und dem Volumen des Abschnittes auch Qualitätsmerkmale wie Abholzigkeit oder Krümmung feststellt. Derzeit verfügen nur etwa 90 Sägewerke in Deutschland über eine leistungsfähige Vermessungsanlage. Die moderne Werksvermessung erreicht bei einem sehr niedrigen Zeitbedarf ein hohes Maß an Genauigkeit. Häufig dient deshalb die Werksvermessung zur Ermittlung des endgültigen Verkaufsmaßes. Nach der Vermessung erfolgt die eigentliche Verarbeitung des Rundholzes zu Schnittholz.

2.3 Probleme innerhalb der Holzerntekette

Ein wesentliches Problem der Rundholzbereitstellung liegt darin, dass die hohe Anzahl an Schnittstellen einen reibungslosen Informationsfluss behindert. Warenfluss und Informationsfluss sind entkoppelt. Dies hat zur Folge, dass durch den Harvester gewonnene Vermessungsdaten nicht als Kontroll- und Dispositionsmaß genutzt werden. Stattdessen nimmt jede beteiligte Partei eigene Messungen vor, die zusätzliche Kosten verursachen. Eine Kontrollstichprobe von geringem Umfang scheidet aus, da die Daten aus dem Harvesterprotokoll keinem einzelnen Abschnitt zuzuordnen sind.

Die Weitergabe der wichtigen Informationen erfolgt üblicherweise in Papierform. Jede Partei gibt die Daten dann manuell in das eigene EDV-System ein. Eine elektronische Weitergabe der Daten scheitert daran, dass kein flächendeckender Schnittstellenstandard angewendet wird.

Da das Rundholz nicht einzeln erfasst werden kann, beruht eine Dokumentation des Arbeitsfortschrittes stets nur auf Schätzungen der Maschinenführer. Um zu gewährleisten, dass die gesamte Holzmenge den nächsten Prozessschritt erreicht hat, finden immer wieder Kontrollzählungen und Datenabgleiche statt.

Neben einer fehlenden Abstimmung der Sortimente auf die aktuellen Bedürfnisse des Käufers erschweren besonders die systemimmanenten Unzuverlässigkeiten hinsichtlich der Lieferzeiten eine Planung für die Holzindustrie. Aus diesem Grund müssen die Sägewerke große Rundholzlager aufbauen, um eine kontinuierliche Produktion bei ausreichender Flexibilität sicher zu stellen.

Im Kleinprivatwald werden aufgrund der niedrigen Parzellengröße und des geringen Holzanfalles immer häufiger Sammelhiebe durchgeführt. Bei waldbesitzübergreifenden Holzlieferungen ist das Rundholz dann über den gesamten Logistikprozess nach Eigentümern zu trennen, um eine korrekte Rechnungsabwicklung zu gewährleisten. Häufig kommt es dabei zu Fehlern und Verwechslungen, die den ohnehin erheblichen Verwaltungsaufwand zusätzlich erhöhen. 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.

Aufgrund der häufigen Unterbrechungen im Warenfluss und des mangelnden Informationsflusses ist die Durchlaufzeit der Holzerntekette unverhältnismäßig hoch. Sie ist vom Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte (Prozesszeiten) und den Zeitabständen zwischen den Arbeitsschritten (Leerzeiten) abhängig. Derzeit sind die kumulierten Leerzeiten etwa dreimal größer als die reinen Prozesszeiten. Zwischen dem Einschlag im Wald und dem Eintreffen im Werk liegen laut einer aktuellen Studie in Süddeutschland im Durchschnitt 49 Tage (Bodelschwingh 2005). Das eingeschlagene Holz verbleibt zu lange im Wald. Frischeverluste, einhergehend mit Qualitätsverlusten aufgrund von z. B. Bläue, Fäule oder Schädlingsbefall sind die Folge. Wird das Holz im Sägewerk nicht sofort verarbeitet, sondern zusätzlich gelagert, nimmt die Qualität aufgrund der zunehmenden Lagerschäden weiter ab. Eine vollständige Wareneingangskontrolle am Sägewerk ist derzeit nicht durchführbar. Stattdessen behelfen sich die Werke mit umfangreichen Stichproben (bis zu 50 % der Fuhren).

Ferner ist eine Verbindung des Endproduktes Schnittholz mit dem Ausgangsprodukt Rundholz nicht vorgesehen, da bereits die Identifikation des Waldbesitzers problematisch ist und ein Herkunftsnachweis über den Produktionsprozess derzeit nicht zu führen ist. Dem Sägewerk fehlt damit die Möglichkeit, die Ausbeute von Holz aus verschiedenen Beständen zu überprüfen bzw. welcher Verwendungszweck für Rundholz einer bestimmten Herkunft optimal ist. Eine einzelstammweise Ausbeuteanalyse könnte hier helfen, die Nutzung des Rohstoffes Holz zu verbessern.

Die Zertifizierung von Forstbetrieben schreitet stark voran. Der Verbraucher und die Politik fordern deshalb die Dokumentation des Herkunftsnachweises. Um eine Herkunftssicherung im Sinne der Chain of Custody zu garantieren, muss zertifiziertes Holz getrennt von Holz aus nicht zertifizierten Betrieben gelagert werden. Die physische Trennung des Rundholzes und der Produkte ist zeitaufwändig und kostenintensiv.

Grundsätzlich steht die deutsche Forst- und Holzwirtschaft und damit das heimische Holz in direkter Konkurrenz zu ausländischen Importen. Bei qualitativ hochwertigen Holzvorräten und modernen Holzerntemethoden liegt das größte Optimierungspotenzial in einer Reorganisation des Informationsflusses und einer Verkürzung der Durchlaufzeiten.

3 RFID - ein Überblick

3.1 Allgemeines

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. Den Urvater der aktuell eingesetzten Transponder schuf nach heutiger Erkenntnis der amerikanische Ingenieur Mario Cardullo und erhielt dafür am 23. Januar 1973 ein US-Patent (vgl. Shepard 2005, S. 49 ff.). 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 projektbezogen in ihren Grundzügen erläutert, damit entsprechende Referenzierungen und Formulierungen in Folgekapiteln nachvollzogen werden können.

3.2 Unterscheidungsmerkmale von Transpondersystemen

3.2.1 Frequenzbereiche

Die Norm ISO 18000 legt 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 (vgl. auch Finkenzeller 2002, S. 22 f.):

- um 135 kHz (niedrigfrequent, LF)
- 13,56 MHz (hochfrequent, HF)
- 433 MHz (sehr hochfrequent, VHF)
- 860-930 MHz (ultrahochfrequent, UHF)
- 2,45 und 5,8 GHz (super-hochfrequent, SHF)

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 3.2.2) 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 Finkenzeller 2002, S. 165 ff.). Zudem wurde Teil 5 der genannten Richtlinie, der sich mit dem Bereich um 5,8 GHz beschäftigt, aufgrund mangelnder internationaler Akzeptanz zurückgezogen¹.

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. dazu auch die im Projekt gemessenen Reichweiten in Kapitel 4.4.2.2.1). 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 eliminieren².

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 Untersuchun-

¹ im Original: „due to lack of global acceptance“, <http://www.hightechaid.com/standards/18000.htm>.

² 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 (vgl. Gerhardt 2006).

gen im LogIDLab[®] unter anderem für den UHF-Bereich nachgewiesen werden (vgl. Jansen/Schneider 2006).

3.2.2 Energieversorgung

Üblicherweise unterscheidet man aktive, passive und semi-aktive (z. T. auch semi-passiv 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. für eine anschauliche Erläuterung Bluck et al., 2001) bzw. über eine sog. Backscatter-Kopplung (vgl. Finkenzeller 2002, S. 48 f.). 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. Semi-aktive 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.

3.2.3 Speicher

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen radiofrequenten Artikelsicherungselementen, die keinen Mikrochip und damit auch keinen Speicher aufweisen (sog. 1-Bit Transponder), und den eigentlichen RFID-Tags, die sowohl einen Mikrochip als auch einen je nach Bauart unterschiedlich großen Speicherbereich besitzen. Dieser Speicher kann entweder eine vom Chiphersteller bereits im Produktionsprozess fest eingebrannte, nicht mehr änderbare und weltweit eindeutige Nummer beherbergen („read only“ – System) oder zusätzlich dazu einen weiteren Speicherbereich zur Verfügung stellen, der entweder einmalig („WORM“-System) oder beliebig oft be- und überschrieben werden kann („read/write“ - Systeme). Beispielsweise sind die für den elektronischen Produktcode (EPC, vgl. EPCglobal o. J.) eingesetzten Etiketten klassische WORM-

Transponder, denen erst zum Zeitpunkt unmittelbar vor der Anbringung an die Ware ein bestimmter Code zugewiesen wird. Es kann festgestellt werden, dass ein Transponder umso teurer ist, desto größer der zur Verfügung stehende Speicher ist bzw. desto mehr Fähigkeiten (Sensorik) der Chip besitzt.

3.3 Bauformen

Grundsätzlich gilt mittlerweile, dass Transponder in jede vom Kunden gewünschte Bauform gebracht werden können. In der täglichen Praxis haben sich jedoch einige Bauformen bewährt und als überaus vielfältig einsetzbar erwiesen, so dass diese zum Standardrepertoire jedes größeren Herstellers zählen. Die wichtigsten davon sind im folgenden Kapitel 3.3.1 kurz beschrieben, während Kapitel 3.3.2 für das vorliegende Projekt interessante Sonderbauformen genauer vorstellt. Eine weitergehende Übersicht ist u. a. bei Finkenzeller (2002, S. 14 ff.) und Shepard (2005, S. 64 ff.) zu finden.

3.3.1 Verbreitet eingesetzte Bauformen

3.3.1.1 Coin und Disk

Je nach Hersteller werden die Begriffe „Coin“ und „Disk“ entweder gleichgesetzt oder so unterschieden, dass eine Disk eine flache, scheibenförmige Bauform beschreibt, während Coin für eine derartige Form, allerdings mit einem Loch in der Mitte, steht (siehe Abbildung 1). Im Rahmen des vorliegenden Projektes kamen Coins zum Einsatz. Der Vorteil dieser Bauform mit einem Bohrloch im Zentrum der Scheibe liegt in der dadurch gegebenen einfachen Befestigungsmöglichkeit – so lässt sich der Transponder bspw. mit einer Schraube oder einem Nagel fixieren. Die Transponder mit dieser Bauform sind in den Frequenzbereichen LF und HF erhältlich und werden zumeist in rauen Industrieumgebungen eingesetzt. Das Inlet eines Coins oder einer Disk wird als Clear Disk bezeichnet.



Abbildung 1: Coin- und Disk-Transponder

3.3.1.2 Glaskapsel und Schlüsselanhänger

Diese Bauformen sind ausschließlich für LF-Transponder erhältlich. Aufgrund ihrer kompakten Größe können sie auch in sehr kleine Gegenstände integriert werden, was sie sehr vielfältig einsetzbar macht. Die Glaskapseltransponder (Abbildung 2) werden unter anderem zur Identifikation von Haus- und Nutztieren eingesetzt, denen der Tag subkutan (also unter die Haut) implantiert wird. In jüngster Zeit wird solch ein Transponder auch zur „Markierung“ von Menschen eingesetzt (vgl. VeriChip Corporation o. J. und Schüler 2006).



Abbildung 2: Transponder in Glaskapsel- und Schlüsselanhängerform

Nachteilig ist die frequenz- und baufornbedingt geringe Reichweite, so dass für einen sinnvollen Einsatz entweder die Prozesse entsprechend angepasst werden müssen oder im Idealfall von vornherein keine nennenswerte Reichweite erforderlich ist. Nageltransponder (siehe Kapitel 3.3.2.1) enthalten ebenfalls Glaskapseltransponder.

3.3.1.3 ISO-Karte und Smart Label

Die Kartenbauform ist außerhalb logistischer Aufgabenstellungen weit verbreitet und wird vornehmlich zur Zutrittskontrolle eingesetzt, während Smart Label überwiegend als Produktetiketten auf der Ebene der Ladeinheit genutzt werden. Darüber hinausgehende Entwicklungen zielen darauf ab, auch Verpackungseinheiten und schließlich die Produkte selbst mit einem RFID-Tag zu versehen. Beide Bauformen gibt es sowohl im LF- als auch im HF-Bereich, was die Verbreitung zusätzlich fördert. Smart Label gibt es auch im UHF-Bereich, wo sie mittlerweile vorwiegend eingesetzt werden. Für das vorliegende Projekt konnte der Umstand ausgenutzt werden, dass die wichtigen Bestandteile der HF-Karten zumeist nicht im inneren Bereich liegen. Die Antenne verläuft als Spule um die äußeren Ränder, und der Chip befindet sich nahe der Spule an einer der beiden kurzen Seiten (vgl. Abbildung 3). Dadurch konnte die in Kapitel 4.4.2.1 beschriebene Applikationsmethode angewendet werden, ohne dass die Gefahr bestand, den Transponder unbrauchbar zu machen.



Abbildung 3: ISO-Karten und Smart Label (Beispiele)

3.3.2 Sonderbauformen

3.3.2.1 Nageltransponder

Im Exklusivvertrieb des Herstellers Sokymat befindet sich die Nagelbauform, die den Transponder sehr flexibel und sicher einsetzbar macht, wenn Gegenstände wie Europaletten oder eben auch Holzstämme mit Hilfe von RFID identifiziert werden sollen. Durch die Applikation im Holz ist der Nagel optimal geschützt und kaum mechanischen Belastungen ausgesetzt. Er besteht aus einem Glaskapseltransponder (vgl. Kapitel 3.3.1.2), um den herum der Nagel aus einem speziellen Kunststoff aufgebaut wird. Aus diesem Grund wird diese Bauform ausnahmslos in 125 kHz angeboten.



Abbildung 4: Nageltransponder (Quelle: Sokymat)

Der Nageltransponder ist – sofern die Krafteinwirkung vollständig parallel zur Längsachse ist – sehr widerstandsfähig, jedoch besitzt der Kunststoff auch deutliche Grenzen, die eine stets sichere Applikation verhindern (vgl. Kapitel 4.2.2). Daher muss insbesondere beim Einsatz dieser Bauform nach jeder Anbringung die Funktionalität des Transponders geprüft werden. Die frequenz- und bauformbedingte niedrige Reichweite von durchschnittlich 2,5 cm (vgl. Kapitel 4.2) ist ein nicht zu unterschätzender Nachteil, denn betrachtet man den Einsatzfall im vorliegenden Projekt, so ist es bei großen Poltern oder auch bei der Auslesung auf einem LKW zum Teil unmöglich, nahe genug an den Transponder heranzukommen, um ihn auslesen zu können. Für einen sinnvollen Einsatz sind daher insbesondere die Identifikationsprozesse speziell anzupassen.

3.3.2.2 Holz-Plättchen

Seit Jahren werden zur Kennzeichnung von Rundholz spezielle Nummerierplättchen verwendet, die schnell und unkompliziert mit einem speziellen Hammer vor Kopf in die Stämme eingeschlagen werden können (Abbildung 5). Mittlerweile sind diese Plättchen von den Firmen Latschbacher und Codimex bereits mit Transpondern ausgestattet erhältlich. Beide Typen arbeiten in der HF-Frequenz (13,56 MHz). Die Signumat RFID-Plättchen der Fa. Latschbacher besitzen ein Philips I-Code Inlet und sind daher read-only-Transponder, während die Memory Tags der Fa. Codimex beschreibbar, also r/w-Transponder sind.

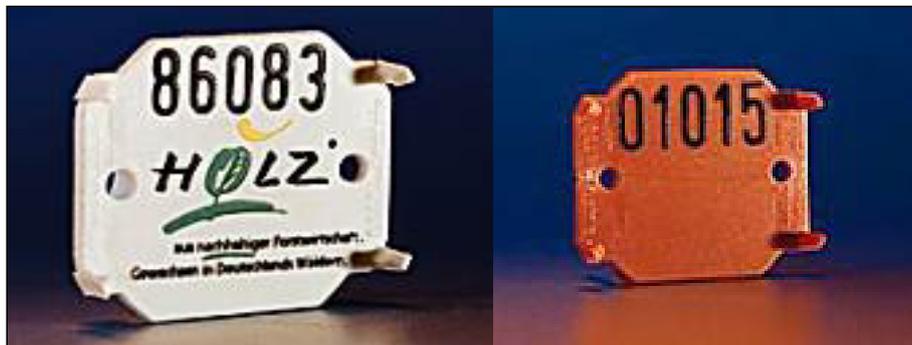


Abbildung 5: Holz-Plättchen

3.4 Vergleich von RFID mit anderen Auto-ID-Technologien

Neben RFID existieren noch weitere automatische Identifikationsmethoden, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenheiten in der Regel ihr eigenes, relativ deutlich abgegrenztes Einsatzgebiet aufweisen (vgl. Finkenzeller 2002, S. 2 ff.).

Aus dem Handel kommend hat sich der Barcode durch seine große Flexibilität und Vielfalt auch weitere Anwendungsgebiete erschlossen und wird heute in fast allen Branchen eingesetzt. So existieren neben dem eindimensionalen Code 128 auch zweidimensionale Varianten (wie z. B. Codablock F, PDF417) und Matrixcodes (wie z. B. Data Matrix, Aztec), die mit unterschiedlichen Speicherkapazitäten und Leseigenschaften charakterisiert werden können³. Weitere Auto-ID-Technologien sind Schriftzeichenerkennung

³ Eine gute Referenz bietet der entsprechende Eintrag in der Wikipedia unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Barcode>

(OCR), Biometrie und Sprachidentifizierung, die jedoch aufgrund mangelnder Relevanz an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden sollen (für Details vgl. Finkenzeller 2002, S. 3 ff.)

Die RFID-Technologie besitzt gegenüber anderen Auto-ID-Technologien gleich mehrere Vorteile. So ist an erster Stelle die Auslesbarkeit durch Materialien hindurch zu nennen, d. h. die RFID-Etiketten können nicht nur *auf*, sondern auch *in* einem Gegenstand angebracht werden (für eine Übersicht siehe Abbildung 6).

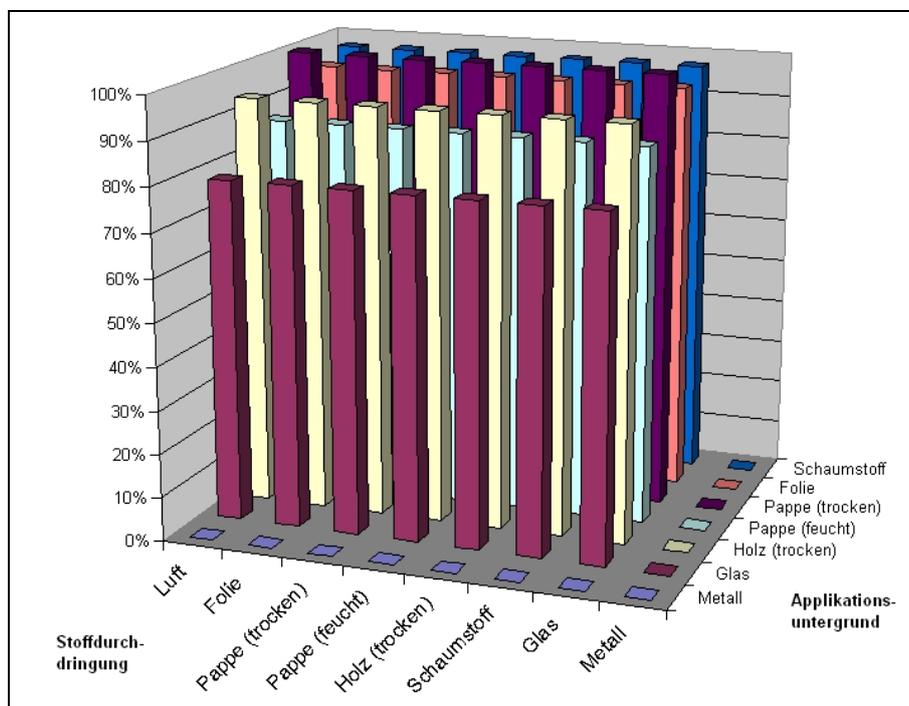


Abbildung 6: Einfluss von Materialien auf die Lesereichweite im HF-Bereich (Quelle: Eigene Darstellung)

RFID-Kennzeichnungen können daher weitgehend geschützt vor mechanischen und klimatischen Belastungen angebracht werden, so dass Beeinträchtigungen der Identifikation durch Kratzer oder Schmutz – wie sie bspw. beim Barcode sehr häufig auftreten – ausgeschlossen sind. Die Stoffdurchdringung bietet den weiteren Vorteil, dass eine aufwändige Ausrichtung des zu identifizierenden Gegenstandes zum Lesegerät entfällt. Dies ist nur dann erforderlich, wenn der Leseabstand im Grenzbereich liegt und eine nicht-optimale Ausrichtung der Antennen zueinander die Auslesung verhindern kann (vgl. Kapitel 3.2.1).

Setzt man r/w-Transponder ein (vgl. Kapitel 3.2.3), so entsteht der Vorteil eines mobilen Datenspeichers, da die Daten geändert, ergänzt und gelöscht werden können. Auf diese Weise können wertvolle Zusatzinformationen direkt an der Ware mitgeführt und aufwändige Neu- bzw. Umetkettierungen eingespart werden.

Ein Nachteil von RFID im Vergleich zu anderen automatischen Identifikationsverfahren sind die hohen Kosten, die (derzeit noch) bei einer Implementierung in einem Unternehmen oder gar unternehmensübergreifend entstehen. Neben den einmalig entstehenden Kosten für die Anschaffung von Hardware und IT-Systemen entstehen hohe fortlaufende Kosten für die Transponder, sofern sie nicht in einem Kreislaufsystem eingesetzt und dementsprechend wieder- bzw. weiterverwendet werden können. Ebenfalls problematisch ist nach aktuellem Stand die Entsorgung der nicht mehr benötigten Transponder, die anders als Barcode-Etiketten auch elektronische Bauteile und Metalle enthalten.

4 Einsatz der Transpondertechnologie in der Holzerntekette

4.1 Anforderungen

Der Erfolg eines RFID-gestützten Logistikprozesses ist in hohem Maße abhängig von einer zuverlässigen Auslesung der Transponder an den einzelnen Punkten der Prozesskette. Das Anforderungsprofil soll zunächst die allgemeine Beanspruchung der Tags bei einem forstlichen Einsatz verdeutlichen und anschließend auf die speziellen Herausforderungen bei der motormanuellen und der hochmechanisierten Holzernte eingehen. Dabei werden die jeweiligen Ansprüche an die Transponderbauform, den Applikationsort sowie erforderliche Lesereichweiten erläutert.

Es werden nachfolgend lediglich die Anforderungen aus prozesstechnischer Sicht untersucht. Dabei wird von einer Kennzeichnung jedes Holzabschnitts bzw. Stamms mit passiven read-only-Transpondern ausgegangen.

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

In der Forstlogistik eingesetzte Transponder müssen sowohl sehr niedrigen **Temperaturen** bei Nachtfrösten (-30 °C) als auch hohen Temperaturen bei direkter Sonnenbestrahlung (bis 80 °C) ohne Funktionsstörungen standhalten. **Nässe und Feuchtigkeit** sind im Einsatzgebiet allgegenwärtig. Dabei ist sowohl der Witterungseinfluss in Form von Regen, Eis und Schnee als auch die Feuchtigkeit des Holzes⁴ zu berücksichtigen. Der Holzfeuchte kommt insofern Bedeutung zu, als eine Auslesung der Tags unter Umständen auch durch den Holzkörper möglich sein muss (z. B. bei seitlicher Applikation). In den Wintermonaten ist davon auszugehen, dass die Transponder unter einer Schnee- oder Eisschicht verborgen sind und auch durch diese hindurch ausgelesen werden müssen. Durch die Rückung des Holzes zur Waldstraße kann es zudem zu einer **Verschmutzung** der Transponder kommen. Die bei der Holzernte auftretenden **mechanischen Belastungen** (Stoßkräfte, Scherkräfte) sind ausgesprochen hoch, so dass die Bauform sehr stabil gewählt werden muss.

⁴ Die Holzfeuchte ist definiert als der Massenanteil des Wassers im Verhältnis zur Masse des absolut trockenen Holzes. In Abhängigkeit von Holzart, Jahreszeit und Frische schwankt die Holzfeuchte zwischen unter 30 und über 100 %.

Grundsätzlich erscheint eine **Rückgewinnung** der Transponder am Ende der Logistikkette wünschenswert, da die hohen Stückkosten der eingesetzten Transponder das Gesamtsystem finanziell erheblich belasten (siehe Kapitel 5). Für eine automatische Entfernung der Transponder am Sägewerk erscheint die Anbringung der Transponder vor Kopf deutlich geeigneter als deren seitliche Applikation.

Soll der Transponder nicht mehrfach verwendet werden, wird er entweder durch die Entrindung (bei seitlicher Anbringung) oder durch den Kappschnitt (bei Anbringung vor Kopf) entfernt. Werden **Rinde oder Sägerestholz** thermisch weiter verwendet, so sind aus der „Verschmutzung“ mit Transpondern keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Eine Verwendung der Rinde für Rindenmulch ist allerdings ausgeschlossen. Wird das Sägerestholz in der Papier- und Zellstoffindustrie weiter verwertet, so darf dieses auf keinen Fall mit Transpondern oder Resten des Trägermediums verunreinigt sein, außer dieses besteht aus Spezialkunststoff⁵.

4.1.2 Anforderungen in der motormanuellen Holzerntekette

Unter dem Begriff der motormanuellen Holzernte ist eine Vielzahl von Arbeitsverfahren zusammengefasst. Im Folgenden soll hierunter der „Normalfall“ der Fällung und Aufarbeitung der Bäume durch den Waldarbeiter mit Aushaltung von Langholz⁶ und Rückung mit einem Seilschlepper, der die Stämme an einem Stahlseil über den Waldboden aus dem Bestand heraus auf die Forststraße zieht, verstanden werden. Von dort erfolgt die Abfuhr in das verarbeitende Sägewerk durch einen Langholz-LKW. Zur genaueren Variantendefinition sei an dieser Stelle auf das Kapitel 4.4.1 verwiesen.

⁵ P-Qualität – Spezialkunststoff, der sich bei der Verarbeitung rückstandsfrei auflöst.

⁶ Langholz bedeutet, dass der Stamm im Wald nicht in weitere Abschnitte zersägt wird, sondern mit einer Länge zwischen 6 und 20 m weitertransportiert wird.

4.1.2.1 Fällung und Aufarbeitung durch Waldarbeiter

Die Anbringung der Transponder erfolgt im Idealfall direkt nach der Aufarbeitung und Vermessung des Stammes durch den Waldarbeiter noch im Bestand. Alternativ könnte die Markierung mit Transpondern und die Aufnahme des Holzes auch erst am Polter geschehen (vgl. Kapitel 4.1.2.2), wodurch allerdings eine Kontrolle der Rückung unmöglich würde. Der Waldarbeiter trägt seine Ausrüstung an einem Arbeitsgurt bzw. in den Händen mit sich (siehe Abbildung 7).

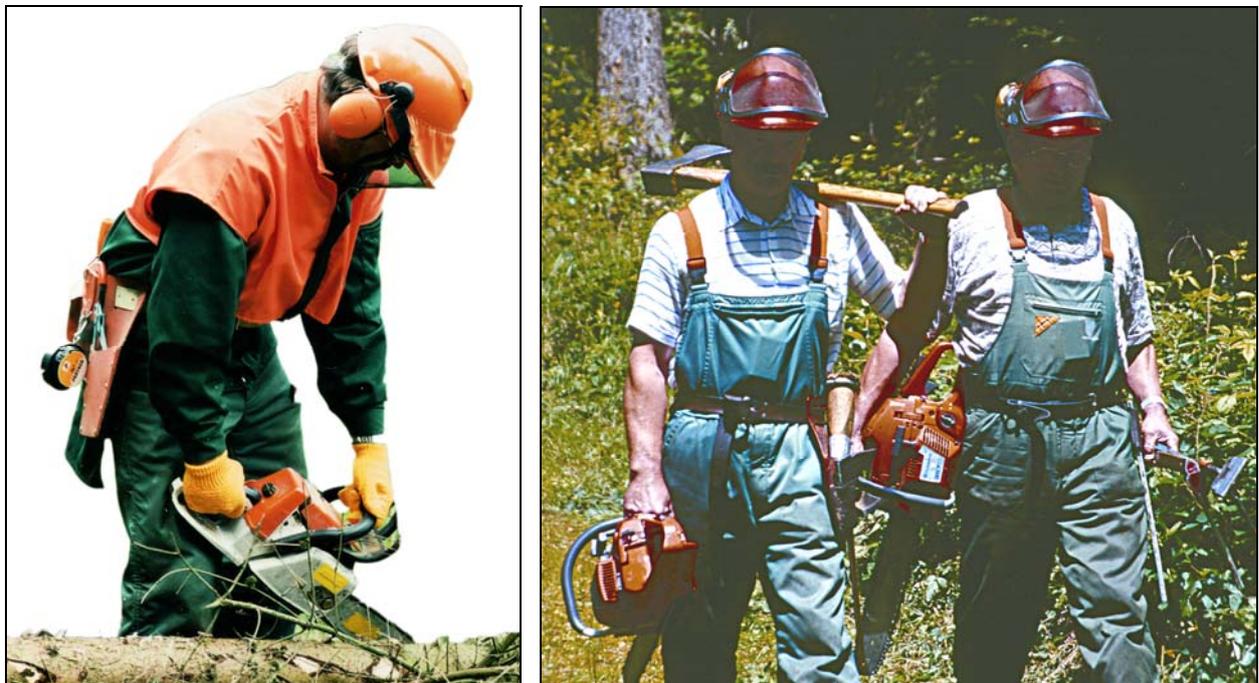


Abbildung 7: Waldarbeiter mit Ausrüstung

Das bedeutet, dass er neben den Transpondern auch benötigtes Werkzeug zur Anbringung der Tags sowie ein MDE-Gerät⁷ mit RFID-Reader und Leseantenne zur digitalen Erfassung der Holzdaten und Auslesung der Transpondernummern zusätzlich mitführen muss. Bei Arbeitsbeginn sollte der Waldarbeiter mindestens 20 Transponder bei sich tragen können, um den Arbeitszyklus nicht durch einen Gang zu seinem Fahrzeug unterbrechen zu müssen. Jedes Applikationswerkzeug ist hinsichtlich seiner Größe und

⁷ MDE-Gerät = mobiles Datenerfassungsgerät (z. B. TimbaTec Recon der Firma Latschbacher).

seines Gewichtes so kompakt und leicht wie eben möglich auszulegen. Es sollte am Arbeitsgurt getragen werden können, damit es schnell griffbereit ist. Ein Hefttacker oder ein leichter Hammer stellen eine noch zumutbare Mehrbelastung dar, die aber nicht weiter überschritten werden sollte. Da der Waldarbeiter den Transponder manuell appliziert, ist auch eine manuelle Auslesung problemlos durchführbar, wodurch sich keine besonderen Ansprüche bezüglich der Lesereichweite ergeben. Auch ist eine Pulkerfassung der Transponder nicht notwendig.

4.1.2.2 Rückung mit Seilschlepper

Bei der Seilrückung ist die mechanische Beanspruchung der Seitenflächen der Stämme sehr hoch, da die Stämme mit einem Seil aus dem Bestand geschleift werden (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Seilschlepper bei der Rückung

Daher ist bei der motormanuellen Holzernte mit Langholzaushaltung eine stirnseitige Applikation der Transponder deutlich besser geeignet als die seitliche Befestigung. Sind die Stämme von der Hiebsfläche gerückt und zu einem Polter aufgeschichtet, kann eine manuelle Auslesung durch den Rücker mit Hilfe eines MDE-Gerätes erfolgen. Eine Anbringung der Transponder vor Kopf ist hier eindeutig vorteilhaft, da der Transponder

schnell und problemlos aufzufinden sein sollte. Da hier lediglich die Transpondernummern erfasst werden sollen, sorgt eine hohe Lesereichweite in Kombination mit einer Pulkerfassung für eine rasche Aufnahme der Polter. Aber auch mit einer kurzen Lesereichweite ist dieser Schritt problemlos durchführbar.

Alternativ ist es auch denkbar, erst am Polter die Erstaufnahme des Holzes und die Markierung mit Transpondern durchzuführen. Eine stirnseitige Anbringung der Transponder wäre in diesem Fall zwingend notwendig, und eine kurze Lesereichweite dann sogar von Vorteil, damit jeder Stamm exakt erfasst werden kann.

4.1.2.3 *Transport mit Langholz-LKW*

Der Weitertransport in das Sägewerk erfolgt mit einem Langholz-LKW (Abbildung 9).



Abbildung 9: Langholz-LKW

Der Fahrer verlädt das Holz mit einem auf dem LKW montierten Kran. Da die Handhabung der langen Stämme sehr anspruchsvoll ist, können sie nicht ohne weiteres vor eine Leseantenne positioniert werden wie in der Kurzholz-Variante (siehe Kapitel 4.1.3.3).

Eine Auslesung der Nummern noch auf dem Polter scheidet aus, da die tatsächliche Anzahl der Stämme, die verladen werden, nicht abzuschätzen ist, wenn nicht der ge-

samte Polter abgefahren wird. Die Auslesung kann somit erst nach der Verladung manuell durch den Fahrer erfolgen. Hohe Lesereichweiten und Pulkerfassung sowie eine Anbringung der Transponder vor Kopf sind hier klar von Vorteil.

4.1.2.4 Fazit motormanuelle Holzerntekette

Für einen Einsatz in der motormanuellen Holzerntekette bietet eine stirnseitige Anbringung der Transponder deutliche Vorteile. Eine hohe Lesereichweite und die Möglichkeit der Pulkerfassung sind vor allem bei den Auslesungen am Polter und bei der Abfuhr vorteilhaft, aber nicht zwingend notwendig. Allerdings ist die Lesereichweite eines handelsüblichen MDE-Gerätes oder PDA begrenzt. Insgesamt bieten sich viele Bauformen aus dem LF- und HF-Bereich (evtl. auch UHF) an. Sie müssen lediglich robust und einfach anzubringen sein.

Bei Anbringung der Transponder und Erstaufnahme des Holzes auf dem Polter an der Waldstraße ist eine stirnseitige Anbringung der Transponder zwingend erforderlich. Eine kurze Lesereichweite ist hier möglicherweise besser, um eine eindeutige Zuordnung der Transpondernummer zu den jeweiligen Holzdaten zu gewährleisten bzw. um jeweils immer den richtigen Transponder auszulesen.

4.1.3 Anforderungen in der hochmechanisierten Holzerntekette

Bei der hochmechanisierten Holzernte erfolgt die Fällung des Baumes nicht mehr durch den Waldarbeiter, sondern durch eine Vollerntemaschine (Harvester). Der Harvester ist mit einem Kran ausgerüstet, an dessen Ende ein Fäll- und Aufarbeitungsaggregat angebracht ist. Im Gegensatz zur motormanuellen Holzernte wird hier in aller Regel Kurzholz⁸ produziert. Die Rückung des Holzes erfolgt durch einen Tragschlepper (Forwarder), der mit einem Ladekran ausgerüstet ist und die Abschnitte in einem Rungenkorb aus dem Bestand fährt. Anschließend werden die Abschnitte an einem Lagerplatz gepoltert, um nachfolgend mit einem Kurzholz-LKW ins verarbeitende Werk transportiert zu werden (zur genaueren Variantendefinition siehe Kapitel 4.4.2).

4.1.3.1 Fällung und Aufarbeitung mit Harvester

In der hochmechanisierten Holzernte muss die Anbringung der Transponder im Zuge der Aufarbeitung des Stammes durch den Harvester (Abbildung 10) erfolgen.



Abbildung 10: Harvester bei der Aufarbeitung

⁸ Kurzholz bedeutet, dass der Stamm in Abschnitte von 2 bis 6 m Länge geschnitten wird.

Da es sich um ein hochproduktives Arbeitssystem handelt, sollte die Applikation idealerweise **ohne Unterbrechung des Arbeitsablaufs** erfolgen. Selbst geringe Zeitverluste führen hier zu empfindlichen Einbußen im Bereich der technischen Arbeitsproduktivität. Um den Aufarbeitungsprozess nicht unterbrechen zu müssen, ist es erforderlich, eine Applikationsvorrichtung direkt im Harvesteraggregat unterzubringen.

Eine **seitliche Applikation** der Transponder hat hier den klaren Vorteil, dass die Anbringung der Transponder während des Trennschnitts erfolgen kann und daher kein erhöhter Zeitbedarf entsteht. Zudem kann der bereits aufgearbeitete Abschnitt markiert werden. Eine **stirnseitige Applikation** der Transponder kann dagegen erst nach dem Trennschnitt erfolgen und erhöht damit den Zeitbedarf zwingend. Zudem erfolgt die Markierung des Abschnitts vor der Aufarbeitung, was insofern problematisch ist, als häufig nicht vor der Aufarbeitung und Vermessung durch den Harvester klar ist, ob aus dem Reststück noch ein weiterer Abschnitt ausgehalten werden kann, da regelmäßig Mindestabmessungen einzuhalten sind. Eine Markierung des bereits aufgearbeiteten Abschnitts wie bei der seitlichen Applikation ist hier nicht möglich, da die hierfür benötigte Stirnseite erst während des Trennschnitts entsteht und der Abschnitt unmittelbar nach dem Trennschnitt zu Boden fällt.

Eine automatische Applikation setzt darüber hinaus eine **Magazinierung der Transponder** voraus. Jeder Magazinwechsel stellt eine Arbeitsunterbrechung dar, die nicht öfter als alle 60-90 Minuten erfolgen sollte. Daraus ergibt sich die Anforderung an das Fassungsvermögen von mindestens **150 Transpondern pro Magazin**. Das Platzangebot im und am Aggregat ist jedoch sehr begrenzt, was die Größe der Transponderbauform und letztlich auch des Magazins deutlich limitiert. Die Auslesung der Transponder sollte erst nach der Applikation erfolgen, um deren Funktionsfähigkeit nach der Anbringung sicher zu stellen.

4.1.3.2 Rückung mit Forwarder

Bei der Kurzholz-Rückung werden die Abschnitte auf der Hiebsfläche mit einem Kran auf einen Forwarder geladen (siehe Abbildung 11). Da die Abschnitte nicht mit einem Seil über den Waldboden gezogen werden (vgl. Kapitel 4.1.2.2), reduziert sich die seitliche mechanische Belastung auf die Kontakte zwischen den Abschnitten bei den Verladevorgängen. Eine seitliche Anbringung (auf der Rinde) ist daher grundsätzlich denkbar. Dafür sollte eine möglichst flache Bauform gewählt werden. Die stirnseitige Anbringung der Transponder ist allerdings auch hier vorzuziehen, da diese dann einerseits geschützt und andererseits besser zu den denkbaren Ausleseantennen ausgerichtet sind, was die Lesereichweite deutlich erhöht (siehe Kapitel 4.4.2.2.1).



Abbildung 11: Forwarder beim Aufladen des Holzes

Auf eine einmalige manuelle Auslesung durch den Rucker am Ende seiner Schicht soll hier zugunsten von **automatischen Auslesungen jeder Fuhre** verzichtet werden. Dabei sind Auslesungen bei der Be- und bei der Entladung denkbar, wobei sich der **Beladungsvorgang** aufgrund der Platzverhältnisse und seines Ablaufs anbietet. Dabei ist es möglich, während des Ladevorganges die Abschnitte mit dem Ende, an dem sich der Transponder befindet, durch ein **Lesefeld** zu führen. Ferner ist auch eine Auslesung der geladenen Stämme durch eine Leseantenne am **Stirngatter** denkbar. Beide Varianten

ten werden in Kapitel 4.4.2.2 genauer beschrieben. Hier sind **Lesereichweiten** von über 0,5 m erforderlich und über 1m wünschenswert. Da der Ladekran mehrere Abschnitte gleichzeitig greift, ist in jedem Fall eine Pulkerfassung der Transponder notwendig.

4.1.3.3 *Transport mit Kurzholz-LKW*

Der Abtransport des Kurzholzes erfolgt durch einen speziellen Kurzholz-LKW (Abbildung 12). Der Arbeitsvorgang der Verladung erfolgt analog zu der Verladung bei der Rückung mit einem Forwarder. Es entstehen keine darüber hinausgehenden Anforderungen an das Transpondersystem.



Abbildung 12: Kurzholz-LKW bei der Beladung

4.1.3.4 *Fazit für die hochmechanisierte Holzerntekette*

Bei der hochmechanisierten Holzernte ist eine **seitliche Anbringung** der Transponder technisch relativ einfach zu realisieren. Zudem kann die Anbringung zeitgleich mit dem Trennschnitt erfolgen, wodurch kein zeitlicher Mehrbedarf entsteht. Der Arbeitsprozess wird nicht verlangsamt und muss nicht modifiziert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, den bereits vermessenen Abschnitt zu markieren.

Eine **stirnseitige Anbringung** der Transponder dagegen ist technisch deutlich aufwändiger zu realisieren und kostet immer Zeit, da die Applikation erst erfolgen kann, nach-

dem der Trennschnitt erfolgt ist, denn dadurch entsteht erst die Stirnfläche an dem noch nicht aufgearbeiteten Abschnitt, die markiert werden muss. Die andere Stirnfläche ist nicht markierbar, da der bereits aufgearbeitete Abschnitt unmittelbar nach dem Trennschnitt zu Boden fällt.

Während beim Harvester der seitlichen Applikation klar der Vorzug gegeben werden muss, ist bei den nachgelagerten Auslesungen am Forwarder und am Kurzholz-LKW eine stirnseitige Anbringung der Transponder wünschenswert, da dann die Transponder optimal zu den Leseantennen ausgerichtet sind, wodurch sich die erforderliche hohe Lesereichweite realisieren lässt (vgl. u. a. Kapitel 4.4.2.2). Aber auch bei seitlicher Anbringung lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen ausreichende Lesereichweiten erzielen.

Die weiteren Anforderungen sind gute Magazinierbarkeit und kleines Volumen der Transponder, sichere Befestigung, stabile Bauform und Pulkfähigkeit. LF-Transponder sind v. a. aufgrund ihrer geringeren Reichweite hier schlechter geeignet als HF- oder möglicherweise UHF-Transponder.

4.1.4 Anforderungen im Sägewerk

Im Sägewerk sollen die Transponder beim Werkseingang (Wareneingang) und bei der Werksvermessung (Beginn der Verarbeitung) ausgelesen werden. Wenn das angelieferte Holz sofort verarbeitet wird, kann eine Werkseingangserfassung möglicherweise entfallen. Wird das Holz aber zunächst gelagert, so muss eine Auslesung am Werkseingang erfolgen, um die einzelnen Lieferungen im Sinne einer Eingangskontrolle zu dokumentieren und zu kontrollieren. Die holzverarbeitende Industrie legt großen Wert darauf, den tatsächlichen Wareneingang zu überprüfen, was die Verwendung der Daten, die der Holzfrächter vor der Verladung erhoben hat, ausschließt.

4.1.4.1 Werkseingang

Eine fuhrenweise Auslesung der Transponder ist bei Langholz analog zur Auslesung beim Transport (siehe Kapitel 4.1.2.3) mit einem Handlesegerät möglich. Bei Kurzholz allerdings ist dies sehr aufwändig und aufgrund der Bauweise der Kurzholz-LKW kaum durchführbar. Möchte man die Transponder der gesamten Fracht bei der Werkseinfahrt

automatisch mit einem Lese-Gate erfassen, sind Lesereichweiten von mindestens 2,5 bis 3 m und eine Pulkerfassung der Transponder erforderlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich dabei durch den LKW große Mengen von Metall im Lesefeld der Antennen befinden, die die Reichweite der Auslesung zusätzlich negativ beeinflussen können. Bei einer stirnseitigen Anbringung sind die Transponder zur Fahrerkabine ausgerichtet und stehen damit im ungünstigen rechten Winkel zu einem Lese-Gate.

4.1.4.2 Werksvermessung

Die Auslesung zu Beginn des Verarbeitungsprozesses erfolgt im Zusammenhang mit der Werksvermessung. Hier ist es wichtig, dass die Vermessungsdaten mit der Transpondernummer verknüpft werden. Die Stämme werden vor ihrer Entrindung sowohl quer als auch längs befördert und gelangen einzeln und in Längsrichtung über eine Förderanlage zur Entrindungsanlage. Die Schnittflächen der Stämme berühren sich dabei nicht.

Bei **seitlicher Anbringung** der Transponder muss die Auslesung vor der Entrindungsanlage erfolgen, da die Transponder durch die Entrindung zerstört und entfernt werden. Nachteilig ist bei einer Auslesung vor der Entrindung, dass sich u. U. die Reihenfolge der Stämme zwischen Entrindung und Werksvermessung nochmals ändern kann, wenn die Entrindungsqualität z. B. bei Frost ungenügend ist. Dann werden schlecht entrindete Stämme nochmals vor die Entrindungsanlage gelegt und durchlaufen den Weg ein zweites Mal, nun allerdings ohne Transponder und damit ohne Identifikationsmöglichkeit.

Bei einer **stirnseitigen Anbringung** ist ebenfalls eine Auslesung der Transponder vor der Entrindung erforderlich, wenn die Entrindungsmesser erst durch den Stamm auf den richtigen Durchmesser geöffnet werden (siehe Abbildung 13). Denn auch in diesem Fall werden zahlreiche Transponder durch die Entrindungsmesser zerstört. (vgl. Kapitel 4.4.3.2). Verfügt die Anlage dagegen über eine optisch gesteuerte Entrindungsanlage, so werden stirnseitig angebrachte Transponder während der Entrindung nicht zerstört und können unmittelbar vor oder sogar bei der Werksvermessung ausgelesen werden.



Abbildung 13: Geschlossene Entrindungsmesser

Aufgrund der unterschiedlichen Stammdurchmesser von 15 bis 80 cm sind hier **Lesereichweiten** von bis zu einem Meter notwendig. Passt sich die Antenne an den jeweiligen Stammdurchmesser an (z. B. „Antennenvorhang“), kann auch mit niedrigeren Lesereichweiten gearbeitet werden. Die Auslesung kann an dieser Stelle von Metall und Störfrequenzen von starken elektrischen Anlagen beeinflusst werden.

4.1.4.3 Fazit für das Sägewerk

Eine automatische Auslesung am **Werkseingang** lässt sich weder mit passiven LF- noch mit HF-Transpondern realisieren, allenfalls UHF wäre hierzu möglicherweise in der Lage. Eine manuelle Auslesung jeder Fuhre ist sicher möglich, aber sehr zeitaufwändig.

Bei der **Werkvermessung** lassen sich nahezu alle Transponder auf irgendeine Art und Weise auslesen, allerdings bietet die stirnseitige Applikation bei Entrindungsanlagen mit optischer Messersteuerung Vorteile, da in diesem Fall die Transponder nicht vor der Entrindung ausgelesen werden müssen.

4.2 Prüfung ausgewählter Transponder

Um verschiedene Transpondersysteme (Frequenzbereiche, Bauformen) bezüglich ihrer Eignung für einen Einsatz in der Holzerntekette beurteilen zu können, wurden während der Projektlaufzeit umfangreiche Versuche durchgeführt. Deren Ergebnisse führten unter Berücksichtigung der projektspezifischen Anforderungen (vgl. Kapitel 4.1) zur endgültigen Auswahl. Einige Transponder wurden dabei Langzeitversuchen (vgl. Kapitel 4.2.1) und Belastungsversuchen im LogIDLab[®] der Forschungsstelle 2 (vgl. Kapitel 4.2.2) unterzogen.

4.2.1 Langzeitversuche

An beiden Forschungsstellen wurden Langzeitversuche mit ausgewählten Transponderbauformen im Freien durchgeführt. In beiden Versuchen wurden je vier Stammabschnitte mit Transpondern versehen, die regelmäßig ausgelesen wurden. Um mögliche Unterschiede zwischen verschiedenen Baumarten identifizieren zu können, wurden Abschnitte der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche ausgewählt.

4.2.1.1 Langzeitversuch in Freising

Die Stammabschnitte wurden auf einer Freifläche im Thalhauser Forst in Freising gelagert (Abbildung 14) und waren dort völlig ungeschützt nahezu zwei Jahre der Witterung ausgesetzt. Tabelle 1 zeigt die untersuchten Transponder. Nachdem der Kleber der Etiketten nach wenigen Wochen nachgab, wurden die Klebeetiketten zusätzlich angeheftet.

Tabelle 1: Transponder im Langzeitversuch in Freising

LF (125 kHz)	HF (13,56 MHz)
Nageltransponder IC Unique, 35,5x4mm mit Glaskapsel 2,12x12mm, Sokymat	Holz-Plättchen Signumat Philips I-Code, 35x43mm mit Inlet 16x20mm, Latschbacher
	Klebeetikett quadratisch TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData

Je Holzabschnitt wurden fünf Etiketten und fünf Signumat Holz-Plättchen stirnseitig angebracht. Daneben wurden jeweils zehn Nägel stirnseitig und zehn Nägel seitlich appliziert.



Abbildung 14: Langzeitversuch der TU München in Freising

Während die Anbringung der Etiketten und der Holz-Plättchen problemlos funktionierte, gab es bei den Nageltranspondern teilweise erhebliche Schwierigkeiten. Bei seitlicher, aber auch bei stirnseitiger Applikation bei den Laubhölzern wurde eine beträchtliche Anzahl an Nägeln zerstört (siehe Tabelle 2). Eines der zwanzig Holz-Plättchen funktionierte ebenfalls nach der Anbringung nicht mehr.

Tabelle 2: Anzahl bei der Applikation zerstörter Nageltransponder (von jeweils 10 Stück)

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Stirnseitige Applikation	0	0	4	3
Seitliche Applikation	6	4	9	1

Während der fast zweijährigen Versuchsdauer fiel kein Transponder aus. Auch bei Temperaturen von minus zwanzig Grad waren alle Transponder auslesbar. Schneeauflagen waren nur insofern ein Problem, als dass sie oft deutlich dicker waren als die maximale Lesereichweite der verwendeten Transponder mit dem MDE, weswegen die Schneeaufgabe gegebenenfalls entfernt werden musste. Ein Einfluss des Schnees auf die Lesereichweite konnte aber nicht festgestellt werden.

4.2.1.2 Langzeitversuch in Dortmund

Tabelle 3 zeigt die in Dortmund im Langzeitversuch untersuchten Transponder.

Tabelle 3: Transponder im Langzeitversuch in Dortmund

LF (125 kHz)	HF (13,56 MHz)
Nageltransponder IC Unique, 35,5x4mm mit Glaskapsel 2,12x12mm, Sokymat	Holz-Plättchen Memory Tag r/w, 35x43mm mit Inlet 30x30mm, Codimex
Coin World Tag IC Unique, 50 mm Ø Sokymat	Klebeetikett Plasto-Label TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData
Clear Disk Scemtec	Klebeetikett quadratisch TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData

In Dortmund lagerten die Stammabschnitte auf dem Freigelände des LogIDLab® (Abbildung 15). Die Nageltransponder und Holz-Plättchen wurden direkt im Holz verankert, die Coins und Clear Disks wurden angenagelt. Die Klebeetiketten zeigten sich schnell als ungeeignet, da der Klebstoff nicht ausreichend auf dem Holz haftete und die Etiketten sich nach kurzer Zeit wieder lösten.



Abbildung 15: Langzeitversuch auf dem Freigelände des LogIDLab® in Dortmund

Die Tests wurden unmittelbar nach Projektbeginn Ende 2004 gestartet, um einen möglichst langen Evaluierungszeitraum nutzen zu können. Der Einfluss des Wetters hinterließ teils deutliche Spuren an den Transpondern, wie in Abbildung 16 zu erkennen ist.

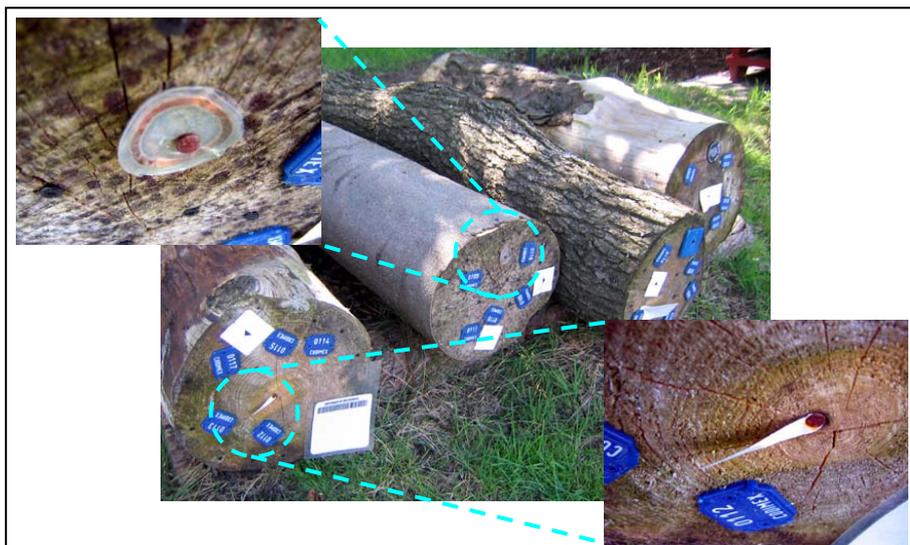


Abbildung 16: Beschädigungen der Transponder durch Witterungseinflüsse

Um die Funktionalität der applizierten Transponder zu überprüfen, wurden sie in regelmäßigen Abständen ausgelesen. Neben der reinen Funktionsprüfung diente dies auch zur Überprüfung der Lesereichweite bei unterschiedlichen Umweltbedingungen. Aufgrund der prinzipiell sehr guten Eignung der Nageltransponder wurde in Dortmund eine eigene Testreihe aufgesetzt, die sich ausschließlich mit diesen speziellen RFID-Tags befasste. Dazu wurden in die Baumstämme insgesamt 90 dieser Nägel eingeschlagen, wobei 17 davon direkt beim Einschlag zerstört wurden – besonders das harte Buchenholz stellte eine große Herausforderung für die Kunststoffnägel dar (vgl. dazu auch Kapitel 4.2.1.1 und 4.2.2).

Besonders gute Resultate im Hinblick auf die Witterungsbeständigkeit lieferten erwartungsgemäß die Nageltransponder, die aufgrund der Applikation im Holz weitgehend geschützt und daher dem Wetter praktisch nicht ausgesetzt sind. Ebenso konnten keine Beschädigungen oder Beeinträchtigungen der Funktionalität durch das bei wechselnder Feuchtigkeit sich dehnende und zusammenziehende Holz festgestellt werden. Alle nach dem Einschlag noch funktionsfähigen Nageltransponder (rund 81% der Probe) waren bis zum Ende der Projektlaufzeit auslesbar. Ein erheblicher Nachteil dieser Bauform bzw. Frequenz ist allerdings die geringe Lesereichweite von durchschnittlich etwa 2,5 Zentimetern (vgl. Tabelle 4), wobei anzumerken ist, dass die Reichweite erheblich vom benutzten Lesegerät abhängt. Doch auch mit neuesten Geräten ließ sich die Reichweite nicht über 5 cm hinaus steigern. Das Auslesen bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen mittels eines entsprechenden, tragbaren Lesegerätes war unproblematisch. So konnten die Transponder auch unter einer Schneedecke ohne Schwierigkeiten ausgelesen werden, wobei sich auch die Lesereichweite nicht wesentlich veränderte. Dies ist vor allem durch die genutzten Frequenzen (LF und HF) zu erklären, die relativ unempfindlich gegenüber Flüssigkeiten sind (vgl. Kapitel 3).

Tabelle 4: Testergebnisse Langzeitversuche Dortmund (Auszug)

Ausleseprotokoll							
Datum der Auslesung	Transponder-ID	Datum der Applikation	funktionsfähig?	Umwelt	Temperatur	Lese-reichweite	Funktionsdauer
12.05.05	0414EBFBOE	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF05A	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBD93A	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,3 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF2AF	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBECC O	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,8 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF3375	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF9C1	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,3 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBE61C	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage
12.05.05	0414EBF515	08.03.2005	Ja	Trocken	17 °C	2,5 cm	65 Tage

Als grundsätzlich ungeeignet erwiesen sich Klebeetiketten, da unter den extremen Bedingungen bei der Holzernte kein verfügbarer Klebstoff die nötige Haftung aufbringen konnte (vgl. zum Anforderungsprofil Kapitel 4.1). Bereits die Langzeitversuche im Freien zeigten deutlich, dass herkömmliche Klebeetiketten den Anforderungen nicht gewachsen sind, da das Verlustrisiko durch Versagen der Klebeeigenschaft zu hoch ist. Hier wäre die Entwicklung spezieller Klebstoffe notwendig.

4.2.2 Belastungsversuche

Die Nageltransponder und das Spezial-Klebeetikett Plasto-Label wurden zusätzlichen Belastungsversuche unterzogen. Die Nageltransponder wurden detailliert untersucht, um ihre Eignung für eine automatische Applikation zu prüfen, während das Plasto-Label eine sehr robuste Bauform darstellt, deren Grenzen aufgezeigt werden sollten.

Tabelle 5: Untersuchte Transponder in den Belastungsversuchen

LF (125 kHz)	HF (13,56 MHz)
Nageltransponder IC Unique, 35,5x4mm mit Glaskapsel 2,12x12mm, Sokymat	Klebeetikett Plasto-Label TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData

4.2.2.1 Belastungsversuch Nageltransponder

Bereits im Verlauf der manuell durchgeführten Applikationen im Zuge der Langzeitversuche (siehe Kapitel 4.2.1) zeigte sich, dass die Kunststoffhülse der RFID-Nägel unter bestimmten Umständen den Einschlagvorgang nicht übersteht und damit auch der innen liegende Glaskapseltransponder beschädigt wird. Zur genaueren Untersuchung wurden daher definierte Belastungsversuche im Labor der Forschungsstelle 2 durchgeführt.

4.2.2.1.1 Versuchsdurchführung

Mit Hilfe einer hydraulisch betriebenen Maschine für Zug-/Druckprüfungen wurden Nageltransponder an drei unterschiedlichen Stellen (siehe unten) mit kontinuierlichem Vorschub in das Holz getrieben und die Messwerte für Zeit- und Kraftaufwand mit einer speziellen Software protokolliert (Abbildung 17). Ein weiterer Messparameter war die Holzfeuchtigkeit, die vor dem jeweiligen Eindrückversuch mit Hilfe eines entsprechenden Messgeräts an der Applikationsstelle festgestellt wurde (siehe Abbildung 18).



Abbildung 17: Versuchsaufbau Eindrücktests Nageltransponder im LogIDLab®

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



Abbildung 18: Messung der Holzfeuchtigkeit im LogIDLab[®]

Die Einstellungen an der Maschine wurden wie folgt gewählt:

- **Kraftlimit: 3000 N**

Dieses Limit wurde gesetzt, um Beschädigungen an Maschine und Prüfobjekt zu vermeiden. Da die zum Eindrücken erforderlichen Kräfte wesentlich geringer sind (siehe unten), stellt dieser Wert keine Einschränkung der Versuche dar.

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.

- **Vorlast: 20 N**

Mit maximal dieser Kraft wird mit der Anfangsgeschwindigkeit getestet. Der an dieser Stelle gewählte, sehr geringe Wert ist jedoch nicht weiter von Bedeutung, da die Anfangs- und Prüfgeschwindigkeit gleichgesetzt wurden. Gleichwohl erfordert die Programmierung der Maschine diese Angabe.

- **Anfangs- und Prüfgeschwindigkeit: 500 mm/min**

Diese Angabe entspricht dem maximal mit der verfügbaren Maschine zu realisierenden Wert. Er wurde gewählt, um dem Vorgang des Einschlagens möglichst nahe zu kommen, wenngleich das kontinuierliche Eindringen der Maschine mit dem Einschlagvorgang durch einen Hammer nicht direkt vergleichbar ist.

- **Weglimit: 29 bis 33 mm**

Das Weglimit gibt den maximal zurückzulegenden Verfahrweg der Maschine an. Die Einstellung schwankt in Abhängigkeit von der Schrägheit der Applikationsfläche – wenn Druckbolzen und Fläche nicht parallel zueinander sind, kann die maximale Eindringtiefe von 35 mm (dies entspricht der Länge des Nagels) nicht erreicht werden. Auch unter guten Bedingungen wurde mit einer Sicherheitszugabe von 2 mm gearbeitet.

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 das Loch zu einer Spalte, 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.

4.2.2.1.2 Versuchsergebnisse

Abbildung 19 bis Abbildung 21 zeigen die grafische Auswertung der Versuche für die Baumart Fichte.

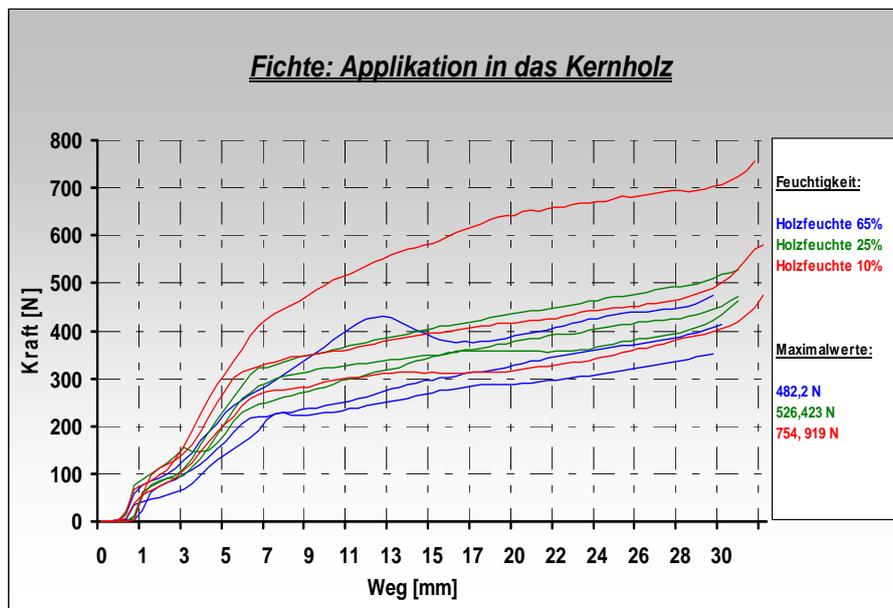


Abbildung 19: Applikationsdiagramm Fichte: Kernholz

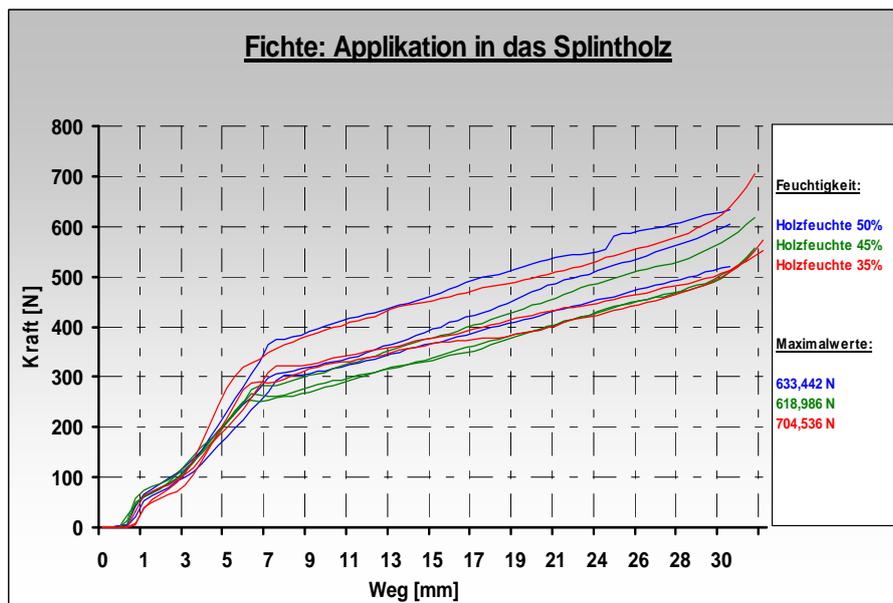


Abbildung 20: Applikationsdiagramm Fichte: Splintholz

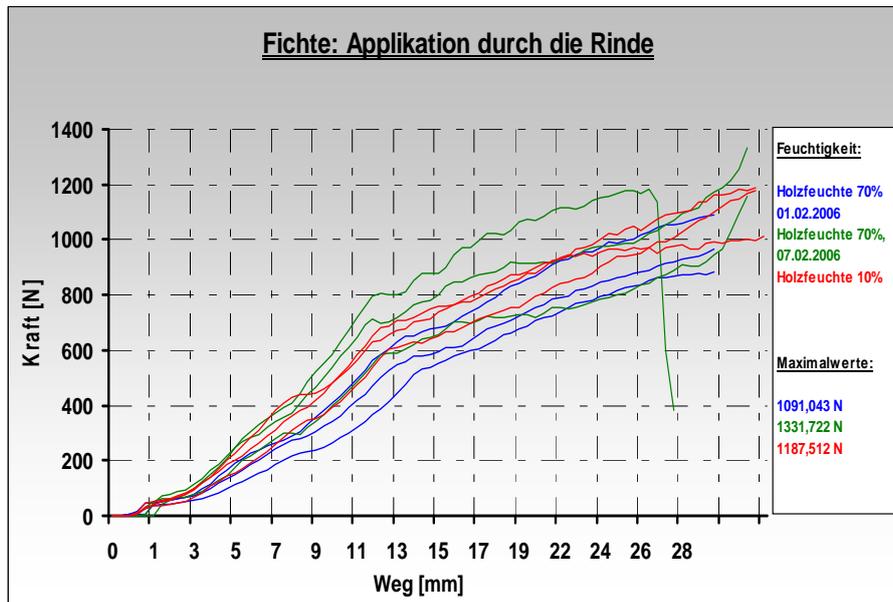


Abbildung 21: Applikationsdiagramm Fichte: Rinde

Bei **Fichte** war der größte Kraftaufwand bei seitlicher Applikation durch die Rinde mit teilweise mehr als 1.300 Newton erforderlich (siehe Abbildung 21). Während des Tests wurde dabei ein Nagel zerstört, erkennbar an der steil abfallenden Linie. Bei Applikation in das Kern- und Splintholz wurden die Nägel nur etwa halb so stark belastet wie bei seitlicher Applikation. Offensichtliche Ursache ist der bei der Applikation durch die Rinde erforderliche Eintrieb quer zur Faserrichtung. 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 22 bis Abbildung 24 zeigen die entsprechenden Resultate für die **Kiefer**.

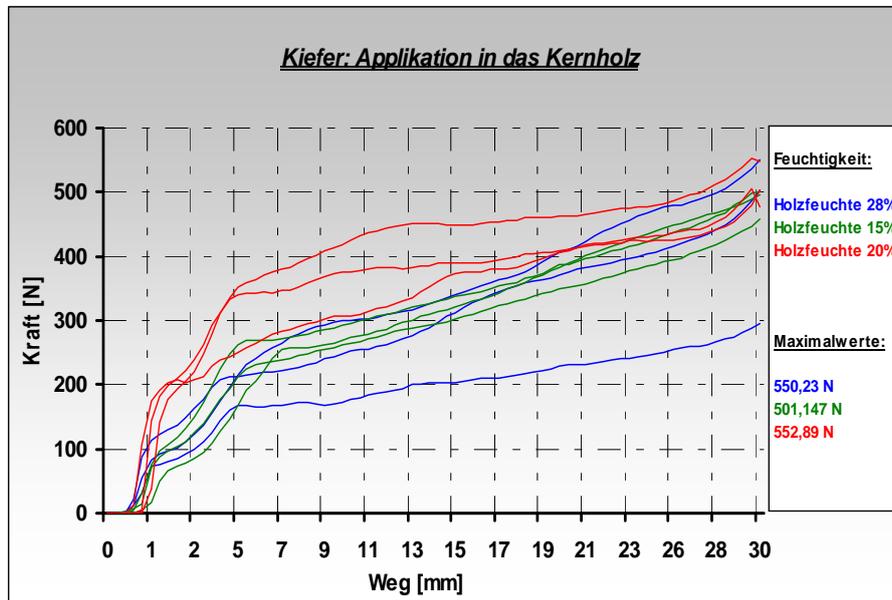


Abbildung 22: Applikationsdiagramm Kiefer: Kernholz

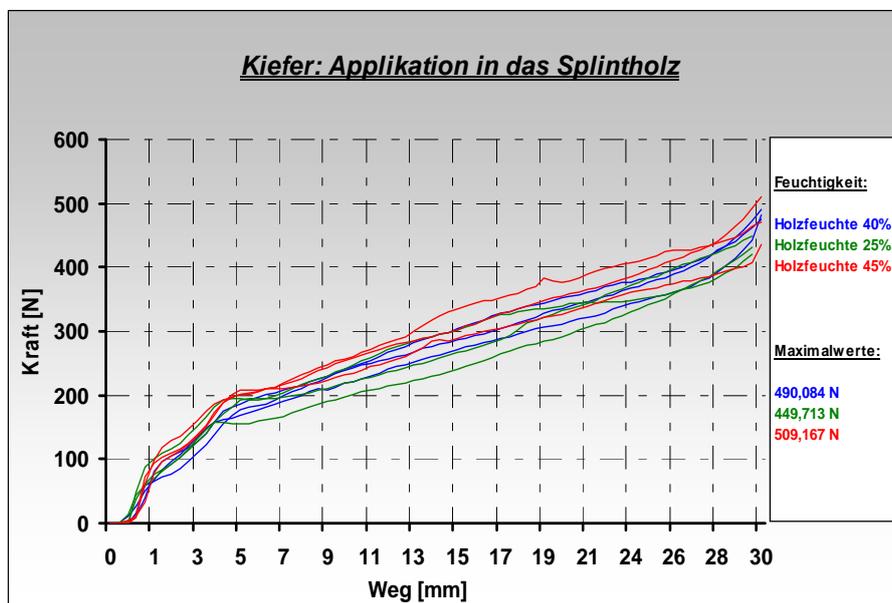


Abbildung 23: Applikationsdiagramm Kiefer: Splintholz

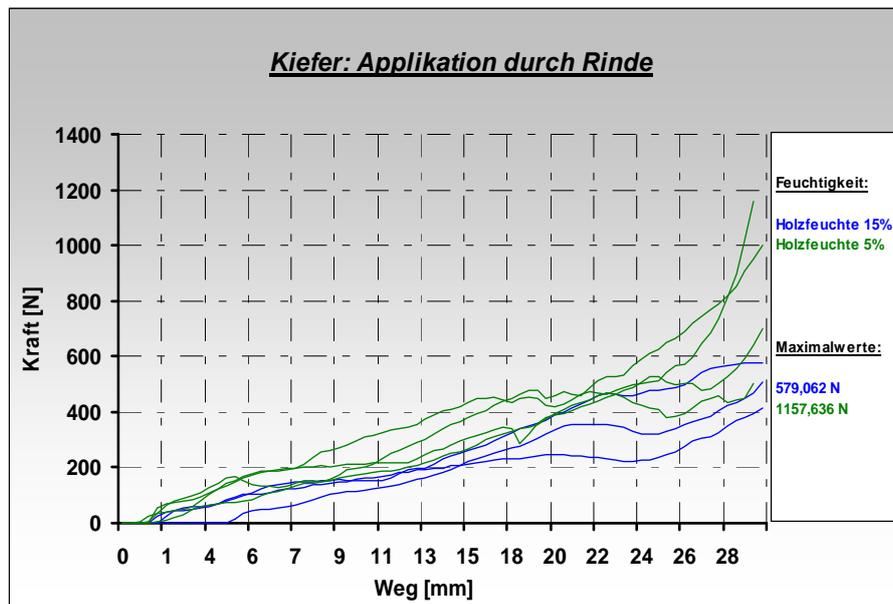


Abbildung 24: Applikationsdiagramm Kiefer: Rinde

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 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 zu erkennen.

Auch bei der **Eiche** (Abbildung 25 bis Abbildung 27) 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.

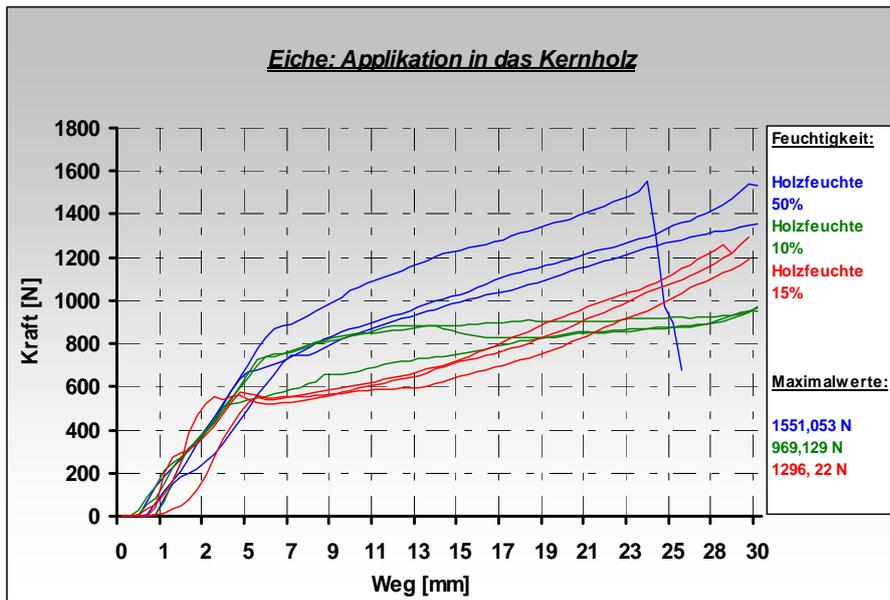


Abbildung 25: Applikationsdiagramm Eiche: Kernholz

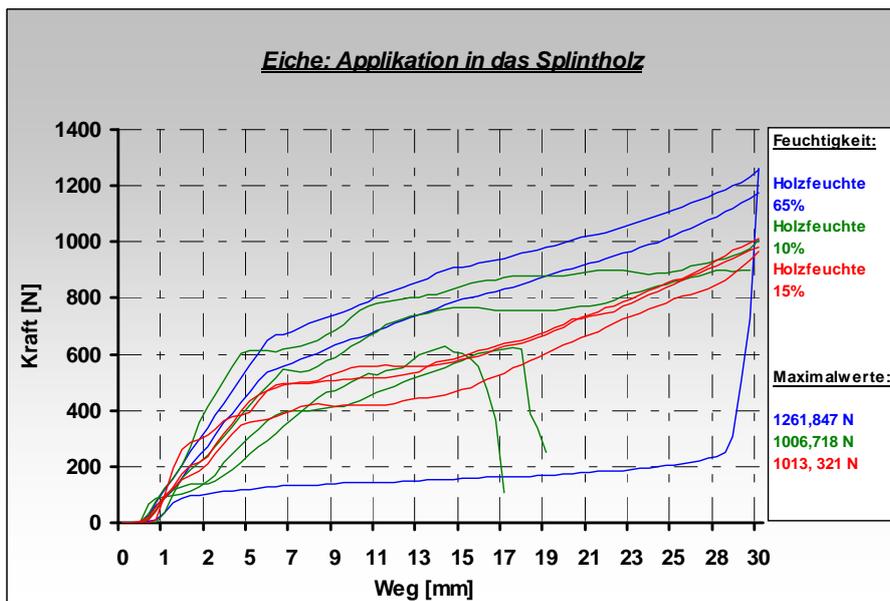


Abbildung 26: Applikationsdiagramm Eiche: Splintholz

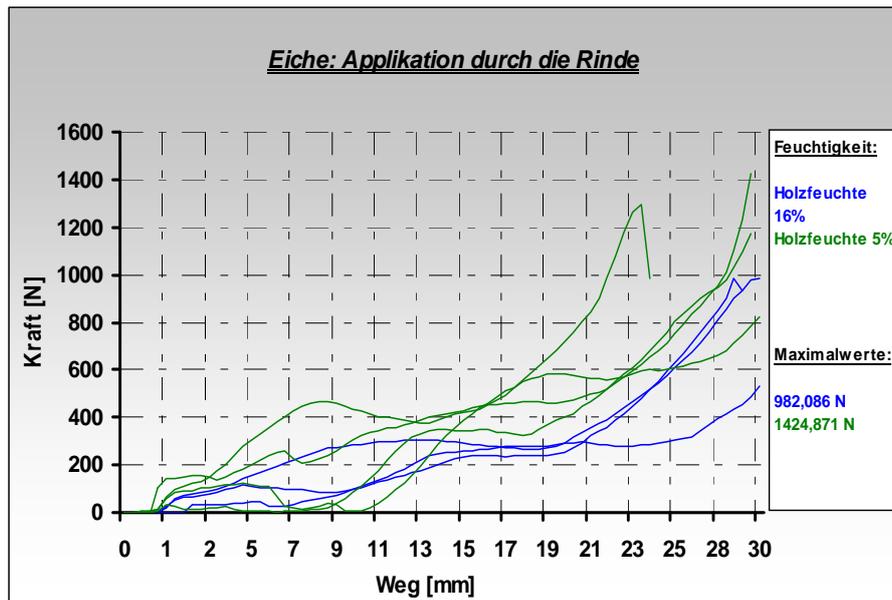


Abbildung 27: Applikationsdiagramm Eiche: Rinde

Abschließend folgen die Diagramme der Versuche mit der Baumart **Buche** (Abbildung 28 bis Abbildung 30). Auch hier konnten aufgrund der schnellen Trocknung nur zwei Eindrückversuche durch die Rinde durchgeführt werden.

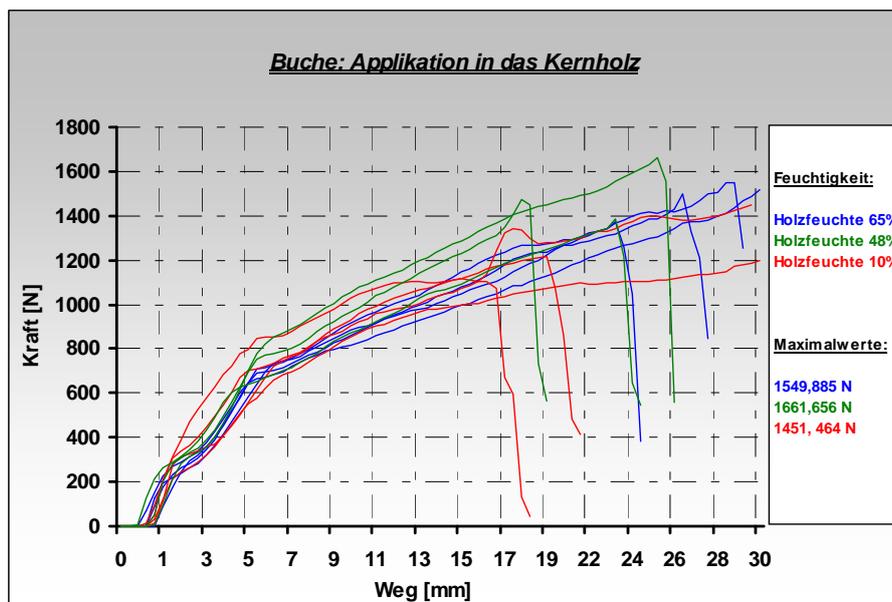


Abbildung 28: Applikationsdiagramm Buche: Kernholz

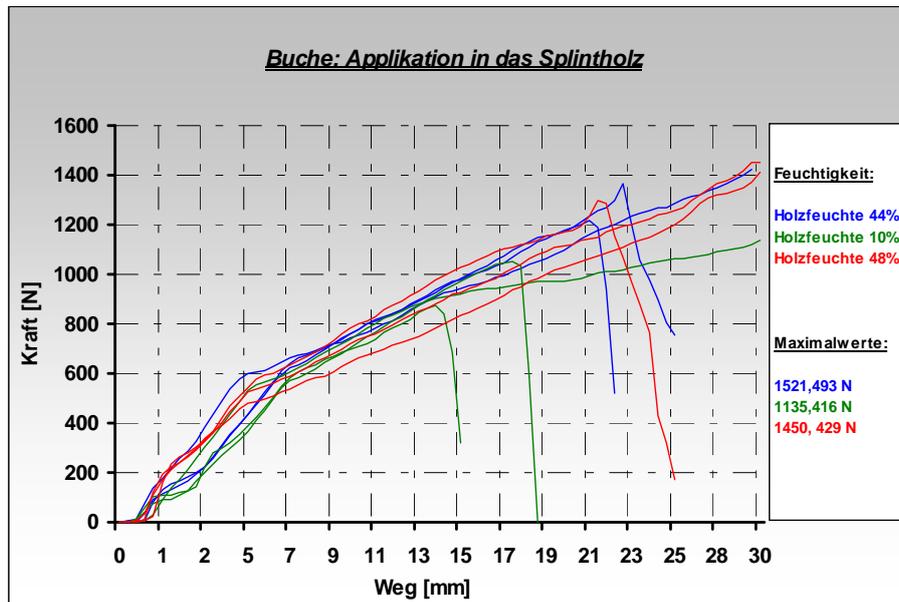


Abbildung 29: Applikationsdiagramm Buche: Splintholz

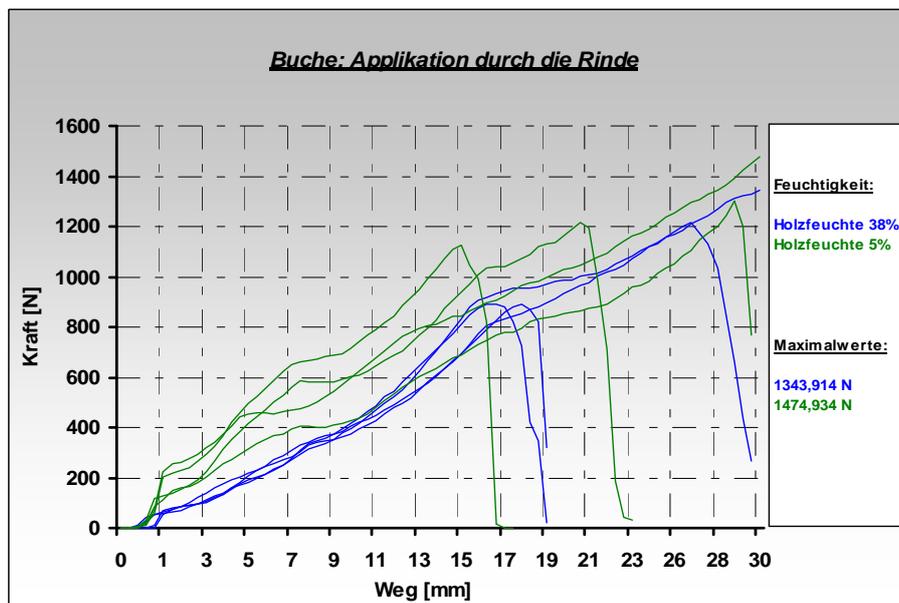


Abbildung 30: Applikationsdiagramm Buche: Rinde

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 Ein-

satz von Transpondernägeln bei Buche weitere Schritte wie etwa das Vorbohren von Löchern notwendig sind.

Der folgende Box-Plot (Abbildung 31) 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.

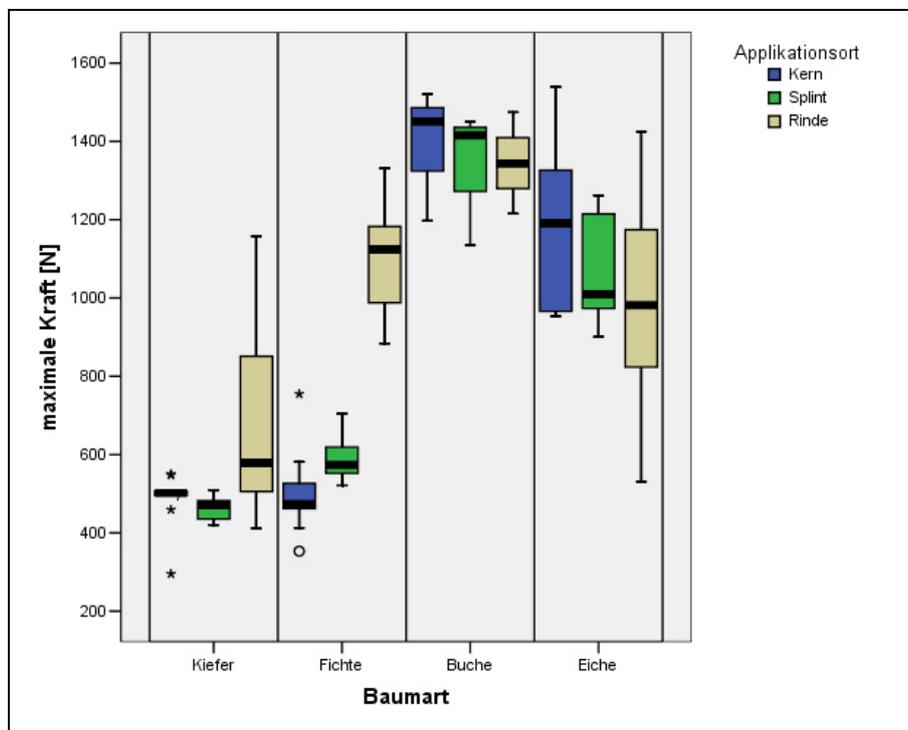


Abbildung 31: Box-Plot des Kraftaufwands in Abhängigkeit von der Baumart

In einer weiteren Darstellung ist die Verteilung des Kraftaufwandes in Abhängigkeit der Holzfeuchtigkeit noch einmal zusammengefasst (Abbildung 32). Ohne Berücksichtigung der Baumart wird anhand der Betrachtung der eingezeichneten Mittelwerte deutlich, dass die Applikation durch die Rinde den höchsten Kraftaufwand erfordert. Kern- und Splintholz liegen in etwa gleich auf. Eine eindeutige Schlussfolgerung in Bezug auf den Einfluss der Holzfeuchtigkeit kann hingegen nicht gezogen werden, da die Streuung der

Werte sehr groß ist und sich der Kraftaufwand bei unterschiedlicher Holzfeuchte nicht in jedem Fall nennenswert unterscheidet.

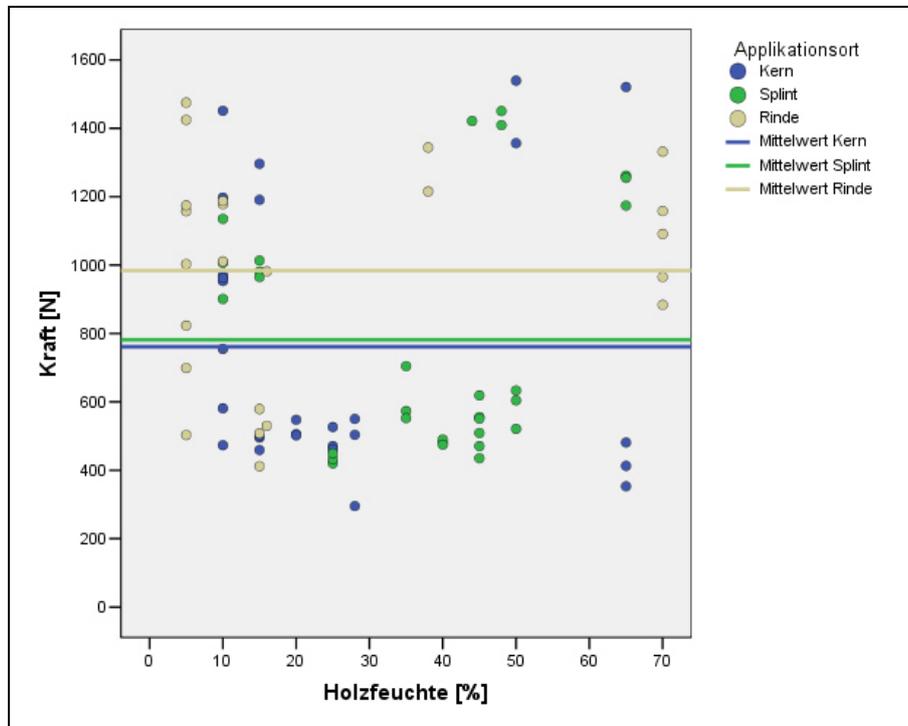


Abbildung 32: Streudiagramm des Kraftaufwands in Abhängigkeit von der Holzfeuchte

4.2.2.2 Belastungsversuch Spezialetikett Plasto-Label

Grundsätzlich wurde die Verwendung von Klebeetiketten nicht ausgeschlossen, weshalb diese besonders robuste Bauform auf ihre Eignung hin untersucht wurde. Neben den Langzeitversuchen im Freien (vgl. Kapitel 4.2.1) ergab sich in diesem Fall die Notwendigkeit, die Belastungsfähigkeit auf die Probe zu stellen, da bei der Applikation vor Kopf vor allem bei den Ladevorgängen erhebliche mechanische Belastungen auftreten, bspw. wenn der Baumstamm gegen das Stirngatter eines Forwarders gedrückt wird.

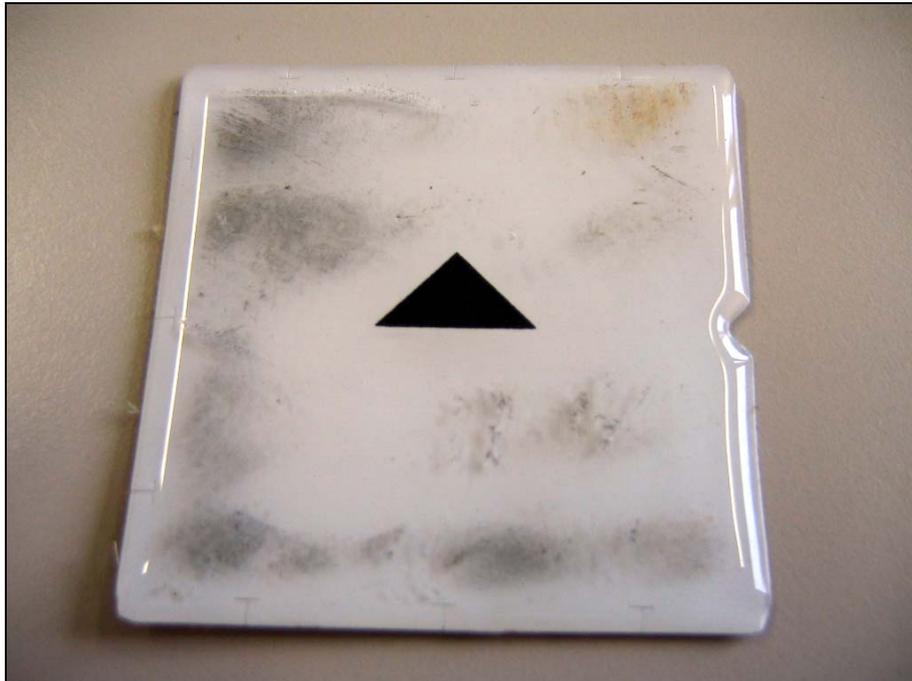


Abbildung 33: 13,56 MHz-Klebeetikett Typ Plasto-Label nach einem Testdurchlauf

Unter Berücksichtigung des geplanten Einsatzgebietes und bereits bestehender Erfahrungswerte mit herkömmlichen Klebeetiketten aus dem Logistikbereich¹¹ wurden die Tests mit dem Spezialetikett Plasto-Label durchgeführt, das durch eine Gel-Schicht gezielt gegen Stoß- und Druckbelastungen isoliert ist (siehe Abbildung 33).

4.2.2.2.1 Versuchsdurchführung

Die potenziell auftretenden Belastungen wurden im Rahmen von Fallversuchen bestmöglich simuliert, der entsprechende Versuchsaufbau ist in Abbildung 34 dargestellt.

¹¹ Normale Etiketten sind sehr flach und kaum dicker als Papier, weshalb sie so gut wie keinen Schutz gegenüber mechanischen Belastungen aufweisen. Der Chip – und damit der gesamte Transponder – ist bereits nach geringer Stoßbelastung unbrauchbar.



Abbildung 34: Versuchsaufbau für den Belastungsversuch Plasto-Label im LogIDLab®

Das 25 cm² große und ca. 1,5 mm dicke Transponder-Etikett wurde auf ein Stück Holz aufgeklebt und dann zwischen zwei Gewichten mit jeweils 25 kg so eingespannt, dass das Etikett plan zwischen dem oberen Gewicht und dem Holz platziert wurde. Alles zusammen wurde auf 1 m Höhe – gemessen von der Unterkante des unteren Gewichts – am Fallhaken positioniert und dann auf die Bodenplatte durch Öffnen des Sicherungshakens fallen gelassen (vgl. Abbildung 34). Dieser Versuch wurde insgesamt zehn Mal wiederholt, unter anderem um fertigungsbedingte Toleranzen ausgleichen zu können.

4.2.2.2 Versuchsergebnisse

Acht der zehn Etiketten haben den Fallversuch überstanden und waren unmittelbar darauf noch auslesbar. Die Wucht des Aufpralls drückte die Gel-Schicht derart zusammen, dass die Dicke der Etiketten auf nur noch wenige Zehntel Millimeter schrumpfte, aber der Chip wurde erfolgreich vor dem Druck geschützt, so dass die Funktionsfähigkeit auch weiterhin gegeben war. Als problematisch erwiesen sich allerdings Holzsplitter, die sich von unten in das Etikett drückten und im ungünstigen Fall den Transponder funktionsunfähig machten.

4.2.3 Schlussfolgerungen

Die Testergebnisse der Langzeit- und Belastungsversuche lassen mehrere Schlüsse zu. Nageltransponder sind überaus robust und durch die Applikation im Holz praktisch unverlierbar, so dass sie im Prinzip optimal für den Einsatz im forstlichen Umfeld geeignet sind. Auf der anderen Seite ist ihre Reichweite zu gering, um im Rahmen der automatisierten Kette sinnvoll eingesetzt werden zu können. RFID-Nägel empfehlen sich daher vorwiegend für die motormanuelle Kette (vgl. Kapitel 4.4.1). Eine Applikation mit einem Hammer ohne Vorbohren oder Vorstanzen ist aber im Hinblick auf die Testergebnisse als nicht sinnvoll einzustufen.

Für die hochmechanisierte Kette sind Systeme mit einer deutlich größeren Reichweite erforderlich, d. h. die Antenne des Transponders muss ausreichend groß und die Frequenz passend gewählt sein. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden daher ISO-Karten mit 13,56 MHz als geeignet angesehen (vgl. Kapitel 4.4.2).

4.3 Datenhaltungs- und Datenübertragungskonzept

Grundlage des entwickelten Datenhaltungs- und Datenübertragungskonzeptes ist eine Serverarchitektur, die einen problemlosen Datenaustausch zwischen allen an der Holzerntekette beteiligten Akteuren sicherstellt. Den zentralen Bestandteil einer solchen Architektur bildet eine Datenbank zur Speicherung aller anfallenden Daten. Auf dieser Datenbank sollen geeignete Dienste aufsetzen, welche die Speicherung und Bereitstellung der Daten realisieren. Ein Großteil der Daten wird im Wald erzeugt, entweder automatisch in der hochmechanisierten Holzerntekette oder manuell mittels mobiler Datenerfassungsgeräte. Beide Verfahren sollten durch die Serverarchitektur abgedeckt werden. Einen Schwerpunkt bildete der Entwurf einer Datenbank, welche die bei der Holzernte und Weiterverarbeitung anfallenden Daten in optimaler Weise erfasst. Dabei sollte das Datenaustauschformat ELDAT Verwendung finden, ein bundeseinheitlicher Schnittstellenstandard zur Übertragung von Holzdaten.

Daneben wurde eine Datenbankschnittstelle zur Speicherung und Bereitstellung der Daten entwickelt. Anhand der Implementierung einer Anwendung wurde gezeigt, wie das Verarbeiten von Daten, die mittels eines mobilen Datenerfassungsgeräts generiert wurden, durchgeführt werden kann.

4.3.1 Datenbank

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Entwurf und der Implementierung einer einsatzfähigen Datenbank zur Speicherung jeglicher Daten, die im Laufe des Holzernteprozesses generiert werden. Die Datenbank sollte auf Basis von ELDAT erstellt werden. Als Erstes wurde dazu untersucht, welche ELDAT-Satzarten in den Entwurf der Datenbank einzubeziehen waren. Anschließend wird erläutert, wie die als relevant eingestuften Satzarten sowie die damit in Beziehung stehenden ELDAT-Referenzen in die Datenbank überführt werden können und welche Probleme dabei auftraten.

4.3.1.1 Analyse der zu erhebenden Daten

Für den Datenaustausch mit ELDAT sind insgesamt 15 Satzarten spezifiziert, wobei jede Satzart der Übertragung unterschiedlicher Informationen dient (siehe ELDAT 2002a). Die Satzarten werden im Folgenden durchgehend in ihrer abgekürzten Form genannt. In Tabelle 6 findet sich eine Auflistung aller Satzarten mit der dazugehörigen Kurzform.

Tabelle 6: Datenerhebungspunkte und zugehörige ELDAT-Satzarten

Datenerhebungspunkt	ELDAT-Satzart
Bestand	WO
	HLK
	HLE
Rückung (Polter Waldstraße)	HLK
	HLE
	HLA (Polter)
LKW (Abfuhr Waldstraße)	HLK
	HLE
	HLA (Fuhre)
Werkseingang	WDK
	WDE
	WDA (Fuhre)
Werksvermessung	WDK
	WDE
	WDA (Sorten etc.)

Zunächst wurde ermittelt, welche der Satzarten bezogen auf das Projekt für den Entwurf der Datenbank notwendig waren und welche Satzarten hierfür nicht benötigt wurden. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Daten bestimmt, die im Laufe des Holzernteprozesses an festgelegten Datenerhebungspunkten generiert werden. Die Datenerhebungspunkte sind: Bestand, Rückung, LKW, Werkseingang und Werksvermessung. Dabei war zu berücksichtigen, dass die Daten für einen einzelnen Abschnitt sowohl durch motormanuelle als auch durch hochmechanisierte Holzernteverfahren erhoben werden können. Die beiden Verfahren unterscheiden sich in Art und Umfang der

erzeugten Daten. Die Datenbank musste eine zuverlässige Speicherung aller Daten gewährleisten.

Anschließend wurden anhand der ermittelten Daten jene Satzarten bestimmt, die zur Übertragung der Daten verwendet werden. Zugleich konnte daraus eine Zuordnung von Satzarten zu Datenerhebungspunkten vorgenommen werden (siehe Tabelle 6). Diese Satzarten wurden für den Entwurf der Datenbank benötigt.

Die einzelnen Satzarten enthalten eine sehr große Anzahl an Datenfeldern, i. d. R. weit aus mehr, als an den genannten Datenerhebungspunkten Daten erhoben werden. Beim Entwerfen der Datenbank wurden jedoch nur die Felder berücksichtigt, für die entsprechende Daten existieren, alle anderen Datenfelder wurden nicht miteinbezogen. Eine Auflistung der für den Datenbankentwurf relevanten bzw. nicht relevanten Felder finden sich im Datenbankdiagramm in Abbildung 60 in Anhang A, die relevanten Datenfelder entsprechen den in den Datenbanktabellen dargestellten Attributen.

4.3.1.2 Datenbankentwurf

4.3.1.2.1 Überführung der ELDAT-Satzarten in Datenbanktabellen

Ausgehend von Kapitel 4.3.1.1 werden für den Entwurf der Datenbank die folgenden ELDAT-Satzarten benötigt: *WO*, *HLK*, *HLE*, *HLA*, *WDK*, *WDE* und *WDA*. Jede Satzart liegt in der ELDAT-Spezifikation als Tabellenblatt vor und ist in die folgenden sechs Spalten unterteilt (vgl. ELDAT 2002a):

- Spalte 1: Feldnummer, zur Durchnummerierung der Felder
- Spalte 2: Feldname, ein innerhalb einer Satzart eindeutiger Name der aus maximal 30 Zeichen besteht und keine Leer- und Sonderzeichen enthält
- Spalte 3: Schlüssel, beschreibt Beziehungen zwischen den Satzarten
- Spalte 4: Feldformat, legt das Format der Feldinhalts fest
- Spalte 5: Pflichtfeld, kennzeichnet das Feld als zwingend notwendig oder optional
- Spalte 6: Hinweis, enthält weitere Informationen zum Feld, bzw. den Namen der Referenztable auf die sich das Feld bezieht

Auf Grund dieser Darstellung als Tabellenblatt können die Satzarten relativ einfach in Datenbanktabellen überführt werden. Dazu wird für jede Satzart eine eigene Tabelle definiert, als Tabellename wird der Name der zugehörigen Satzart gewählt. Die Feldnamen der Satzarten können unverändert als Attribute in die Tabellen übernommen werden. Wie bereits in Kapitel 4.3.1.1 beschrieben, werden jedoch nur die Datenfelder übernommen, für die an den Datenerhebungspunkten Daten generiert werden.

Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass alle Datenfelder, die als Pflichtfelder markiert sind, in die Tabellen mit aufgenommen werden. Bei Datenfeldern, für die Daten generiert werden, erfolgt dies bereits automatisch im vorherigen Schritt, Pflichtfelder die dadurch unberücksichtigt bleiben, müssen nachträglich in die Tabelle übernommen werden. Eine Ausnahme existiert jedoch: Das Feld Satzart wird, obwohl es ein Pflichtfeld ist, nicht als Attribut in die Tabellen übernommen. Dieses Feld ist lediglich während der Übertragung der Daten im ELDAT-Format von Bedeutung, um die zu übertragenden Daten einer Satzart zuordnen zu können. Die gespeicherten Daten hingegen sind automatisch durch die Tabelle, in der sie abgelegt sind, einer Satzart zugeordnet.

Als nächster Schritt wird jeder Tabelle ein Primärschlüssel zugewiesen, wodurch Verweise zwischen den Datensätzen unterschiedlicher Tabellen realisiert werden können. Für die beiden Satzarten *HLK* und *WDK* ist bereits in der ELDAT-Spezifikation je ein Datenfeld als Primärschlüssel definiert. Dies vereinfacht die Festlegung von Primärschlüsseln in den dazugehörigen Datenbanktabellen, indem die diesen Datenfeldern entsprechenden Attribute ebenfalls als Primärschlüssel definiert werden. Die Satzarten *WO*, *HLA*, *HLE*, *WDA* und *WDE* hingegen besitzen keinen Primärschlüssel. Für deren Datenbanktabellen eignen sich als Primärschlüssel die in der ELDAT-Spezifikation beschriebenen technischen Schlüsselfelder (vgl. ELDAT 2002a). Die technischen Schlüsselfelder bilden die ersten sechs Datenfelder jeder Satzart und sollen die systemweit technische Eindeutigkeit des Datensatzes gewährleisten. Diese sind: *Satzart*, *Staatenschluessel*, *Landesschluessel*, *Identifikationsschluessel*, *Schnittstellenkennung* und *Laufende_Nr*. Die diesen technischen Schlüsselfeldern entsprechenden Tabellenattribute werden nun als Primärschlüssel definiert. Da sie in den ELDAT-Satzarten als Pflichtfelder markiert sind, sind sie bereits, mit Ausnahme der Satzart, in den Datenbanktabellen enthalten, müssen also nicht nachträglich hinzugefügt werden. In Kapitel 4.3.2 wird

jedoch deutlich, dass der aus den technischen Schlüsselfeldern gebildete Primärschlüssel nicht sehr praktikabel ist. Bei der Datengenerierung durch Bordcomputer oder mobile Datenerfassungsgeräte ist nämlich nicht gewährleistet, dass auch tatsächlich alle Daten, die den Primärschlüssel betreffen, erzeugt werden. Deshalb wird nachträglich in den Tabellen *wo* und *hle*, welche in Kapitel 4.3.2.2 benötigt werden, ein künstlicher Primärschlüssel eingefügt, d. h. ein Primärschlüssel, der nicht auf einem in den Satzarten spezifizierten Datenfeld basiert.

Neben den Primärschlüsseln existiert in allen Satzarten eine Reihe von Fremdschlüsseln. Hier ist auf die gleiche Weise eine Übernahme in die Tabellen möglich, indem die Attribute, die den als Fremdschlüssel definierten Datenfeldern entsprechen, gleichfalls als Fremdschlüssel definiert werden. Ein Teil der Fremdschlüssel verweist jedoch auf Satzarten, die bisher nicht im Datenbankentwurf vorgesehen waren, da für sie entsprechend Abschnitt 4.3.1.1 keine Daten erhoben werden. Es handelt sich dabei um die Satzarten *ADA*, *ADL* und *INF*. Um nun die Fremdschlüsselbeziehungen entsprechend der ELDAT-Spezifikation unverändert übernehmen zu können, werden auch diese Satzarten als eigene Tabellen in die Datenbank aufgenommen, jedoch nur mit den jeweiligen Pflichtfeldern, Primärschlüsseln und Fremdschlüsseln.

Tabelle 7: ELDAT-Satzarten und zugehörige Datenbanktabellen

Satzart	Datenbanktabelle	Satzart	Datenbanktabelle
ADA	ada	LA	-
ADL	adl	RK	-
INF	inf	RP	-
HLK	hlk	WDK	-
HLE	hle	WDG	-
HLA	hla	WDE	wde
WO	wo	WDA	wda
V	-		

Damit ist die Überführung der ELDAT-Satzarten in Datenbanktabellen abgeschlossen. Es existieren nun neun Datenbanktabellen, Tabelle 7 fasst dies kurz zusammen: Zu jeder in ELDAT spezifizierten Satzart wird der Name der dazugehörigen Datenbanktabelle aufgelistet, insofern diese existiert.

Außerdem wird für jede Tabelle ein künstlicher Primärschlüssel in Form einer fortlaufenden Nummer eingeführt und nicht der vorhandene Referenzschlüssel in Form von Zeichenketten als Primärschlüssel verwendet. Dadurch ist gewährleistet, dass bei einer möglichen Umbenennung der Referenzschlüssel nicht auch die Fremdschlüssel an diese Änderungen angepasst werden müssen, was jedoch der Fall wäre, wenn die Referenzschlüssel als Primärschlüssel eingesetzt werden.

Tabelle 8 listet alle verwendeten ELDAT-Referenztabellen auf, sowie die zugehörigen Datenbanktabellen. Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Datenbanktabellen ist in Anhang A (Abbildung 61 und Abbildung 62) zu finden.

Tabelle 8: ELDAT-Referenztabellen und zugehörige Datenbanktabellen

Referenztable	Datenbanktable
Aggregation	ref_aggregation
Aggregationsstufe	ref_aggregationsstufe
Aufarbeitungsart	ref_aufarbeitungsart
Baumarten	ref_baumart
Bundesländer	ref_bundesland
Durchmesserermittlung	ref_durchmesser
Güte	ref_guete
Holzschaden	ref_holzschaden
Infoart	ref_infoart
Koordinatensystem	ref_koordinatensystem
Längeneinheit	ref_laengeneinheit
Merkmale WEV	ref_merkmal_wev
Rindenzustand	ref_rindenzustand
Rundung	ref_rundung
Sorte	ref_sorte
Staaten	ref_staat
Stärkeklasse	ref_staerkeklasse
Vermessungsverfahren	ref_vermessungsart
Verwendungssorte	ref_verwendungssorte
Volumen	ref_volumen

4.3.1.2.3 Schwächen des Datenbankentwurfs

Die Verwendung von ELDAT als Basis für den Datenbankentwurf bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Trotz der großen Anzahl an Datenfeldern können nicht alle im Projekt benötigten Informationen durch die entworfene Datenbank abgedeckt werden. Um auch diese Informationen zu speichern, sind an der Datenbank teilweise Erweiterungen vorzunehmen, was im Folgenden näher beschrieben wird.

• Zuordnung der RFID-Nummer zu einem Attribut

Ziel dieses Projektes, wie bereits in der Einleitung beschrieben, ist es, jeden Holzabschnitt zur eindeutigen Identifizierung mit einem RFID-Transponder zu markieren. Die im Transponder gespeicherte Nummer ist zusammen mit den Daten des markierten Abschnitts in die Datenbank zu übertragen. Für diese Nummer ist jedoch in ELDAT kein spezielles Feld vorgesehen. Jedoch bietet sich hierfür das Attribut *farbmarkierung* der Tabelle *hle* an, welches nun zur Speicherung der Transpondernummer verwendet wird.

• Zeitpunkt der Datenerhebung

Für Auswertungszwecke kann es später nützlich sein, dass die gespeicherten Datensätze Datum und Uhrzeit der Datenerhebung enthalten. In ELDAT sind jedoch keine Felder definiert, die diese Information zur Verfügung stellen. Dennoch wäre eine Datumsinformation insbesondere für die Satzarten *HLK* und *WDK* von Bedeutung. Aus diesem Grund werden die beiden Datenbanktabellen *hik* und *hle* jeweils um das Attribut *zeitstempel* erweitert. In dieses Feld kann nun der Zeitpunkt der Datenerhebung eingefügt werden, bzw., sollten diese Informationen nicht zur Verfügung stehen, der Zeitpunkt, an dem die Daten in die Datenbank gespeichert werden.

• Informationen über die Art der Meldung

Aus den Werten eines einzelnen Datensatzes einer Tabelle kann nicht geschlossen werden, zu welcher Art von Meldung der Datensatz gehört. Daher soll bei jeder Datenübertragung ein Wert mitgesandt werden, der darüber informiert, um welche Art von Meldung es sich handelt und anschließend in der Datenbank zusammen mit den ande-

ren Daten abgespeichert werden. Als Meldungsarten werden in der Reihenfolge ihres Auftretens im Holzernteprozess definiert:

- Fäll-Auftrag
- Fäll-Vollzugsmeldung
- Rücke-Auftrag
- Rücke-Vollzugsmeldung
- Transport-Auftrag
- Transport-Vollzugsmeldung
- Lieferungs-Avis
- Wareneingangs-Meldung

ELDAT selbst stellt mit der Referenztabelle *Infoart* eine Reihe von Referenzen zur Verfügung, die z. B. darüber Auskunft geben, ob es sich bei den übertragenen Daten um ein Angebot, eine Nachfrage oder eine Lieferung handelt (ELDAT 2002b). Die Infoarten decken sich jedoch nicht mit den hier definierten Meldungsarten, so dass diese zusätzlich zu den Infoarten mit in die Datenbank aufgenommen werden sollen. Eine Möglichkeit wäre nun, die Meldungsarten zur Tabelle *ref_infoart* hinzuzufügen, was jedoch eine Erweiterung der ELDAT-Spezifikation zur Folge hat. Aus diesem Grund wird die Datenbank um eine Tabelle *ref_meldungsart* erweitert, in der die oben aufgelisteten Meldungsarten eingetragen werden. Die Referenzierung auf diese Werte erfolgt aus der Tabelle *inf* über das Feld *info_betreff* (vgl. dazu Anhang A).

4.3.2 Datenübermittlung und Datenspeicherung

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Übermittlung von Daten und deren Speicherung in die entworfene Datenbank. Dazu wird als Erstes eine Datenbankschnittstelle implementiert, über die der Zugriff auf die Datenbank zum Speichern, Lesen und Aktualisieren der Daten möglich wird. Anschließend wird am Beispiel eines mobilen Datenerfassungsgeräts beschrieben, wie die Datenübermittlung und Datenverarbeitung bis hin zur Speicherung der Daten realisiert werden kann.

4.3.2.1 Modellierung der Datenbankschnittstelle

Die einfachste Möglichkeit, vom Programmcode aus auf die Datenbank zuzugreifen, besteht darin, die benötigten SQL-Anfragen direkt in den Code einzubetten. Dies bringt jedoch zwei wesentliche Nachteile mit sich (vgl. Kemper und Eickler 2004):

- Keine Wiederverwendbarkeit: Die SQL-Anfragen sind nur an den im Code eingefügten Stellen nutzbar. Eine Wiederverwendbarkeit an anderen Stellen ist nicht möglich, dazu muss die Abfrage erneut in den Code eingefügt werden.
- Unübersichtlichkeit: Die Vermischung des eigentlichen Programmcodes mit den Datenbankabfragen führt zu Unübersichtlichkeit und darüber hinaus zu schwerer wartbaren Programmen, z. B. wenn identische zu ändernde SQL-Anfragen über mehrere Stellen im Code verteilt sind.

Um diese Nachteile zu vermeiden, wurde eine Datenbankschnittstelle geschaffen, die SQL-Anfragen und Programmcode voneinander trennt und gleichzeitig den Zugriff auf die Datenbanktabellen zum Einfügen, Lesen und Ändern aller Daten ermöglicht. Die Datenbankschnittstelle setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, welche in diesem Projekt durch den Einsatz von Java Beans realisiert werden. Beim Design von Java Beans sind im Allgemeinen bestimmte Konventionen zu beachten (siehe Krüger 2002), für diesen Anwendungsfall ist es jedoch ausreichend, dass die Java Beans einen parameterlosen Konstruktor und eine bestimmte Anzahl von modifizierbaren Eigenschaften besitzen.

Jede für diese Datenbankschnittstelle entworfene Java Bean repräsentiert eine Tabelle in der Datenbank und hat folgende Bestandteile:

- Einen parameterlosen Konstruktor zur Instanziierung der Bean. Jede Instanz entspricht einem Datensatz der Tabelle.
- Eine bestimmte Anzahl von Eigenschaften. Jede Eigenschaft entspricht einem Attribut der Tabelle, dessen Wert über festgelegte Methodenaufrufe modifizierbar ist.
- Eine Eigenschaft, welche die Datenbankverbindung hält.
- Methoden zum Zugriff auf die Tabelle, über die das Einfügen, Lesen und Aktualisieren der Datensätze ausgeführt wird.

In Abbildung 36 ist die Vorgehensweise beim Einsatz der Komponenten dargestellt. Im Programmcode wird an Stelle der SQL-Anfrage eine Instanz der Java Bean erzeugt und anschließend über die von ihr zur Verfügung gestellten Methoden auf die Datenbank zugegriffen. Darüber hinaus kann an anderen Codestellen durch weitere Instanzen der Bean von den gleichen Methoden Gebrauch gemacht werden, um auf die Datenbank zuzugreifen.

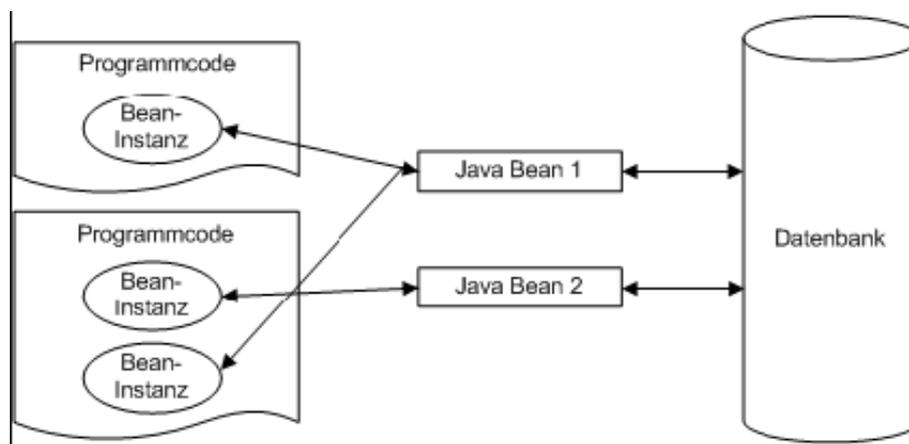


Abbildung 36: Einsatz der Java Beans

Das folgende Listing zeigt beispielhaft die Implementierung einer Java Bean für die Tabelle *hlk*:

```
public class Hlk {
    //Eigenschaften
    private Connection _dbConn;
    private int _losKopfId;
    private String _losNr;
    private int _holzliefeseiteAdressdatenId;
    ...
    //Konstruktor
    public Hlk() {
    }
    //Methoden zum Zugriff auf die Eigenschaften
    public Connection getDbConn() {
        return _dbConn;
    }
    public void setDbConn(Connection dbConn) {
```

```

        _dbConn = dbConn;
    }
    public int getLosKopfId() {
        return _losKopfId;
    }
    public void setLosKopfId(int losKopfId) {
        _losKopfId = losKopfId;
    }
    public String getLosNr() {
        return _losNr;
    }
    public void setLosNr(String losNr) {
        _losNr = losNr;
    }
    ...
    //Methoden zum Zugriff auf die Tabellen
    //Einfügen eines neuen Datensatzes in die Datenbank
    public void add() throws SQLException {
        String sql;
        ResultSet resultSet;
        Statement statement = _dbConn.createStatement();
        //Neue Id ermitteln
        sql = "SELECT max(los_kopf_id) AS maxID FROM transponder.hlk";
        resultSet = statement.executeQuery(sql);
        resultSet.next();
        _losKopfId = resultSet.getInt("maxID") + 1;
        sql = "INSERT INTO transponder.hlk (los_kopf_id, los_nr, ...)"
            + " VALUES (" + _losKopfId + ", " + _losNr + "', ...)";
        statement.executeUpdate(sql);
    }
    //Ändern eines gespeicherten Datensatzes
    public void update() throws SQLException {
        ...
    }
    //Lesen eines gespeicherten Datensatzes
    public void read() throws SQLException {
        ...
    }
}

```

Die Eigenschaften entsprechen den Attributen der Tabelle *hlk*, zudem ist auch die Datenbankverbindung als Eigenschaft definiert. Die Verbindung zur Datenbank wird extern aufgebaut und der Klasse über die Methode *setDbConn()* zur Verfügung gestellt. Das

Ermitteln einer neuen Primärschlüssel-ID in der Methode *insert()* ist notwendig, da Oracle-Datenbanken kein Autoinkrement besitzen, d. h. beim Einfügen eines neuen Datensatzes in die Tabelle wird nicht automatisch ein neuer Primärschlüssel erzeugt.

Analog dazu erfolgt die Implementierung der Java Beans für alle Datenbanktabellen, die aus ELDAT-Satzarten hervorgegangen sind. Auch die Datenbanktabellen, die aus ELDAT-Referenztabellen entstanden sind, werden in gleicher Weise durch Java Beans repräsentiert. Es wird jedoch eine Modifizierung an den Methoden zum Tabellenzugriff vorgenommen, indem die Methode *add()* in die Methode *update()* integriert wird, so dass über diese sowohl das Einfügen als auch das Ändern von Daten stattfindet. Die Methode sieht nun folgendermaßen aus:

```
public void update() throws SQLException {
    String sql;
    boolean boolResult;
    ResultSet resultSet;
    Statement statement = _dbConn.createStatement();

    // Überprüfen, ob die Referenzdaten bereits in der Datenbank existieren
    sql = "SELECT baumart_id FROM transponder.ref_baumart WHERE baumart_schlues-
    sel = '" + _baumartSchlues-
    sel + "'";
    resultSet = statement.executeQuery(sql);
    boolResult = resultSet.next();

    // Referenz ist vorhanden
    if (boolResult == true) {
        ... //Code zum Ändern des Datensatzes
    }
    // Referenz ist nicht vorhanden
    else {
        ... //Code zum Einfügen des Datensatzes
    }
}
```

Der Vorteil besteht darin, dass später über ein einziges Programm Einfügen und Ändern der Referenzdaten ausgeführt werden kann. Durch Prüfen des Vorhandenseins des Datensatzes in der Datenbank zu Beginn der Methode kann automatisch festgestellt werden, ob der Datensatz der Tabelle hinzuzufügen oder zu ändern ist, je nachdem ob

die Überprüfung negativ oder positiv ausfällt. Bei voneinander getrennten Methoden *update()* und *add()* hingegen wäre ein Programm notwendig, um die Tabellen zu füllen und ein Weiteres, um eine Aktualisierung am Datenbestand durchzuführen.

Alle implementierten Java-Bean-Klassen einschließlich deren Attribute und Methoden sind zusammenfassend in einem Klassendiagramm in Anhang A aufgelistet.

4.3.2.2 Datenübermittlung am Beispiel eines mobilen Datenerfassungsgeräts

Der folgende Abschnitt beschreibt eine mögliche Vorgehensweise bei der Datenübermittlung und Datenverarbeitung im Bereich der motormanuellen Holzernteverfahren. Das Erfassen der relevanten Daten erfolgt direkt im Bestand bei der Ernte, die Daten werden dazu manuell in ein mobiles Datenerfassungsgerät (MDE-Gerät) eingegeben. Zum Einsatz kommt hier ein MDE-Gerät der Fa. Latschbacher GmbH (siehe Latschbacher o. J.). Die in das Gerät eingegebenen Daten werden in einer Datei gespeichert, anschließend wird diese Datei als E-Mail-Anhang per GSM an einen Mailserver übertragen. Der Aufbau der Datei ist durch die MobileForst-Schnittstelle spezifiziert. Es folgt nun als Erstes eine Beschreibung dieser Schnittstelle, anschließend wird erklärt, warum MobileForst eine Erweiterung der entworfenen Datenbank zur Folge hat und schließlich wird die Struktur eines Programms zur Verarbeitung der als E-Mail-Anhang bereitgestellten Daten erläutert.

4.3.2.2.1 Schnittstelle des Datenerfassungsgeräts

Die Daten in der mit dem MDE-Gerät erstellten Datei sind entsprechend der MobileForst-Schnittstellenspezifikation (vgl. Latschbacher 2005) in insgesamt neun Abschnitte unterteilt, diese sind in Tabelle 9 aufgelistet. Für die Durchführung des Projektes sind jedoch nur, wie in derselben Tabelle dargestellt, die folgenden vier Abschnitte relevant: Listenkopf, Loskopf, Waldort und Holzdaten.

Tabelle 9: Zusammensetzung der MobileForst-Schnittstelle und Relevanz der einzelnen Abschnitte für die Projektdurchführung

MobileForst-Schnittstelle	Relevanz
Header	-
Listenkopf	+
Loskopf	+
Waldort	+
Vorbelegung	-
Holzdaten	+
Mantelvermessung	-
Höhenvermessung	-
Auswertung	-

Jeder dieser Abschnitte setzt sich aus ein oder mehreren definierten Datensätzen zusammen, welche unterschiedlich oft vorkommen können. Alle Daten in einem Datensatz beginnen und enden an festgelegten Positionen und werden in genau definierten Formaten zur Verfügung gestellt:

- **Listenkopf:** Die Datensätze des Listenkopfs enthalten allgemeine Informationen über die Datei, Angaben zu einem Käufer und Verkäufer sowie zusätzliche optionale Angaben. Die Datensätze existieren nur einmal pro Datei.
- **Loskopf:** Die Datensätze des Loskopfs speichern die Kenndaten von Losen, pro Datei können bis zu 50 Lose angelegt werden. Zusätzlich ist für jedes Los die Eingabe von Käufer- und Verkäuferangaben sowie diverser optionaler Angaben möglich.
- **Waldort:** Die Datensätze des Waldorts enthalten die Angaben zu einem Waldort, pro Datei können bis zu 30 Waldorte angelegt werden.
- **Holzdaten:** Jeder Datensatz speichert entweder die Daten eines Langholzes, Schichtholzstapels oder von Stangen. Die Anzahl der Datensätze ist unbegrenzt.

Dabei fällt auf, dass sowohl im Listenkopf als auch im Loskopf Angaben zu Käufer und Verkäufer sowie diverse optionale Angaben gespeichert werden können. Die Angaben im Listenkopf sind jedoch nur dann von Bedeutung, wenn keine Loskopfdatenätze übertragen werden.

4.3.2.2 Erweiterung der auf ELDAT basierenden Datenbank

Jeder Datensatz des Holzdaten-Abschnitts beinhaltet Angaben über Holzart, Güteklasse, Schadensart, Entrindung und Stärkeklasse eines Langholzes, Schichtholzstapels oder von Stangen. Diese Angaben sind aus einer gegebenen Liste von Werten bei der Eingabe in das MDE-Gerät auszuwählen. Jedoch ist nicht immer gewährleistet, dass diese Daten mit den in ELDAT spezifizierten Referenzen übereinstimmen. Daher ist die unveränderte Übernahme der Daten in die Datenbank ausgeschlossen und eine Ersetzung durch die entsprechenden ELDAT-Referenzen vorzunehmen.

Eine Möglichkeit wäre nun, die MobileForst-Software so zu konfigurieren, dass die voreingestellten Werte durch die Referenzen der ELDAT-Spezifikation ersetzt werden. Dies ist jedoch aus folgenden Gründen nur bedingt möglich:

- Die vorgenommene Konfiguration muss auf jedes sich im Einsatz befindende Gerät übertragen werden, je nach Geräteanzahl kann hierbei rasch die Übersicht verloren gehen. Dazu kommt, dass die Konfiguration bei jedem Software-Update von Neuem durchzuführen ist und wiederum auf alle Geräte zu übertragen ist.
- Die Länge der in MobileForst zu verwendenden Werte darf maximal drei Zeichen betragen, die Zeichenlängen der ELDAT-Referenzen liegen jedoch zum Teil darüber. So wird z. B. der „Rindenzustand unentrindet“ in MobileForst mit „UE“ angegeben, in ELDAT jedoch mit „UNENT“. Da die Länge hier fünf Zeichen beträgt, ist eine Übernahme in MobileForst ausgeschlossen.

Eine andere Möglichkeit wäre, die Zuordnung von MobileForst-Daten zu ELDAT-Referenzen in eigenen Konfigurationsdateien zu hinterlegen, in denen dann vor dem Speichern der Daten in die Datenbank die entsprechenden ELDAT-Referenzen herausgesucht werden. Das Heraussuchen der Referenzen ist jedoch mit größerem Programmieraufwand verbunden und wird zudem schnell fehleranfällig, wenn die Konfigurationsdateien nicht zuverlässig erstellt und gepflegt werden.

Eine dritte und letztendlich auch umgesetzte Möglichkeit besteht darin, die in MobileForst voreingestellten Werte für Holzart, Güteklasse, Schadensart, Entrindung und Stärkeklasse als eigene Spalten in die entsprechenden ELDAT-Referenztabellen *ref_baumart*, *ref_guete*, *ref_holzschaden*, *ref_rindenzustand* und *ref_staerkeklasse* zu

übernehmen. Die neuen Spalten werden mit dem Suffix *_mobileforst* gekennzeichnet (vgl. dazu Anhang A). Mit dieser Lösung lässt sich auf einfache und zuverlässige Weise die passende ELDAT-Referenz zu einer MobileForst-Angabe ermitteln.

4.3.2.2.3 Datenkonvertierung und Datenspeicherung

Dieser Abschnitt befasst sich mit einem Konvertierungsprogramm, welches die von MobileForst erstellten und als E-Mail-Anhang versandten Dateien verarbeitet und die Dateiinhalte in der Datenbank speichert. Das Programm setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Der erste Teil umfasst das Lesen der E-Mail-Anhänge, der Zweite das Verarbeiten der Dateien, beide Programmteile werden im Folgenden näher beschrieben.

• Lesen der E-Mails

Der Programmteil zur Bearbeitung der E-Mails wird durch die Klasse MailReader repräsentiert. Die Klasse überprüft zu Beginn, ob auf dem Mailserver neue Nachrichten eingetroffen sind. Ist dies der Fall, so werden die neuen Nachrichten aus dem Posteingang abgeholt. Der Anhang jeder E-Mail besteht aus genau einer im MDE-Gerät erstellten Datei. Jede Datei bekommt nun einen eindeutigen Dateinamen zugewiesen und wird zur späteren Weiterverarbeitung in einem Verzeichnis abgelegt. Der Dateiname ist wie folgt aufgebaut:

Transponder_Datum_Uhrzeit_Zählnummer. Datum und Uhrzeit geben den Zeitpunkt an, zu dem die MailReader-Klasse instanziiert wird, d. h. der Zugriff auf den Mailserver stattfindet. Die Zählnummer ist eine fortlaufende Nummer über alle Dateien hinweg, die bei einem Mailserver-Zugriff abgeholt werden können. Ein Beispiel: Der Dateiname „Transponder_20060531_1135_7“ bezeichnet demnach die Datei, die als Siebte am 31.05.2006 um 11:35 Uhr vom Mailserver abgeholt wurde. Zusätzlich werden die Dateinamen einschließlich des Verzeichnispfads programmintern abgespeichert und zur Verwendung durch andere Klassen bereitgestellt. Sind hingegen keine neuen E-Mails vorhanden, wird eine entsprechende Meldung in eine Log-Datei ausgegeben und die Programmausführung wird beendet.

Sowohl die Zugriffsdaten für den Mailserver wie auch der Verzeichnispfad zur Speicherung der Dateien werden in einer Konfigurationsdatei zur Verfügung gestellt, und zur

Programmlaufzeit ausgelesen. Bei einem Wechsel des Mailserver bzw. des Verzeichnispfads kann auf diese Weise die Anpassung der Parameter zentral an einer Stelle vorgenommen werden, im Programmcode hingegen sind die Werte verstreut und möglicherweise nicht auf Anhieb auffindbar.

• **Verarbeiten der Dateien und Speichern der Daten**

Nach dem Abholen der Dateien vom Mailserver müssen als Nächstes die benötigten Informationen aus den Dateien gelesen und in der Datenbank gespeichert werden. Für das Lesen der Informationen sind vier Klassen zuständig: *ListenkopfSection*, *LoskopfSection*, *WaldortSection* und *HolzdatenSection*. Jede Klasse liest die Informationen eines der vier Abschnitte Listenkopf, Loskopf, Waldort und Holzdaten. Für welchen Abschnitt eine Klasse zuständig ist, geht aus dem Klassennamen hervor. Der Aufbau aller vier Klassen ist identisch und entspricht dem in Kapitel 4.3.2.1 vorgestellten Java-Bean-Konzept. Jede Klasse besteht somit aus einer bestimmten Anzahl von Eigenschaften, welche die zu lesenden Informationen repräsentieren, sowie aus Methoden, über die diese Eigenschaften modifiziert werden können. Darüber hinaus besitzt jede Klasse eine Methode *readSection()*, mit der die Informationen aus der Datei gelesen und den Eigenschaften zugewiesen werden. Jede Zeile der Datei bildet einen Datensatz und beginnt mit einer in der MobileForst-Schnittstellenspezifikation definierten Kennung, aus der hervorgeht, zu welchem Abschnitt der Datensatz gehört. Außerdem sind in der Spezifikation alle Anfangs- und Endpositionen der in einem Datensatz enthaltenen Informationen festgelegt. Anhand der Kennung kann nun jede der vier Klassen über ihre *readSection()*-Methode feststellen, ob der Datensatz Teil des Abschnitts ist, für den die Klasse zuständig ist. Trifft dies zu, dann werden die Daten an den festgelegten Positionen aus dem Datensatz gelesen.

Da die Abschnitte Loskopf, Waldort und Holzdaten mehrere Lose, Waldorte und Holzdaten enthalten können und dementsprechend auch mehrere Datensätze, ist das Lesen der Informationen so oft durchzuführen, bis alle infrage kommenden Datensätze verarbeitet sind. Um dies zu realisieren, kommen weitere Klassen zum Einsatz: Loskopf, Waldort und Holzdaten. Es folgt ein Ausschnitt der Klasse Loskopf, die anderen Klassen sind jedoch entsprechend aufgebaut:

```

public class Loskopf {
    //Liste, enthält LoskopfSection Objekte
    private ArrayList<LoskopfSection> _listLoskopf;
    //Erzeugt die LoskopfSection Objekte und verwaltet den Dateizeiger
    public void read(RandomAccessFile file) {
        _listLoskopf = new ArrayList<LoskopfSection>();
        long filePos = 0; //Dateizeiger
        LoskopfSection loskopfSection;
        while (filePos != -1) {
            loskopfSection = new LoskopfSection();
            filePos = loskopfSection.readSection(file, filePos);
            if (filePos != -1) {
                _listLoskopf.add(loskopfSection);
            }
        }
    }
    ...
}

```

Die Methode *read()* erzeugt für jedes Los ein neues *LoskopfSection*-Objekt, durch Aufruf der *readSection()*-Methode werden die Losdaten gelesen und den Eigenschaften dieses Objekts zugewiesen, anschließend wird das Objekt in einer Liste abgelegt. Hierbei muss sichergestellt werden, dass nicht bei jedem Aufruf der *readSection()*-Methode in der ersten Zeile der Datei mit dem Lesen begonnen wird, da sonst jedes Objekt die gleichen Daten enthalten würde. Dazu wird von der *read()*-Methode ein Dateizeiger verwaltet, der stets auf die nächste zu lesende Position der Datei zeigt. Der Dateizeiger wird der Methode *readSection()* bei jedem Aufruf als Parameter übergeben. Das Lesen der Informationen beginnt an der Position, auf die der Dateizeiger gesetzt ist, und wird abgebrochen, nachdem alle Informationen eines Loses gelesen wurden. Die neue Position des Dateizeigers, ab der die Daten des nächsten Loses beginnen, wird der *read()*-Methode als Rückgabewert geliefert, und ist somit der Parameter für den nächsten Aufruf von *readSection()*. Das Übergeben der aktuellen Dateizeigerposition wird solange durchgeführt, bis das Ende der Datei erreicht ist und kein relevanter Datensatz mehr gefunden werden kann, dies ist durch den Rückgabewert -1 definiert. Analog zu diesem Ablauf erfolgt das Lesen aller in der Datei enthaltenen Waldorte und Holzdaten durch die Klassen *Waldort* und *Holzdaten*. In gleicher Weise existiert auch eine Klasse *Listen-*

kopf, jedoch findet hier der Aufruf der Lesemethode nicht wiederholt statt, da die Listenkopfdaten nur ein einziges Mal in der Datei vorhanden sind.

Nachdem alle Informationen gelesen wurden, werden diese als Nächstes unter Einbeziehung der in Kapitel 4.3.2.1 modellierten Datenbankschnittstelle in der Datenbank gespeichert. Dafür ist die Klasse `FileReader` zuständig. Sie prüft zunächst, ob `LoskopfSection`-Objekte existieren, d. h. ob die Datei Loskopfdaten enthält, denn nur wenn die Datei keine Loskopfdaten enthält, werden die Listenkopfdaten benötigt und in der Datenbank gespeichert, sonst stets nur die Loskopfdaten. Nach dem Einfügen der Loskopf- bzw. Listenkopfdaten in die entsprechenden Tabellen werden als Nächstes die Waldortdaten und zum Schluss die Holzdaten gespeichert. Die Reihenfolge, in der die Daten der einzelnen Abschnitte in den Tabellen gespeichert werden, ist einzuhalten, da die Primärschlüssel der zuerst eingefügten Abschnitte in den nachfolgenden Abschnitten als Fremdschlüssel benötigt werden, um Beziehungen zwischen den Datensätzen der verschiedenen Abschnitte herzustellen. Beim Speichern der Holzdaten ist zudem zu beachten, dass einige der Werte, wie bereits in Kapitel 4.3.2.2 beschrieben wurde, nicht immer mit den ELDAT-Referenzen übereinstimmen. Hier sind vor dem Speichern der Daten anhand der in den Referenztabellen zusätzlich eingefügten Spalten die entsprechenden ELDAT-Werte herauszusuchen.

Initiiert wird das Verarbeiten der Dateien durch die Klasse `FileReaderManager`. Sie erhält zu Beginn alle von der Klasse `MailReader` programmintern gespeicherten Dateinamen und übergibt nacheinander jede Datei zur Weiterverarbeitung an die anderen Klassen. Zudem werden hier alle Fehlermeldungen, die während des Lesens und Speicherns der Daten in einer der anderen Klassen auftreten können, abgefangen und zusammen mit dem Dateinamen in eine Log-Datei ausgegeben.

Im Anhang A sind alle hier beschriebenen Klassen des Programms zusammenfassend in einem Klassendiagramm dargestellt.

4.3.3 Zusammenfassung: Datenhaltung und Datenübertragung

Die Überwachung und Steuerung des Warenflusses mittels moderner Identifikationstechniken bedarf einer zentralen Serverarchitektur, um so einen reibungslosen Datenaustausch zwischen allen an der Holzerntekette beteiligten Akteuren zu gewährleisten. In dieser Arbeit wurde aufgezeigt, wie solch eine Architektur realisiert werden kann. Dazu wurde eine Datenbank konzipiert, die alle im Holzernteprozess anfallenden Daten aufnimmt. Als Basis für diese Datenbank diente ELDAT, ein bundeseinheitlicher Schnittstellenstandard, der speziell für den Datenaustausch im forstlichen Bereich entwickelt wurde. Das Einfügen von Daten in die Datenbank und das Lesen der gespeicherten Daten erfolgt über eine für diese Datenbank entwickelte Schnittstelle. Außerdem wurde anhand eines Beispiels aus der motormanuellen Holzernte dargestellt, wie Daten, die durch ein mobiles Datenerfassungsgerät generiert wurden, mit einem dafür entworfenen Programm in die Datenbank eingefügt werden können. Jedoch zeigte sich auch, dass nicht alle für dieses Projekt vorgesehenen Daten durch die Verwendung von ELDAT abdeckt werden konnten, obwohl darin eine sehr große Zahl von möglichen Daten spezifiziert ist, und die Datenbank entsprechend erweitert werden musste. Zudem war keine vollständige Übereinstimmung zwischen den Daten, die durch das Datenerfassungsgerät erzeugt wurden, und den Referenzwerten, die in ELDAT spezifiziert sind, gegeben, so dass eine erneute Datenbankerweiterung erforderlich wurde, um die benötigte Übereinstimmung herzustellen. Es ist davon auszugehen, dass bei der Generierung von Daten durch Datenerfassungsgeräte anderer Hersteller dieses Problem wiederholt auftritt, was nicht nur stets einer Erweiterung der Datenbank bedarf, sondern immer auch bei der Entwicklung von Programmen zur Verarbeitung der Daten zu berücksichtigen ist.

4.4 Prototypische Anwendung

Mit den beiden gewählten Testvarianten motormanuelle und hochmechanisierte Holzerntekette werden ca. drei Viertel der Holzernteverfahren in Deutschland abgedeckt. Da dabei sowohl manuelle als auch automatische Anbringungen und Auslesungen der Transponder vorgenommen werden, lassen sich die entwickelten Lösungen technisch grundsätzlich in allen Holzernteverfahren einsetzen.

4.4.1 Motormanuelle Holzerntekette

Die untersuchte motormanuelle Holzerntekette stellt sich wie folgt dar:

- Die Fällung und Aufarbeitung der Bäume erfolgt motormanuell durch den Waldarbeiter mit Motorsäge bei Aushaltung von Langholz. Anschließend findet noch im Bestand eine manuelle Anbringung und Auslesung der Transponder im Zuge der Holzaufnahme statt.
- Nach der Rückung des Holzes an die Waldstraße mit einem Seil- oder Zangenschlepper werden die Transponder auf den Poltern manuell ausgelesen.
- Bei der Abfuhr mit einem Langholz-LKW werden die Transponder der jeweiligen Fuhre im Wald manuell ausgelesen.
- Bei der Ankunft im Werk wird die Fuhre erneut manuell ausgelesen.

Abbildung 37 zeigt die motormanuelle Holzerntekette im Überblick.

Arbeitsort \ Vorgang	Bestand	Rückegasse	Waldstraße	Sägewerk
Fällen Aufarbeiten Vorrücken				
Rücken Poltern				
Transportieren				

Abbildung 37: Motormanuelle Holzerntekette

Tabelle 10 zeigt die bei den Versuchen bezüglich der motormanuellen Holzerntekette verwendeten LF- und HF-Transponder.

Tabelle 10: Untersuchte Transpondertypen in der motormanuellen Holzerntekette

LF (125 kHz)	HF (13,56 MHz)
Nageltransponder EM V 4001/2, 3 x 12 mm Sokymat	Holz-Plättchen Signumat, Philips I-Code, 35 x 43 mm Latschbacher
Coin EM V 4001/2, 30 mm Ø Tectus	Spezial-Klebeetikett Plasto-Label TI HF-1 plus, 50 x 50 mm Schreiner LogiData
	Klebeetikett TI HF-1 plus, 50 x 50 mm Schreiner LogiData

Der Hauptversuch zur motormanuellen Holzerntekette fand in **Schwaben** statt. Es wurden 30 Stück von jedem der in Tabelle 10 aufgeführten Transpondertypen für den Hauptversuch verwendet. Von den Nageltranspondern wurden 60 Stück eingesetzt, da diese sowohl stirnseitig als auch seitlich eingeschlagen wurden.

Ein weiterer Feldversuch speziell zu den Nageltranspondern wurde zusammen mit den Cambium-Forstbetrieben im **Odenwald** durchgeführt und mit einer Zeitstudie verbunden. Die Ergebnisse hierzu finden sich in Kapitel 4.4.1.1.

Die Auslesung der Transponder wurde mit dem mobilen Datenerfassungsgerät Timba-Tec Recon der Fa. Latschbacher durchgeführt. Das Holzerfassungsprogramm Mobile-Forst wurde dahingehend angepasst, dass die Transpondernummer jeden Stammes in den Holzdatensatz übernommen werden konnte. Die Daten wurden nach der Aufnahme per Handy in die Datenbank übertragen (siehe Kapitel 4.3.2).

4.4.1.1 Manuelle Applikation und Holzaufnahme im Bestand

Der Versuch in **Schwaben** wurde mit Fichten-Langholz durchgeführt. Unmittelbar nach der Fällung und Aufarbeitung wurden im Bestand 30 Transponder von jeder Bauform stirnseitig dickörtig angebracht. Weitere 30 Nageltransponder wurden seitlich durch die Rinde eingeschlagen. Die Anbringung der Transponder erfolgte bauformabhängig. Während die Signumat-Holzplättchen mit einem Spezialhammer eingeschlagen wurden,

wurden die Nageltransponder mit einem normalen Hammer appliziert. Die Karten wurden mit einem Tacker angeheftet, die Klebeetiketten geklebt und zusätzlich angeheftet. Die Coins wurden angeschraubt.

Dabei zeigte sich, dass die größten Probleme bei den Nageltranspondern auftraten. Wurden bei der stirnseitigen Applikation knapp 12 % der Nageltransponder bei der Applikation zerstört, so waren es bei seitlicher Applikation 67 %. Zum Zeitpunkt des Versuchs herrschte in Schwaben strenger Frost, der eine seitliche Applikation der Nägel nahezu unmöglich machte. Ein Vorbohren oder Vorstanzen der Löcher für die Nageltransponder könnte hier Abhilfe schaffen. Alle anderen Transponder waren nach der Anbringung funktionsfähig.

Nach erfolgter Applikation wurden noch im Bestand für jeden Stamm einzeln die Holzdaten mit dem MDE-Gerät TimbaTec Recon und der Software MobileForst aufgenommen. Anschließend wurde die Transpondernummer ausgelesen (Abbildung 38). Zusätzlich wurden die GPS-Koordinaten des aufgenommenen Stammes erfasst. Die Datenübertragung in die Versuchsdatenbank per Handy funktionierte problemlos.

Bei den Cambium-Forstbetrieben im **Odenwald** wurde ein Versuch speziell zur Anwendung der Nageltransponder durchgeführt. Dabei wurde mit zwei verschiedenen MDE-Geräten gearbeitet. Zusätzlich zum TimbaTec Recon kam ein PDA von HP zum Einsatz, auf dem eine sprachgesteuerte Software für die Holzaufnahme lief, die von den Cambium-Forstbetrieben entwickelt wurde. Daneben wurde der Prototyp eines Hammers getestet, mit dem Löcher für die Nägel vorgestanzt werden konnten. Dadurch wurden im Gegensatz zum Versuch in Schwaben (siehe oben) keine Nageltransponder bei der Applikation zerstört. Allerdings wurde hier lediglich stirnseitig appliziert.



Abbildung 38: Manuelle Auslesung der Transponder im Zuge der Holzaufnahme

Tabelle 11 zeigt den ermittelten Zeitbedarf für Anbringung und Auslesung der Nageltransponder.

Tabelle 11: Zeitbedarf für Applikation und Auslesung der Nageltransponder

	N	Minimum [s]	Maximum [s]	Mittelwert [s]	Standardabweichung [s]
Applikation der Nägel	50	10,0	47,0	20,4	6,79
Auslesung mit Recon	53	7,2	67,8	11,8	8,63
Auslesung mit HP	50	3,0	77,0	7,7	10,97

Die Applikation der Nägel nahm im Schnitt etwa 20 Sekunden in Anspruch. Die anschließende Auslesung der Transpondernummern dauerte mit dem TimbaTec Recon im Mittel etwa 12 Sekunden, mit dem Gerät von HP etwa 8 Sekunden. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten ist dabei nicht auf die Hardware, sondern auf die Software zurückzuführen. Auffallend sind dabei die große Spannbreite der Messergebnisse und die hohe Standardabweichung. Einige der Nägel waren aufgrund ihrer extrem geringen Lesereichweite nach der Applikation kaum auszulesen.

4.4.1.2 Manuelle Auslesung am Polter

Beim Versuch in Schwaben wurden nach der Rückung durch einen Seilschlepper die Transponder am Polter an der Waldstraße erneut mit dem MDE-Gerät ausgelesen (Abbildung 39). Da hier nicht die Holzdaten, sondern lediglich die Transpondernummern erfasst wurden, ging diese Auslesung deutlich schneller vonstatten als die erstmalige Auslesung im Bestand.



Abbildung 39: Manuelle Auslesung der Transponder am Polter mit MDE-Gerät

Dabei zeigte sich, dass zwei der seitlich angebrachten Nägel durch die Rückung zerstört worden waren. Alle anderen Transponder waren noch vorhanden und funktionsfähig. Allerdings war die Auslesung je nach Lage der Stämme auf dem Polter teilweise mühsam, wenn die Stämme nicht bündig abgelegt waren (vgl. Abbildung 40). Die abschließende Übertragung der Daten in die Versuchsdatenbank über das Mobilfunknetz funktionierte reibungslos.



Abbildung 40: Langholzpolter

4.4.1.3 Manuelle Fahrenerfassung im Wald und im Werk

Nach der Beladung des Langholz-LKW wurden die Transponder mit dem MDE-Gerät nochmals ausgelesen. Nach vorne (in Fahrtrichtung) zeigende Transponder waren dabei gut auszulesen, da die Stämme dort in aller Regel bündig lagen und vom LKW aus gut erreicht werden konnten.



Abbildung 41: Beladener Langholz-LKW

Nach hinten zeigende Transponder dagegen waren oft nur unter großen Mühen auszu-lesen, denn kürzere oder oben liegende Stämme waren mit dem MDE-Gerät kaum zu erreichen (vgl. Abbildung 41).

Bis auf ein vor Kopf angebrachtes Klebeetikett waren alle Transponder nach der Bela-dung auslesbar. Nach erfolgtem Transport ins Sägewerk und anschließendem Poltern wurden sie erneut versuchsshalber mit dem MDE-Gerät ausgelesen. Dabei zeigte sich, dass durch Transport und Abladen keine weiteren Transponder zerstört worden waren. Die anschließende automatische Auslesung bei der Werksvermessung wurde nach der Entrindung durchgeführt und wird in Kapitel 4.4.3.2.2 behandelt.

4.4.2 Hochmechanisierte Holzerntekette

Die untersuchte hochmechanisierte Holzerntekette stellt sich wie folgt dar:

- Die Fällung und Aufarbeitung der Bäume erfolgt durch einen Harvester, wobei Kurzholz (Fixlängen) ausgehalten wird. Während der Aufarbeitung wird jeder Holzab-schnitt mit einem Transponder versehen und anschließend ausgelesen.
- Die Rückung des Holzes an die Waldstraße erfolgt mit einem Forwarder. Dabei wer-den die Transponder bei der Beladung automatisch ausgelesen.
- Bei der Abfuhr mit einem Kurzholz-LKW werden die Transponder der jeweiligen Fuh-re automatisch ausgelesen.
- Im Werk wird die Fuhre automatisch erfasst.

Abbildung 42 zeigt die untersuchte hochmechanisierte Holzerntekette im Überblick.

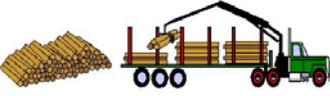
Arbeitsort \ Vorgang	Bestand	Rückegasse	Waldstraße	Sägewerk
Fällen Aufarbeiten Vorrücken				
Rücken Poltern				
Transportieren				

Abbildung 42: Hochmechanisierte Holzerntekette im Überblick

4.4.2.1 Automatische Applikation und Auslesung durch den Harvester

4.4.2.1.1 Allgemeines

Zu Beginn des Projektes stand aufgrund seiner Bauform und der damit verbundenen Vorteile der **Nageltransponder** im Zentrum der Betrachtungen (vgl. Kapitel 4.2). Daher wurde zunächst versucht, einen herkömmlichen Druckluftnagler so umzurüsten, dass er an einem Harvesteraggregat angebracht werden und die Nageltransponder auf Knopfdruck applizieren konnte. Dabei stellte sich die Frage nach der Positionierung des Transponders am Baumstamm. Im späteren Verlauf der Kette sollten die Abschnitte auf dem Forwarder und dem LKW möglichst automatisch ausgelesen werden, was die feste Installation von Antennen notwendig macht. Da beim Be- und Entladen der Fahrzeuge jedoch große Kräfte auftreten können, müssen die Antennen an einer geschützten Position angebracht werden, was im konkreten Fall idealerweise eine Platzierung hinter dem vorderen Stirngatter bedeutet. Alternativ können die Abschnitte bereits während des Be- und Entladevorgangs ausgelesen werden, so dass die Antenne an den Rungen positioniert werden kann (vgl. Kapitel 4.4.2.2). Geht man von diesen Antennenpositionen und ihrer dementsprechenden Ausrichtung aus, so ergibt sich als ideale Applikationsstelle am Holz die Stirnseite. Nur wenn dort der Transponder angebracht wird, hat er mit einer

parallelen Ausrichtung zur Lesantenne die optimale Ausrichtung und damit die maximal mögliche Lesereichweite (vgl. auch Kapitel 4.4.2.2.1), was vor allem bei Transpondern mit geringer Lesereichweite wie dem Nageltransponder wichtig ist.

Eine **stirnseitige Applikation der Nageltransponder** hält aber den Arbeitsprozess auf, da sie nicht zeitlich parallel zu anderen Arbeitsschritten erfolgen kann. Dies ist beim hochproduktiven Harvester nicht akzeptabel. Zudem ist im Aggregat sehr wenig Platz für eine Vorrichtung, die stirnseitig applizieren soll, vorhanden. Anbauten außen an das Aggregat sind zu wenig robust im rauen Arbeitseinsatz. Bereits in der Planungsphase wurde außerdem deutlich, dass unter Berücksichtigung der gegebenen Restriktionen im Hinblick auf Laufzeit und monetäre Ausstattung des Projektes eine stirnseitige Applikation von Nageltranspondern nicht zu realisieren war. Denn eine Vorrichtung, die eine stirnseitige Applikation der Transponder ermöglicht, ist vom Konstruktionsanspruch extrem hoch anzusetzen. Ohne eine vollständige Neukonstruktion des Harvesteraggregates sind die Erfolgsaussichten gering. Weitere Informationen zu den Anforderungen finden sich in Kapitel 4.1.3.

Daher wurde entschieden, eine Applikationsvorrichtung zur **seitlichen Applikation von Nageltranspondern** zu bauen. Für diese Variante sprach insbesondere der Umstand, dass keine zusätzliche Zeit zur Applikation aufgewendet werden muss und trotzdem die Vorteile der Nageltransponder genutzt werden können (vgl. dazu auch Kapitel 4.2.2). Zudem erschien die Anbringung mit einem Luftdrucknagler einfach und Erfolg versprechend zu sein. Im Mai 2005 stellte sich allerdings nach ausführlichen Gesprächen mit unterschiedlichen Herstellern von Druckluftnagelsystemen heraus, dass keines der angefragten Unternehmen in der Lage war, die Nageltransponder zu verarbeiten. Die größten Schwierigkeiten lagen in der für die Geräte zu kurzen Länge der Nägel, dem konischen Kopf und nicht zuletzt in dem Umstand, dass die Nägel aus Kunststoff und nicht aus Metall bestehen, wodurch eine automatische Magazinierung unmöglich war. Aufgrund dieser Situation begannen Gespräche mit dem Hersteller der Nageltransponder Sokymat, der als Mitglied im Projektbegleitenden Ausschuss in der geplanten neuen Anwendung großes Potenzial sah, inwieweit eine projektspezifische Anpassung der Bauform möglich sei. Entsprechend den oben aufgeführten Problemen waren die Anforderungen eine Verlängerung des Nagels, eine dadurch erforderliche Erhöhung der

Wandstärke sowie eine Änderung der Kopfform. Das dafür erforderliche Werkzeug wäre durch die Forschungsstellen aus eigenen Mitteln finanziert worden. Doch nach einer langen Phase des Überlegens zeigte sich Sokymat im August 2005 dann doch nicht in der Lage, die Nagelbauform anzupassen. Auf der Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses im November 2005 wurde diese Situation eingehend besprochen, und es wurden in der Zwischenzeit erarbeitete alternative Lösungsansätze diskutiert. Nach eingehender Beratung wurde entschieden, eine Vorrichtung zur **seitlichen Applikation von Transponderkarten** zu entwickeln. Diese Smart Cards bieten den Vorteil der Arbeitsfrequenz 13,56 MHz und weisen daher eine größere Lesereichweite auf. Gegenüber anderen Alternativen wie bspw. Coins ergibt sich der Vorteil der sehr flachen Bauform von nur 0,8 mm, so dass bei gegebener Größe des Magazins mehr Transponder bevorratet werden können und damit die produktive Zeit des Harvesters erhöht wird. Zudem lassen sich die Karten mittels einer Tackerklammer, die durch die Mitte der Karte geschossen wird, einfach befestigen. Dies wird erst dadurch möglich, dass die Karten aus einem festen, aber dennoch flexiblen Material bestehen und die Spule bei entsprechender Planung nicht beschädigt werden kann (vgl. Kapitel 3.3.1.3).

4.4.2.1.2 Konzept und Konstruktion

Das Applikationsgeräts wurde so gestaltet, dass es in den Sägekasten des Harvesters eingebaut werden kann. Das Gerät baut auf einem automatischen Druckluftnagler für Heftklammern auf, die mit bis zu 7 Bar in das Holz getrieben werden. Um auch zerfurchte und borkige Rindenstrukturen handhabbar zu machen, werden Heftklammern mit 25 mm Schenkellänge verwendet, die der Heftkopf problemlos bis zum Anschlag auch in sehr hartes Holz treibt. Das 160 Karten fassende Magazin ist hinter dem Heftkopf positioniert. Die gesamte Vorrichtung kann herausgeschwenkt werden, um das Magazin zu befüllen. Die Vorrichtung arbeitet mit flexiblen ISO-Karten von X-Ident.

Abbildung 43 zeigt das Applikationsgerät, das hier zu Testzwecken in ein Holzmodell eingebaut wurde. Das Gerät ist so aufgebaut, dass alle beweglichen Teile durch Luftdruck gesteuert werden. Das Herausschwenken zum Stamm und das Zurückschwenken werden durch einen Hubzylinder ermöglicht, der mit 7 Bar Druck ca. 45 kg auch gegen die Schwerkraft bewegen kann. Ein kleinerer Pneumatikzylinder sorgt für den

Ausschub der Karten aus dem Magazin. Der Nagler selbst wird ebenfalls mit Druckluft betrieben.

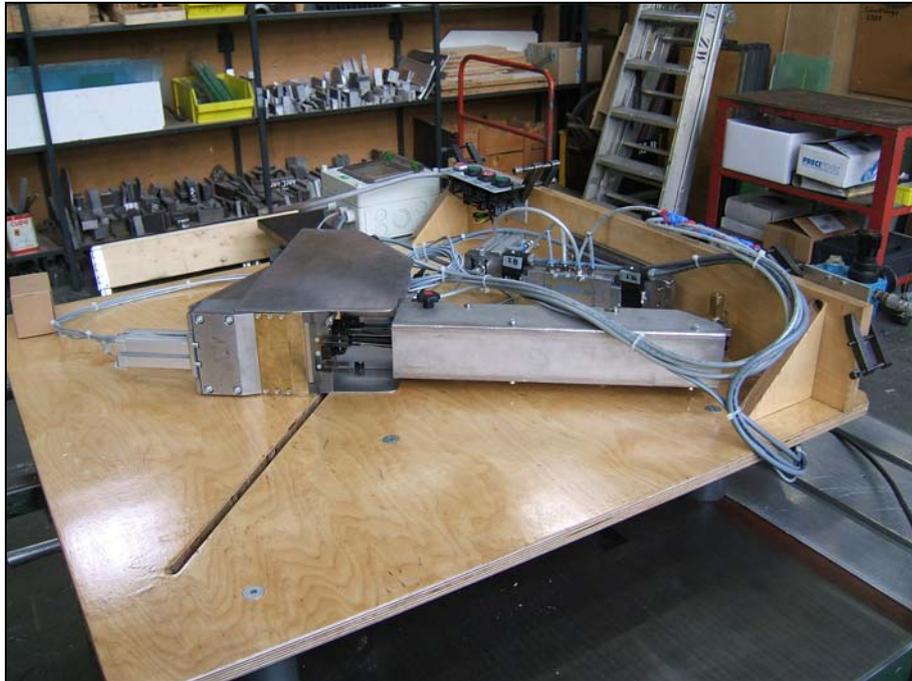


Abbildung 43: Applikationsgerät im Holzmodell, aufgebaut im LogIDLab®

Die elektronische Ansteuerung geschieht über ein SPS-Modul, so dass ein einziger Auslöseimpuls ausreicht, um alle benötigten Bewegungsabläufe in Gang zu setzen. 7 Bar Druckluft und 24 V Stromversorgung sind erforderlich, damit die Vorrichtung arbeiten kann. Abbildung 44 zeigt 3D-Ansichten des Computermodells.

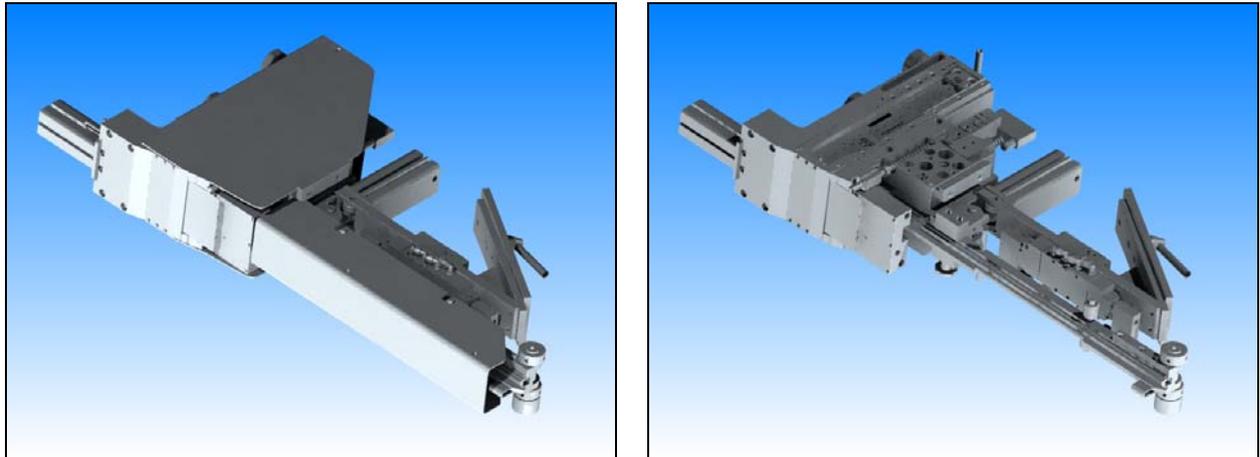


Abbildung 44: CAD-Modell der Applikationsvorrichtung mit und ohne Verkleidung

Die Applikationsvorrichtung funktioniert folgendermaßen (vgl. Abbildung 45 und Tabelle 12): Zunächst wird der Baum mit dem Harvesteraggregat 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. 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.

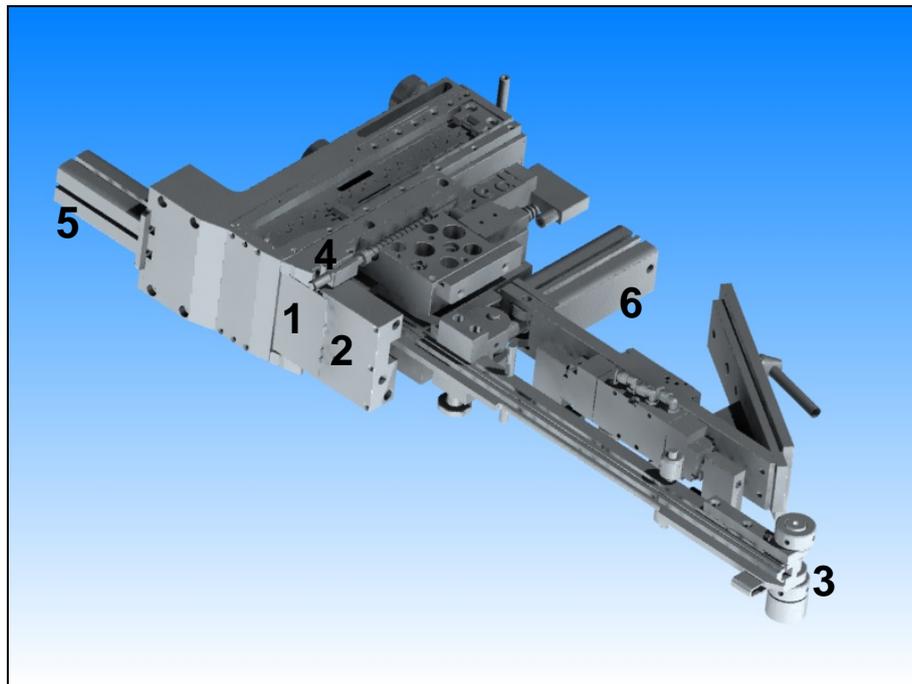


Abbildung 45: Nummeriertes CAD-Modell der Applikationsvorrichtung

Tabelle 12: Legende zum CAD-Modell der Applikationsvorrichtung (Abbildung 45)

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

4.4.2.1.3 Datenhaltung und -übertragung

Die Übertragung der Transpondernummern geschieht mittels WLAN. Das Sendemodul befindet sich in einem hinteren, speziell geschützten Bereich des Sägekastens neben der SPS-Steuereinheit, während der Empfang über einen im Führerhaus positionierten WLAN AccessPoint (AP) geregelt wird. Im Feldversuch konnte erfolgreich nachgewiesen werden, dass auch bei maximal ausgeschwenktem Kran (10 m) die Verbindung zum AP nicht abreißt. Die empfangenen Daten wurden im Versuch an ein ebenfalls mit dem AP verbundenes Notebook gesendet und dort mit einem Zeitstempel versehen.

Auf diese Weise konnten sie später mit den Vermessungsdaten des Harvesters verknüpft werden, so dass die Transpondernummer eindeutig einem bestimmten Abschnitt zugeordnet werden konnte (vgl. Kapitel 4.2). Eine Möglichkeit zur direkten Übernahme der Transpondernummern in das Vermessungsprotokoll des Harvesters wurde im Laufe des Projektes zwar theoretisch entwickelt, letztlich aber nicht in die Praxis umgesetzt. Der hierfür erforderliche Aufwand erschien für einen reinen Versucheinsatz nicht vertretbar.

4.4.2.1.4 Praxiseinsatz

Der Versuchseinsatz der Applikationsvorrichtung fand in einem Fichten-Altbestand in Hessen statt. An dem Harvester des dortigen Forstunternehmers war die Vorrichtung bereits zu Testzwecken auf dem Gelände der Fa. Wahlers in Uffenheim befestigt gewesen, wodurch keine neuen Löcher gebohrt werden mussten. Abbildung 46 zeigt die Applikationsvorrichtung, eingebaut in einen zweiten Sägekasten am Harvesteraggregat.



Abbildung 46: Applikationsvorrichtung am Harvesteraggregat

Die Vorrichtung arbeitete durchweg zufriedenstellend. Allerdings funktionierte gelegentlich der Kartennachschub nicht, wenn Karten sich beim Ausschub aus dem Magazin verklemmten. Zudem scheint der Pneumatikzylinder für das Ein- und Ausschwenken etwas zu schwach kalkuliert worden zu sein, da die Vorrichtung gelegentlich nach der Applikation nicht voll zurückschwenkte. Abbildung 47 zeigt eine Arbeitssequenz, in der die Transponderkarte aus dem Magazin herausgefahren (links) und anschließend angeheftet wird (Mitte), woraufhin der Trennschnitt erfolgt (rechts).



Abbildung 47: Arbeitssequenz der Applikationsvorrichtung

4.4.2.1.5 Verbesserungsmöglichkeiten

Die Vorrichtung ist grundsätzlich mechanisch einsatzfähig, jedoch noch nicht für einen Dauereinsatz im forstlichen Umfeld ausgelegt. Verbesserungen bzw. Neuentwicklungen sind in folgenden Bereichen für eine dauerhafte Praxistauglichkeit zu empfehlen:

- **Materialien**

Der Prototyp wurde aus Kostengründen nicht aus der speziellen, nur schwer zu verarbeitenden Stahl-Legierung gefertigt, deren Verwendung im Harvesterbau üblich ist. Dies ist jedoch mit Blick auf einen dauerhaften Einsatz aufgrund der widrigen Umgebungsbedingungen zu empfehlen.

- **Abschirmung gegen Verschmutzung, Wasser, Eis**

Der bestehende Schutz ist zu gering und nur soweit ausreichend, dass das Gerät und insbesondere die Elektronik zumindest rudimentär geschützt sind. Es besteht kein ausreichender Schutz gegen extreme Nässe (geringe Mengen beeinträchtigen

die Funktion jedoch nicht) und grobe mechanische Belastungen, etwa durch Äste. Ferner ist eine Funktionsfähigkeit bei Vereisung nicht gegeben.

- **Optimierte Wartung**

Der vorliegende Prototyp ist praktisch nur in der Werkstatt zu warten. Das Nachfüllen des Magazins ist für zwei Personen empfohlen. Eine Verschmutzung des Magazins durch Ast- oder Rindenstücke, Blätter, Nadeln u. ä. kann eine unmittelbare Funktionsunfähigkeit des Geräts zur Folge haben.

- **Ansteuerung durch Harvester-Elektronik**

Der Prototyp wird durch das Umfunktionieren des Auslösers für Farbmarkierungen angesteuert. Ein Druck auf den Knopf gibt das Startsignal an die SPS-Steuereinheit. Im laufenden Betrieb jedoch ist es nicht möglich, jeden Applikationsvorgang manuell auszulösen. Daher ist eine Integration der Ansteuerung in die Bordelektronik des Harvesters notwendig.

- **Magazingröße**

Die Applikationsvorrichtung verfügt über zwei Magazine – das eine beinhaltet die Transponderkarten, das andere die Heftklammern. Aufgrund des begrenzten Platzangebotes im Sägekasten ist auch die Größe beider Magazine beschränkt. So konnte beim Prototyp der Applikationsvorrichtung lediglich eine Kapazität von 160 Transpondern realisiert werden. Bedenkt man die enorme Leistung eines Harvesters, so reichen diese 160 Transponderkarten u. U. nur eine Stunde.

- **Stirnseitige Applikation**

Eine stirnseitige Anbringung der Transponder ist grundsätzlich wegen der größeren Lesereichweite bei den Auslesungen am Forwarder und LKW sowie der stabileren Anbringung wünschenswert. Eine automatische stirnseitige Applikation stellt eine große technische Herausforderung dar und kann nach heutigem Erkenntnisstand nur über ein weitgehendes Neudesign des Harvesteraggregats realisiert werden.

- **Hydraulikbetrieb**

Das im Projekt entwickelte Gerät arbeitet pneumatisch, also mit Luftdruck. Dies bietet sich an, da das Nagelgerät ebenfalls über Druckluft versorgt wird – selbst der Schussauslöser ist ein Druckluft-Impuls. Für einen dauerhaften Praxisbetrieb ist jedoch der Einsatz von Hydraulikkomponenten zu überlegen, welche die Applikations-

vorrichtung vor- und zurückbewegen und letztlich auch die Applikation durchführen können. Hydraulikkomponenten bieten sich insbesondere aufgrund der Tatsache an, dass der Harvester bereits ab Werk über eine durchgängige Hydraulikversorgung mit bis zu 250 Bar Druck verfügt. Ein hydraulisch betriebener Nagler existiert jedoch nicht und wäre von Grund auf neu zu entwickeln.

- **Integration in den Bordcomputer**

Für die Feldversuche wurden die ausgelesenen Transpondernummern auf einem Laptop zwischengespeichert und später mit den Harvesterdaten verschränkt. Im dauerhaften Praxisbetrieb ist eine vollständige Integration des RFID-Systems in die Bordelektronik erforderlich, um ein sinnvolles und durchgängig automatisiertes System nutzen zu können. Eine Möglichkeit hierfür wurde im Rahmen des Projektes bereits erarbeitet.

4.4.2.2 Automatische Auslesung bei der Rückung mit Forwarder

4.4.2.2.1 Vorversuch Auslesung am Stirngatter

Um die Anforderungen an die zu entwickelnde Auslesevorrichtung für den Forwarder praktisch zu ermitteln, wurden in einem umfangreichen Versuch verschiedene Antennenkonfigurationen und deren Zusammenspiel mit unterschiedlichen Transponderbauformen und -frequenzen getestet.

Diese Versuche wurden an dem Stirngatter einer Kombimaschine Ponsse Dual durchgeführt. Während die Maschine als Harvester arbeitet, sind die Aufbauten des Rungenkorbs entfernt (siehe Abbildung 48). Dadurch konnten die Tests am Stirngatter durchgeführt werden, ohne dass die Maschine deswegen Standzeiten hatte.



Abbildung 48: Versuchsobjekt Stirngatter

Eine besondere Herausforderung war die direkte Montage der Antennen auf das Stirngatter, wodurch sie in unmittelbarem Kontakt zum Metall standen. Die Antennen mussten daher zunächst auf den Metalluntergrund abgestimmt werden, was sich als sehr zeitaufwändig herausstellte. Nachdem jedoch die optimale Einstellung gefunden war, konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

Wie in Abbildung 49 zu sehen ist, wurden verschiedene Antennen mit unterschiedlichen Einstellungen getestet. Dabei wurden jeweils die erzielbare Reichweite sowie die verwendeten Parameter der Antenne festgehalten. Dies waren unter anderem die Ausrichtung der Transponder zur Antenne und die Positionierung der Antenne am Gitter (Anbringung von außen bzw. von innen). Die Versuchsdurchführung erfolgte mit den Frequenzen 125 kHz und 13,56 MHz, das Stahlgitter wies eine Stärke von 3 cm und zusätzliche Querstreben mit einer Stärke von 6 cm auf.



Abbildung 49: 125 kHz (links) und 13,56 MHz (rechts) Antenne an der Außenseite des Stirngatters

Die gemessenen Ergebnisse für die beiden HF-Antennen sind in Tabelle 13 und Tabelle 14 dargestellt. „Außen“ bedeutet, dass sich das Stirngatter zwischen der Antenne und dem Holz befindet, während „Innen“ den Fall beschreibt, in dem das Holz direkt vor der Antenne zu liegen kommt. Während es bei einer Montage der HF-Antennen zwischen Stirngatter und Holz gegenüber den Referenzauslesungen ohne Metall zu einer Reduzierung der Lesereichweiten um ca. 25 % (13 - 35 %) kam, reduzierte eine Anbringung der Antennen außen am Stirngatter die Lesereichweite um ca. 50 % (46 - 59 %). Trotzdem waren auch hier je nach Transponder und Leseantenne noch Lesereichweiten von über 50 cm realisierbar.

Tabelle 13: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, Antenne 400x400mm)

SAT-A40-LR-O- 13,56 MHz 400 mm x 400 mm Kupfer 15 mm			
Tag-Typ	kein Metall in Reichweite [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung innen [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung außen [mm]
I - Code 1 54x86 mm	850	650 (-23,5%)	400 (-52,9%)
I - Code 1 140x180 mm	1100	850 (-22,7%)	520 (-52,7%)
ISO 15693 54x86 mm	920	690 (-25,0%)	450 (-51,1%)
ISO 15693 45x45 mm	860	630 (-26,7%)	430 (-50,0%)
I - Code Tag 80x130 mm	1130	830 (-26,5%)	530 (-53,1%)

Tabelle 14: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter (13,56 MHz, Antenne 350x1350mm)

SAT-JueKri-13,56 MHz 350 mm x 1350 mm Kupfer 15 mm			
Tag-Typ	Kein Metall in Reichweite [mm]	Am Stirngatter mit Abstimmung innen [mm]	Am Stirngatter mit Abstimmung außen [mm]
I - Code 1 54x86 mm	850	620 (-27,1%)	430 (-49,4%)
I - Code 1 140x180 mm	1100	960 (-12,7%)	540 (-50,9%)
ISO 15693 54x86 mm	920	640 (-30,4%)	500 (-45,7%)
ISO 15693 45x45 mm	860	560 (-34,9%)	350 (-59,3%)
I - Code Tag 80x130 mm	1130	870 (-23,0%)	560 (-50,4%)

Bei der kleineren Antenne der beiden untersuchten LF-Systemen (Tabelle 15) war eine ähnliche Verringerung der Lesereichweiten festzustellen. Eine Anbringung innen reduzierte die Leseentfernung um ca. 15 % (6 bis 29 %), außen am Stirngatter war sie um 40 % bis 60 % reduziert.

Bei der größeren Ausleseantenne (Tabelle 16) waren bei innerer Anbringung lediglich der größte Coin und die Karte auslesbar, wobei nur noch ein Bruchteil der ursprünglichen Leseentfernung realisierbar war. Bei Anbringung hinter dem Stirngatter war kein Transponder mehr auszulesen.

Tabelle 15: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter
(125 kHz, Antenne 210x210mm, 40mm Abstand zum Metall)

SAT-A4-LR-P-125 kHz 210 mm x 210 mm			
Tag-Typ	kein Metall in Reichweite [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung innen [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung außen [mm]
EM V 4001/2 Glas Tag 3x12 mm	170	130 (-23,5%)	70 (-58,8%)
EM V 4001/2 Glas Tag Nagel 3x12 mm	170	160 (-5,9%)	100 (-41,2%)
EM V 4001/2 Coin 20 mm Ø	230	200 (-13,0%)	120 (-47,8%)
EM V 4001/2 Coin Anhänger 30 mm Ø	280	200 (-28,6%)	120 (-57,1%)
EM V 4001/2 Coin 50 mm Ø	400	360 (-10,0%)	230 (-42,5%)
EM V 4001/2 Karte 54x85 mm	440	380 (-13,6%)	240 (-45,5%)

Tabelle 16: Ergebnisse der Reichweitentests am Stirngatter
(125 kHz, Antenne 500x800mm, 40mm Abstand zum Metall)

SAT-A6-P(o)-125 kHz 500 mm x 800 mm			
Tag-Typ	kein Metall in Reichweite [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung innen [mm]	am Stirngatter mit Abstimmung außen [mm]
EM V 4001/2 Glas Tag 3x12 mm	120	nicht möglich	nicht möglich
EM V 4001/2 Glas Tag Nagel 3x12 mm	210	nicht möglich	nicht möglich
EM V 4001/2 Coin 20 mm Ø	320	nicht möglich	nicht möglich
EM V 4001/2 Coin Anhänger 30 mm Ø	320	nicht möglich	nicht möglich
EM V 4001/2 Coin 50 mm Ø	730	80 (-89,0%)	nicht möglich
EM V 4001/2 Karte 54x85 mm	800	140 (-82,5%)	nicht möglich

Aufgrund dieser Resultate schied der LF-Frequenzbereich für die weiteren Praxisversuche am Forwarder aus, da hier Lesereichweiten von 50 cm und mehr erforderlich waren (vgl. Kapitel 4.1.3.2). Um das Holz bei der Rückung mit dem Forwarder zu erfassen, muss eine spezielle Antenne entwickelt werden, die auf den metallischen Untergrund des Stirngatters abgestimmt und widerstandsfähig genug war, die auftretenden mechanischen Belastungen beim Beladen des Fahrzeugs zu überstehen. Alternativ war eine Montage der Antenne an den Außenseiten der Rungen möglich.

4.4.2.2 Praxistest Auslesung am Stirngatter

Im Rahmen des Projektes wurde eine HF-Antenne entwickelt, die den auftretenden mechanischen Belastungen bei der Holzernte gewachsen war und an mehreren Stellen in der hochmechanisierten Holzerntekette eingesetzt werden konnte. Zunächst wurde sie für eine Auslesung der Transponder bei der Rückung des Kurzholzes mit dem Forwarder verwendet. Dabei wurde sie sowohl hinter dem Stirngatter als auch seitlich an den Rungen angebracht (vgl. Kapitel 4.4.2.2.3).

Die Anbringung hinter dem Stirngatter erfolgte so hoch wie möglich, damit alle Abschnitte während des Beladevorgangs durch das Lesefeld durchgeführt werden konnten (Abbildung 50).



Abbildung 50: Forwarder mit außen am Stirngatter befestigter HF-Ausleseantenne

Der Versuch wurde analog zur entwickelten Applikationsvorrichtung für Harvesteraggregate (siehe Kapitel 4.4.2.1) mit flexiblen ISO-Karten von X-Ident durchgeführt. Durch das Metall des Stirngatters wurde die Lesereichweite deutlich reduziert (vgl. Tabelle 13 bzw. Tabelle 14). War ohne Metall eine Lesereichweite von gut einem Meter realisierbar, so sank diese durch das Stirngatter auf 50 cm bei paralleler Ausrichtung der Transponder- und Ausleseantenne, also bei stirnseitiger Anbringung der Transponderkarten an die Fixlängen. Mit dieser Lesereichweite war eine Auslesung der stirnseitig angebrachten Transponder gut durchführbar.

Bei seitlicher Anbringung und damit sehr ungünstiger Ausrichtung der Antennen zueinander sank dagegen die Lesereichweite teilweise auf unter 20 cm. Eine automatische Auslesung aller Transponder im Zuge der Beladung war dadurch schwierig durchführbar.

4.4.2.2.3 Praxistest Auslesung am Rungenkorb

In einem zweiten Versuch wurde die HF-Ausleseantenne seitlich außen an den Rungen des Forwarders montiert (siehe Abbildung 51). Der Vorteil hierbei war, dass keine wesentlichen Störungen durch das Metall der Rungen entstanden. Auch hier wurden die Transponder durch das Lesefeld der Antenne geführt. Dies war beim Beladen des Forwarders im Bestand problemlos möglich. Bei optimaler Ausrichtung der Transponder (stirnseitige Anbringung) betrug die Lesereichweite über 100 cm, bei seitlicher Anbringung knapp 50 cm. Diese Lesereichweite war für eine Auslesung der Transponder bei der Beladung des Forwarders ausreichend. Auch entstand kein zusätzlicher Zeitbedarf, da sich die Auslesung problemlos in den gewohnten Arbeitsablauf integrieren ließ.



Abbildung 51: Forwarder mit seitlich außen an den Rungen befestigter HF-Ausleseantenne

4.4.2.3 Automatische Auslesung bei der Holzabfuhr

Die bereits am Forwarder eingesetzte HF-Antenne wurde seitlich außen an den Rungen eines Kurzholz-LKW angebracht (Abbildung 52), um die Transpondernummern analog zum Forwarder während des Beladevorgangs auszulesen (vgl. Kapitel 4.4.2.2). Getestet wurden wiederum ISO-Karten, die sowohl stirnseitig als auch seitlich am vorderen Ende der Holzabschnitte angebracht waren (siehe Abbildung 54 auf S. 101). Für den Versuchseinsatz wurden die ausgelesenen Transpondernummern per Kabel an einen Feldrechner übertragen.



Abbildung 52: Kurzholz-LKW mit seitlich an den Rungen befestigter HF-Ausleseantenne

Die Auslesung der Transponderkarten funktionierte bei **stirnseitiger Anbringung** problemlos. Beim langsamen Durchführen des Holzbündels durch den Lesebereich der Antenne konnten die Transpondernummern im Pulk erfasst werden (Abbildung 53).

Bei **seitlicher Anbringung** der Karten entstanden dann Probleme, wenn ein Holzabschnitt des Bündels nicht bündig mit den anderen lag oder zwei der Transponderkarten genau aufeinander lagen. Diese waren dann nicht auslesbar.

Weitere Probleme entstanden durch die Größe der Ausleseantenne. Diese blockierte den Freiraum zwischen zwei Rungen und ragte noch darüber hinaus (vgl. Abbildung 52), wodurch es zu Problemen bei der Handhabung des Holzes kam. Zusätzlich ist eine höhere Anbringung der Antenne an den Rungen von Vorteil, da sonst bei sehr hohen Poltern das Holzbündel u. U. nicht in den Lesebereich der Antenne gehalten werden kann (vgl. Abbildung 53).



Abbildung 53: Auslesevorgang bei der Beladung des Rundholz-LKWs

Während der Anbau einer Antenne an den Forwarder recht gut funktionierte (vgl. Kapitel 4.4.2.2), entstanden beim Kurzholz-LKW größere Probleme. Diese sind möglicherweise nur dann vollständig zu lösen, wenn die Ausleseantenne in die Rungen integriert wird.

4.4.3 Sägewerk

4.4.3.1 Automatische Auslesung beim Werkseingang

Für eine automatische Erfassung ganzer LKW-Ladungen mit Transpondern versehenen Rundholzes sind Lesereichweiten von 2,5 bis 3 m notwendig (vgl. Kapitel 4.1.4.1). Die untersuchten passiven LF- und HF-Systeme wiesen allerdings deutlich geringere Reichweiten auf. In Vorversuchen (siehe z. B. Tabelle 15 bis Tabelle 16, Kapitel 4.4.2.2.1) waren maximal 1,5 m realisierbar. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes auf Versuche zur Implementierung einer automatischen Fuhrenerfassung verzichtet.

Eine mögliche Lösung könnte die Verwendung der UHF-Technologie sein, die während der Projektlaufzeit durch technische Weiterentwicklungen einen Einsatz auch im forstlichen Umfeld ermöglicht hat. Hier sind potentiell deutlich größere Reichweiten erzielbar als mit LF- oder HF-Transpondern.

4.4.3.2 Automatische Auslesung bei der Werksvermessung

Eine automatische Auslesung der Transponder bei der Vermessung im Sägewerk ist erforderlich, um die Transpondernummern den Vermessungsdaten zuzuordnen. Dadurch kann abschnittsweise der Waldbesitzer zugeordnet, das Harvestermaß kontrolliert und präzise abgerechnet werden (siehe Kapitel 2.3). Mit der Auslesung der Transponder direkt vor dem Einschnitt ist die klassische Holzerntekette zwischen Wald und Werk abgeschlossen.

Versuchsweise wurden zwei Varianten untersucht. Bei der ersten Variante wurden die Transponder vor der Entrindung ausgelesen, bei der zweiten erst nach der Entrindung.

4.4.3.2.1 Auslesung vor der Entrindung

Bei der Auslesung vor der Entrindung wurden ISO-Karten der Arbeitsfrequenz 13,56 MHz verwendet. Diese wurden sowohl stirnseitig als auch seitlich an den Fixlängen angebracht (siehe Abbildung 54). Die stirnseitige Applikation kommt bei manueller Anbringung, die seitliche Applikation bei der automatischen Applikation durch die entwickelte Vorrichtung für das Harvesteraggregat (siehe Kapitel 4.4.2.1) zum Einsatz.



Abbildung 54: Seitlich (links) und stirnseitig (rechts) angebrachte HF-Transponderkarten

Die HF-Ausleseantenne wurde direkt vor der Entrindung in einer Höhe von 100 cm über dem Längsförderer montiert (Abbildung 55), so dass auch dickste Stämme problemlos hindurch passten. Die ISO-Karten wurden sowohl bei stirnseitiger als auch bei seitlicher Anbringung sicher ausgelesen. Bei der Verwendung anderer Bauformen (Coins, Nageltransponder etc.) oder von LF-Transpondern sind hier andere technische Lösungen erforderlich, da dort die Lesereichweite nicht mehr ausreicht. Die Verwendung mehrerer Antennen (als Tor/Gate) oder von Antennenvorhängen (vgl. Uusijärvi 2003) sind hier denkbar. Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Auslesung vor der Entrindungsanlage technisch kaum Probleme aufwirft, solange keine Störfrequenzen auftreten.

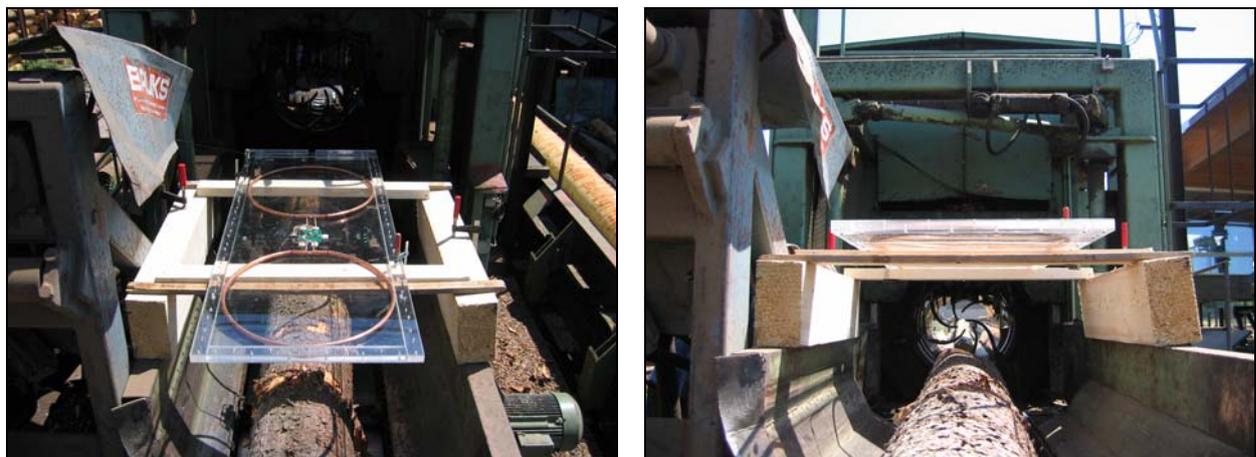


Abbildung 55: HF-Ausleseantenne vor der Entrindungsanlage

4.4.3.2 Auslesung nach der Entrindung

Zu Versuchszwecken wurden eine Reihe von LF- und HF-Transpondern nach der Entrindung ausgelesen (Tabelle 17).

Dabei handelte es sich überwiegend um die Transponder aus dem Versuch zur motor-manuellen Holzerntekette in Schwaben (vgl. Kapitel 4.4.1). Daneben wurden aber weitere Transpondertypen getestet. Alle Transponder waren stirnseitig dickkörtig angebracht (siehe Abbildung 56). Lediglich 30 Nageltransponder waren seitlich durch die Rinde appliziert worden.

Tabelle 17: Untersuchte Transponder bei der automatischen Auslesung nach der Entrindung

LF (125 kHz)	HF (13,56 MHz)
Nageltransponder IC Unique, 35,5x4mm mit Glaskapsel 2,12x12mm, Sokymat	Holz-Plättchen Signumat Philips I-Code, 35x43mm mit Inlet 16x20mm, Latschbacher
ISO Karte (starr) EM V 4001/2, 54 x 86 mm Fleischhauer	ISO Karte (flexibel) Philips I-Code, 54x86mm X-Ident
Coin World Tag IC Unique, 50 mm Ø Sokymat	ISO Karte (starr) Philips I-Code, 54x86mm Scemtec
Coin TEC PU IC Unique, 34 mm Ø Tectus	Klebeetikett Plasto-Label TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData
	Klebeetikett quadratisch TI HF-1 plus, 50x50mm Schreiner LogiData
	Coin quadratisch ISO 15693, 50x50mm mit Inlet 45x45mm, Scemtec

Die Auslesung wurde mit zwei verschiedenen Antennen (LF und HF) durchgeführt. Diese wurden in stabile Gehäuse eingebaut und auf dem so genannten Stammschieber montiert (siehe Abbildung 57). Dieser schiebt die entrindeten Stämme auf dem Querförderer genau so viel vor, dass die Kappsäge das dickkörtige Stammende (mit den Transpondern) um etwa 5 bis 10 cm kürzen kann. Die Auslesung der Transponder fand während des Schiebevorgangs statt, wodurch die Ausleseentfernung nur wenige Zenti-

meter betrug. Die Position des Stammschiebers im Arbeitsprozess wird in Abbildung 57 deutlich.



Abbildung 56: Langholz mit angebrachten Transpondern



Abbildung 57: Ausleseantenne am Stammschieber (1) nach der Entrindung (2) und vor der Kappsäge (3)

Die Messer der Entrindungsanlage des Testsägengerütes wurden nicht optisch gesteuert, sondern durch den Stamm, der durch die Entrindungsanlage geschoben wurde, geöffnet (siehe Abbildung 55 rechts). Dadurch „schabten“ die Entrindungsmesser zu Beginn

der Entrindung häufig über die Stirnseite der Stämme, wodurch drei Viertel der stirnseitig angebrachten Transponder entfernt oder zerstört wurden. Die seitlich eingeschlagenen Nageltransponder wurden erwartungsgemäß ebenfalls zerstört.

Diejenigen Transponder, die die Entrindung überstanden, konnten problemlos durch die Ausleseantenne am Stammschieber ausgelesen werden. Eine Ausnahme waren hier die stirnseitig applizierten Nageltransponder, die aufgrund ihrer sehr kleinen Antennen mit der großen Antenne am Stammschieber nicht gelesen werden konnten (vgl. Kapitel 4.4.2.2.1).

Zusammenfassend lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Die seitlich applizierten Nägel wurden erwartungsgemäß durch die Entrindung alle zerstört.
- Die stirnseitig applizierten Nägel waren wegen ihrer sehr geringen Antennengröße mit der großen Ausleseantenne am Stammschieber nicht auszulesen.
- Alle anderen stirnseitig angebrachten Transponderbauformen überlebten die Entrindung mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit von 25,3 %, wobei eine möglichst zentrale Anbringung die Überlebenswahrscheinlichkeit leicht erhöhte.
- Eine Auslesung am Stammschieber ist grundsätzlich technisch durchführbar und funktioniert (mit Ausnahme der Nageltransponder) sowohl im LF- und HF-Bereich. Voraussetzung ist allerdings, dass die Transponder die Entrindung überleben, was nur bei optisch gesteuerten Entrindungsmessern gewährleistet ist.

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen von Punkt 6 des Arbeitsplans (vgl. Langantrag S. 22) ist die Erarbeitung einer detaillierten wirtschaftlichen Analyse durch das Fachgebiet Logistik der Universität Dortmund (Forschungsstelle 2) vorgesehen. Diese soll als Ergebnis eine Aussage über den betriebswirtschaftlichen Nutzen der im Projekt erarbeiteten Prozesse und Technologien treffen. Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich allgemein mit der Frage, an welcher Stelle des im Projekt betrachteten Teilbereichs der Holzerntekette welche Kosten auftreten und was für ein Nutzen dem gegenüber steht. Daneben erfolgt im Rahmen einer Szenario-Analyse eine Abschätzung der Kosten.

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 den Einsatz fest installierter Antennen voraussetzt.

5.1.1 Kostenseite

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 (im Folgenden steht K^M für motormanuell bzw. K^H für hochmechanisiert) entsprechend getrennt erfolgen.

5.1.1.1 Motormanuelle Kette

5.1.1.1.1 Einsatz von Waldarbeitern

Bei der Holzernte mit der Motorsäge ist eine manuelle Anbringung der Transponder erforderlich, wodurch ein zeitlicher Mehraufwand entsteht. Der angebrachte Transponder muss anschließend ausgelesen und die Transpondernummer mit den zugehörigen Holzdaten in einem PDA verknüpft werden. Als Mittelwerte wurden dabei während der Feldversuche bei Nageltranspondern etwa 20 Sekunden für die Applikation sowie weitere 10 Sekunden für die Auslesung ermittelt (siehe Kapitel 4.4.1.1). Die gemessene Zeit beinhaltet dabei auch alle sekundären Vorgänge wie Hervorholen des Transponders aus einer mitgeführten Tasche, Vorbereiten des Tackers bzw. Hammers¹² etc. Durch Lerneffekte können die angegebenen Zeiten abnehmen und somit die Zusatzkosten wieder sinken.

Es ergibt sich also ein Schätzwert von 30 Sekunden, der je Stammabschnitt als zeitlicher Mehraufwand (K_{z1}) anzusetzen ist. Die Bezugseinheit der folgenden Betrachtungen für variable Kosten ist daher konsequent immer der einzelne Stamm bzw. Abschnitt.

Darüber hinaus ist eine Schulung der Arbeiter unbedingt erforderlich. Sie müssen lernen, den PDA richtig zu handhaben und die benötigten Daten zuverlässig zu ermitteln und einzugeben. Das gesamte System ist davon abhängig, dass zum Zeitpunkt der Dateneingabe keine Fehler gemacht werden. Insofern ist der Schulungsaufwand (K_{s1}) mit hoher Wahrscheinlichkeit größer als für den Harvesterfahrer (vgl. Kapitel 5.1.1.2.1).

¹² Die Cambium-Forstbetriebe im Odenwald haben in einem eigenen Projekt einen speziellen Hammer entwickelt, der das Einschlagen von Transpondernägeln deutlich vereinfacht und damit auch beschleunigt. Der Effizienzgewinn wird dadurch erzielt, dass auf einer Seite des Hammers ein spezieller Dorn befestigt ist, mit dessen Hilfe das Loch für den Transponder vorgestanzt wird. Auf diese Weise kann der Nagel auch in problematisches Holz ohne Verlustrisiko (vgl. Kapitel 4.2.2.1) eingeschlagen werden.

Schließlich sind die Anschaffungskosten für die mobilen Erfassungsgeräte (K_{f1}) zu berücksichtigen, die je nach Ausführung stark schwanken. Ein robustes Gerät mit Einsatztauglichkeit auch unter schwierigen Witterungsbedingungen ist zu einem Preis von etwa 2.000 € je Stück erhältlich. Diese hohen Kosten entstehen unter anderem durch die erforderlichen Zusatzmodule (RFID-Reader/Antenne) sowie durch die robuste Ausführung. Falls keine besonders robusten Geräte benötigt werden, kann ein Richtwert von 1.000 € je Stück angenommen werden.

Es ergibt sich folgende Kostenformel, wobei K_{v1} die variablen Kosten für die benötigten Transponder bezeichnet:

$$K_{f1}^M = K_{f1} + K_{s1} \quad \text{[Gleichung 1]}$$
$$K_{v1}^M = K_{v1} + K_{z1}$$

5.1.1.1.2 Identifikation am Polter

Nach dem Fällen wird das Langholz zur Waldstraße gerückt und dort gepoltert. Die heutzutage übliche Methode der Feststellung von Holzmenge und -qualität auf einem Polter besteht in einer zeitaufwändigen, stichprobenartigen Vermessung und einer darauf basierenden Schätzung. Der Einsatz von Transpondern bedeutet an dieser Stelle eine Zeitersparnis, da das Einlesen der Transponder deutlich schneller durchführbar ist als eine Vermessung. Dennoch entsteht ein Zeitaufwand (K_{z2}), und die benötigten Handlesegeräte müssen ebenfalls beschafft werden (K_{f2}). Diese Annahme basiert auf der Tatsache, dass an der Kette regelmäßig für jeden Schritt unterschiedliche Unternehmen zum Einsatz kommen (vgl. Kapitel 2.1). Ferner entstehen Schulungskosten zur Bedienung der Geräte (K_{s2}), so dass sich folgendes ergibt:

$$K_{f2}^M = K_{f2} + K_{s2} \quad \text{[Gleichung 2]}$$
$$K_{v2}^M = K_{z2}$$

5.1.1.1.3 Identifikation auf dem LKW

Bei der Beladung des LKW ist es erforderlich, die Stämme erneut zu identifizieren. Anders als in der hochmechanisierten Kette handelt es sich allerdings um Langholz bzw. um Stämme mit sehr großem Durchmesser, so dass nur wenige Stämme auf dem LKW

transportiert werden können, was unter anderem auch mit dem hohen Gewicht eines einzelnen Stammes und dem maximal zulässigen Gesamtgewicht des LKW zusammenhängt.

Daher ist es möglich, die aufgeladenen Stämme ohne großen Zeitaufwand mit Handlesegeräten (K_{f3}) zu identifizieren (K_{z3}). Auch hier ist eine spezielle Schulung der Mitarbeiter erforderlich (K_{s3}), während Verbrauchsmaterial nicht anfällt. Zusammenfassend kann folgende Aufstellung erfolgen:

$$\begin{aligned} K_{f3}^M &= K_{f3} + K_{s3} \\ K_{v3}^M &= K_{z3} \end{aligned} \quad \text{[Gleichung 3]}$$

5.1.1.1.4 Wareneingangskontrolle im Sägewerk

Auch die Wareneingangskontrolle kann aufgrund der geringen Anzahl der transportierten Stämme (vgl. Kapitel 5.1.1.1.3) manuell, d. h. mit Hilfe von Handlesegeräten erfolgen (K_{f4}). Die Kontrolle erfordert ein gewisses Maß an Zeit (K_{z4}), das jedoch im Vergleich zur heute mancherorts praktizierten Stichprobenkontrolle weitaus geringer ausfällt. Auch an dieser Stelle müssen die Mitarbeiter geschult werden (K_{s4}), so dass folgende Kostenstruktur entsteht:

$$\begin{aligned} K_{f4}^M &= K_{f4} + K_{s4} \\ K_{v4}^M &= K_{z4} \end{aligned} \quad \text{[Gleichung 4]}$$

5.1.1.2 Hochmechanisierte Kette

5.1.1.2.1 Einsatz eines Harvesters

Im Rahmen der hochmechanisierten Holzernte ist es zwingend erforderlich, kosteneffizient zu arbeiten. Daher ist ein zusätzlicher Zeitaufwand für das Anbringen von Transpondern grundsätzlich nicht akzeptabel, was bereits im Laufe der ersten Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses von den Anwendern deutlich herausgestellt wurde. Das im Rahmen des Projektes entwickelte Verfahren genügt diesem Anspruch (vgl. Kapitel 4.4.2.1), da die Applikation des Transponders zeitgleich mit dem Sägevorgang erfolgt und somit keine zusätzliche Zeit benötigt wird. Es entstehen keine Zusatzkosten durch erhöhten Zeitaufwand und eine damit verbundene verringerte Produktivität.

Zu berücksichtigen sind folglich nur die Stückkosten der eingesetzten Transponder in Abhängigkeit von der verwendeten Menge (variable Kosten $K_{v1} = x \cdot K_T$) sowie die Kosten der Modifikation des Harvesteraggregates (Fixkosten K_{f1}). Das im Rahmen des Projektes entwickelte Gerät kann in den Sägekasten des Aggregats integriert werden. Als Kostenfaktoren sind damit lediglich die Kosten für die Herstellung und den Einbau in das Aggregat (inkl. Anschluss an die Bordelektronik) zu berücksichtigen.

Ein weiterer Kostenfaktor ist der Aufwand für Schulungen des Personals (K_{s1}). Der Fahrer des Harvesters muss lernen, wie er das Transpondermagazin bei Bedarf neu befüllt, wie die Applikationsvorrichtung zu warten ist und wie er das korrekte Arbeiten der Vorrichtung (insbesondere das Auslesen und Speichern der Transpondernummern) überwachen kann.

Die Berechnung der Kosten kann mit folgender Aufstellung erfolgen:

$$\begin{aligned} K_{f1}^H &= K_{f1} + K_{s1} \\ K_{v1}^H &= K_{v1} \end{aligned} \quad \text{[Gleichung 5]}$$

5.1.1.2.2 Identifikation auf dem Forwarder

Die aufzuladenden Holzabschnitte besitzen nur an einem Ende einen Transponder. Der Fahrer des Forwarders muss also zunächst herausfinden, wo sich der Transponder befindet. Eine zusätzliche Farbmarkierung, die bereits standardmäßig in manchen Harvestern vorhanden ist, kann die Suche bei kleinen Transpondern (z. B. Transpondernägeln) deutlich vereinfachen und abkürzen. Zudem erfolgt bei der Aufarbeitung des Holzes durch den Harvester bereits eine einheitliche Ausrichtung der Abschnitte zur Rückegasse, so dass diese nur zu Anfang überprüft werden muss. Das Ende mit dem Transponder muss beim Aufladen an einer Antenne vorbeigeführt werden, die beispielsweise das innerhalb des vorliegenden Projektes gewählte Design haben kann (vgl. Kapitel 4.4.2.1).

Es entstehen folglich Kosten sowohl für die Ausrüstung des Fahrzeugs mit RFID-Systemen (K_{f2}) als auch für die Schulung des Personals (K_{s2}). Durch den möglicherweise erhöhten Zeitbedarf beim Beladungsvorgang können daneben weitere, fortlau-

fende Kosten (K_{z2}) entstehen, die sich aus dem Stundensatz multipliziert mit dem Zeitbedarf errechnen. Insgesamt lässt sich folgende Berechnung aufstellen:

$$K_{f2}^H = K_{f2} + K_{s2} \quad \text{[Gleichung 6]}$$
$$K_{v2}^H = K_{z2}$$

5.1.1.2.3 Identifikation auf dem LKW

Das Einlesen der auf dem Transponder gespeicherten Informationen erfolgt auf dem LKW analog zum Forwarder über fest installierte Antennen (vgl. Kapitel 4.4.2.3). Die auftretenden Kosten für die Hardware, deren Installation auf dem Fahrzeug und erforderliche Schulungsmaßnahmen sowie für den erhöhten Zeitbedarf beim Beladen ergeben sich analog zum Forwarder (vgl. Kapitel 5.1.1.2.2):

$$K_{f3}^H = K_{f3} + K_{s3} \quad \text{[Gleichung 7]}$$
$$K_{v3}^H = K_{z3}$$

5.1.1.2.4 Wareneingangskontrolle im Sägewerk

In der hochmechanisierten Kette wird i. d. R. Kurzholz ausgehalten, d. h. der LKW ist mit sehr vielen Stammabschnitten beladen. Es besteht über die gesamte hochmechanisierte Kette hinweg der Anspruch, möglichst viele Prozesse zu automatisieren bzw. durch den Einsatz von Maschinen zu optimieren. Überträgt man dieses Prinzip auf das Sägewerk, so wäre eine vollautomatische Wareneingangskontrolle wünschenswert, die bspw. beim Durchfahren eines am Werkstor aufgestellten Gates vollautomatisch jeden Transponder erfasst und mit der Computerdatenbank abgleicht. Dies wurde aufgrund technischer Restriktionen (vgl. Kapitel 4.4.3.1) im vorliegenden Projekt nicht untersucht, muss aber dennoch in die Kostenbetrachtung mit einfließen. Es entstehen Kosten für die Hardware, Software und Installation (K_{f4}) sowie für die Schulung der Mitarbeiter (K_{s4}). Aufgrund der Vielzahl der Stämme ist außerdem zu erwarten, dass der LKW nur sehr langsam durch das Tor fahren darf, um eine Identifikation aller Abschnitte sicherzustellen, d. h. es entsteht auch hier ein (wenn auch nur leicht) erhöhter Zeitbedarf (K_{z4}). Auch bei einer Lösung, die statt eines Tores Handgeräte voraussetzt, entstehen

gleichartige Kosten. Zusammenfassend kann folgende Kostenaufstellung zusammengestellt werden:

$$K_{f4}^H = K_{f4} + K_{s4} \quad \text{[Gleichung 8]}$$

$$K_{v4}^H = K_{v4}$$

5.1.1.3 Identifikation bei der Werksvermessung

Da bei der Werksvermessung ausschließlich eine Identifikation des Holzes erfolgt, d. h. keine neuen Markierungen angebracht werden, entstehen lediglich einmalige Investitionskosten für die benötigte Hardware, Software und ggf. für die IT-Infrastruktur (K_{f5}). Zusätzliche laufende Kosten sind allenfalls im erhöhten Strombedarf zu sehen, was jedoch als vernachlässigbar gering eingestuft werden kann. Es entstehen darüber hinaus keine weiteren Kosten durch zusätzlichen Zeitbedarf, da die Identifikation im Rahmen der bereits existierenden Prozesse durch fest installierte Antennen durchgeführt wird. Ebenso entfallen Schulungskosten, da davon ausgegangen werden kann, dass die Systeme vollautomatisch arbeiten und in der Regel keiner manuellen Bedienung bedürfen. Damit ergibt sich folgende Berechnung:

$$K_{f5}^M = K_{f5}^H = K_{f5} \quad \text{[Gleichung 9]}$$

5.1.1.4 Verwaltung der Daten

Einen größeren Posten in der Kostenaufstellung stellt die benötigte informationstechnische Infrastruktur dar. Zum einen ist eine zentrale Datenbank erforderlich, die über verschiedene Schnittstellen (u. a. GPRS, Internet) mit Daten versorgt wird, zum anderen muss dafür geeignete Hardware beschafft, installiert und ggf. gewartet werden. Ein entsprechendes Konzept wurde bereits in Kapitel 4.2 vorgestellt. Die Kosten hierfür setzen sich zusammen aus den Anschaffungskosten für die Hardware (K_{f6}), die (optionalen) Verbindungskosten für eine Standleitung ins Internet (K_{v6}) sowie die Anschaffungs- und evtl. Lizenzkosten für die Software. Zudem können Schulungskosten anfallen (K_{s6}). Damit ergibt sich folgende Kostenberechnung:

$$K_{f6}^H = K_{f6}^M = K_{f6} + K_{s6} \quad \text{[Gleichung 10]}$$

$$K_{v6}^H = K_{v6}^M = K_{v6}$$

5.1.1.5 Zusammenfassung der Kosten

In den vorangegangenen Abschnitten wurde deutlich, dass eine exakte Kalkulation von vielen Faktoren und letztendlich auch von der tatsächlichen Umsetzung abhängt. Zudem muss unterschieden werden zwischen laufenden Kosten durch Verbrauchsmaterial und Betriebskosten sowie fixen, nur einmalig auftretenden Kosten für Gerätebeschaffung und Schulungsmaßnahmen. Außerdem sind unregelmäßig auftretende Kosten, z. B. für Instandhaltung und Reparaturen (K_r), zu berücksichtigen.

Wie bereits in Kapitel 2 dargestellt, gibt es in Deutschland kaum Fälle, wo die gesamte Holzerntekette von einem einzigen Unternehmen abgedeckt wird. Die Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Prozessstufen ist daher entscheidend für eine für alle Beteiligten wirtschaftlich rentable Einführung von RFID. Insbesondere die variablen Kosten, die – wie oben gezeigt – nur an bestimmten Stellen in der Kette auftreten, sind dabei zu beachten.

Für die motormanuelle und hochmechanisierte Kette ergibt sich auf Basis der oben aufgeführten Berechnungen folgende Kostenstruktur:

$$K^M = K_f^M + K_v^M = \sum_{n=1}^6 K_{fn}^M + \sum_{m=1}^6 K_{vm}^M + K_r$$

$$K^H = K_f^H + K_v^H = \sum_{n=1}^6 K_{fn}^H + \sum_{m=1}^6 K_{vm}^H + K_r$$

[Gleichung 11]

Da sich die Summanden unter Umständen auf unterschiedliche Zeiteinheiten beziehen (z. B. Transponder pro Tag und Internetgebühren pro Monat), müssen sie vor der konkreten Berechnung ggf. noch vereinheitlicht werden. Der so berechnete Geldbedarf ist grundlegend wichtig für die Abschätzung der Rentabilität im konkreten Umfeld und sollte daher unternehmensspezifisch so präzise wie möglich berechnet bzw. geschätzt werden. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass sich insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von fortgeschrittener Technologie wie RFID Kooperationen anbieten, um Kosten zu sparen. Insbesondere im Rahmen der motormanuellen Kette, wo praktisch ausschließlich mit Handlesegeräten gearbeitet wird, lassen sich erhebliche Einsparungen realisieren, wenn ein Unternehmen mehrere Bereiche der Kette abdeckt und so einmal beschaffte Geräte mehrfach verwenden kann.

5.1.2 Beispielhafte Berechnung der Kosten

Nachdem in Kapitel 5.1.1 die durch den RFID-Einsatz entstehenden Kosten allgemeingültig erläutert wurden und das daran anschließende Kapitel ausführlich den entstehenden Nutzen dargestellt hat, soll im nun Folgenden eine beispielhafte Berechnung der Kosten anhand unterschiedlicher Szenarien erfolgen (für eine Beschreibung der Szenario-Technik vgl. Meyer-Schönherr 1992, S. 14 ff.). 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 Anlehnung an Schwer 2003).

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 und aus der Projekterfahrung heraus abgeleitet werden, während das optimistische und das pessimistische Szenario Extremsituationen im Sinne von best- und schlechtestmöglicher 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.

5.1.2.1 Motormanuelle Kette

Es kann davon ausgegangen werden, dass grundlegende Faktoren sich über die Szenarien hinweg nicht verändern (vgl. Tabelle 18), daher sollen im Folgenden lediglich die durch den RFID-Einsatz entstehenden Mehrkosten herausgestellt werden. Die motormanuelle Variante wird für staatliche Waldarbeiter und Fichte des Sortiments H4 kalkuliert.

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

Sortiment Langholz	
Stückmasse Fichte H4	1,5 fm
Waldarbeiter	
Leistung pro Jahr	1.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Stundenlohn	35 €
Schlepper	
Leistung pro Jahr	7.500 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Stundenlohn	20 €
Langholz-LKW	
Leistung pro Jahr	15.000 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Stundenlohn	20 €
Sägewerk	
Leistung pro Jahr	100.000 fm
Abschreibungszeitraum MDE-Gerät	3 a
Stundenlohn	20 €
Datenhaltung	
Abschreibungszeitraum Hard- und Software	5 a
Bezugsmenge pro Jahr (Sägewerk)	100.000 fm

Eine Übersicht über die betrachteten Szenarien und die jeweiligen Mehrkosten je Festmeter liefert die folgende Tabelle 19, wobei der **Nageltransponder** als Datenträger zugrunde gelegt wurde. Alle berechneten Kosten wurden kaufmännisch gerundet.

Bei den Annahmen zum Waldarbeiter ist zu beachten, dass für das pessimistische Szenario eine starke Erhöhung der erforderlichen Applikationszeit angenommen wurde. Dies ist bspw. dann der Fall, wenn der Transpondernagel beim Einschlag zerbricht oder sich nach dem Einschlagen als defekt herausstellt. Das optimistische Szenario beschreibt in diesem Zusammenhang die Auswirkungen von Lerneffekten und eine damit verbundene Zeitverkürzung.

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

	Optimistisches Szenario	Trend-Szenario	Pessimistisches Szenario
Transponder			
Transponderpreis (> 1 Mio. Stck.)	0,40 €	0,70 €	1,00 €
Mehrkosten je fm	0,27 €	0,47 €	0,67 €
Waldarbeiter			
Zeitlicher Mehraufwand je Stamm	10 s	30 s	50 s
Kosten Handlesegerät	1.000 €	2.000 €	3.000 €
Mehrkosten je fm (Handlesegerät)	0,22 €	0,44 €	0,67 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,06 €	0,19 €	0,32 €
Schlepper			
Zeitlicher Mehraufwand je Stamm	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.000 €	2.000 €	3.000 €
Mehrkosten je fm (Handlesegerät)	0,04 €	0,09 €	0,13 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Langholz-LKW			
Zeitlicher Mehraufwand je Stamm	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.000 €	2.000 €	3.000 €
Mehrkosten je fm (Handlesegerät)	0,02 €	0,04 €	0,07 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Werkseingang Sägewerk			
Zusätzliche Zeit für manuelle WE-Kontrolle je Stamm	5 s	10 s	15 s
Kosten Handlesegerät	1.000 €	2.000 €	3.000 €
Mehrkosten je fm (Handlesegerät)	0,00 €	0,01 €	0,01 €
Mehrkosten je fm (Arbeitszeit)	0,02 €	0,04 €	0,06 €
Werksvermessung Sägewerk			
Kosten Auslesevorrichtung Werksvermessung	5.000 €	7.500 €	10.000 €
Mehrkosten je fm (stationäre Ausleseantenne)	0,01 €	0,01 €	0,02 €
Datenhaltung			
Hardwarekosten	3.000 €	5.000 €	7.000 €
Software-Lizenzkosten	10.000 €	30.000 €	50.000 €
Kosten für zentralen DB-Zugang via Internet pro Jahr	500 €	1.000 €	1.500 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,08 €	0,13 €
Gesamt			
Gesamt-Mehrkosten je fm	0,73 €	1,49 €	2,24 €

Die Analyse des Trend-Szenarios in der motormanuellen Holzerntekette zeigt, dass mit heutigen Daten durchschnittliche Mehrkosten in Höhe von knapp **1,5 €/fm** entstehen. Der Transponderpreis, dessen Zahlenwert im Trend-Szenario auf den Angaben des Herstellers beruht, geht nur zu etwa 30 % in die summierten Mehrkosten ein. Kalkuliert

man mit den preiswerteren ISO-Karten wie bei der hochmechanisierten Variante (Kapitel 5.1.2.2), so reduzieren sich die Gesamt-Mehrkosten auf 1,39 €/fm.

Die Kosten für den zusätzlichen Zeitaufwand des Waldarbeiters und dessen MDE-Gerät haben einen wesentlichen Anteil an den Mehrkosten. Dies liegt insbesondere an der relativ geringen Jahresleistung und den dadurch erhöhten Kosten je Festmeter.

Grundsätzlich sind die in Kapitel 5.1.1.1 erwähnten weiteren Kosten für Schulung, Reparaturen etc. zusätzlich zu berücksichtigen.

5.1.2.2 Hochmechanisierte Holzerntekette

Für die hochmechanisierte Holzerntekette können die in den folgenden Tabellen dargestellten Szenarien aufgestellt werden, wobei auch in diesem Fall zunächst die getroffenen, unveränderlichen Annahmen (Tabelle 20) dargelegt werden. Dabei wurde unterstellt, dass durch die automatische Anbringung und Auslesung der Transponder kein zeitlicher Mehraufwand und damit auch keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Tabelle 20: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Annahmen)

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
Sägewerk	
Leistung pro Jahr	100.000 fm
Abschreibungszeitraum	6 a
Datenhaltung	
Abschreibungszeitraum Hard- und Software	5 a
Bezugsmenge pro Jahr (Sägewerk)	100.000 fm

Als Sortiment wurde Fichte 2a (4m-Abschnitte) zugrunde gelegt. Die Preisangabe für die Transponder im Trend-Szenario beruht auf den Angaben des Herstellers, wobei als

Bauform die im Projekt genutzte **ISO-Karte** zugrunde gelegt wurde. Das optimistische Szenario geht dabei von Preissenkungen aus, die sich bspw. aus der Nutzung von Lerneffekten ergeben oder aufgrund günstiger Marktentwicklungen realisierbar werden. Im pessimistischen Szenario wird von Preissteigerungen im Vergleich zum Trend-Szenario ausgegangen, die zum Beispiel in steigenden Rohstoffpreisen und damit steigenden Herstellungskosten begründet sein können. Gleichwohl ist diese Betrachtung sehr hypothetisch, da alle bekannten Prognosen eine deutliche Senkung der Preise für RFID-Technologie vorhersagen.

Die Annahme, dass mehr als 1 Mio. Transponder benötigt werden, basiert auf der Leistung der Sägewerke im Abschreibungszeitraum und einer Umrechnung der angegebenen Festmeterzahl auf die daraus resultierende Anzahl der Abschnitte. Die Kosten für das Applikationsgerät am Harvester können nur geschätzt werden, da der Bau des Prototyps mit einer sehr hohen Eigenleistung der Projektpartner erfolgte. Für den Forwarder, den LKW und die Vermessung im Sägewerk werden keine speziellen Lesegeräte, sondern lediglich entsprechend platzierte und abgestimmte Antennen benötigt (vgl. Kapitel 4.1.3 und 4.1.4.2). Da die Systeme für LKW und Forwarder identisch oder zumindest sehr ähnlich sind, können identische Preise angenommen werden. Für eine automatische Wareneingangskontrolle im Sägewerk wäre ein Tor notwendig, durch das der LKW fahren könnte und das die Identifikation vornähme (vgl. Kapitel 4.1.4.1). Für die Werksvermessung wird ein weiteres automatisches System benötigt. In allen Betrachtungen im Rahmen der hochmechanisierten Kette kann ein zusätzlicher Zeitaufwand vernachlässigt werden, da dieser aufgrund der weitgehenden Integration des RFID-Einsatzes in die bestehenden Arbeitsabläufe lediglich marginal ausfällt.

Bei der hochmechanisierten Holzerntekette liegen die Mehrkosten derzeit (Trendszenario) bei knapp **4,5 €/fm** und damit deutlich über den Kosten bei der motormanuellen Holzernte (siehe Tabelle 21). Sie resultieren aufgrund der geringen Stückmasse des Holzes und den damit benötigten hohen Transponder-Stückzahlen zu über 90 % aus den Kosten für die Transponder. Dadurch führen zu erwartende Preissenkungen bei zunehmendem RFID-Einsatz zu deutlich sinkenden Mehrkosten. Alleine ein Rückgang des Transponder-Stückpreises auf 0,3 € würde zu Mehrkosten von 2,55 €/fm, ein Rückgang auf 0,1 € zu Mehrkosten von 1,05 €/fm führen.

Darüber hinaus sind die in Kapitel 5.1.1.2 aufgeführten Kosten wie Schulungen oder Reparaturkosten zusätzlich in Betracht zu ziehen.

Tabelle 21: Szenario-Betrachtung in der hochmechanisierten Holzerntekette (Berechnungen)

	Optimistisches Szenario	Trend-Szenario	Pessimistisches Szenario
Transponder			
Transponderpreis (> 1 Mio. Stck.)	0,30 €	0,55 €	0,80 €
Mehrkosten je fm	2,25 €	4,13 €	6,00 €
Harvester			
Kosten Applikationsgerät	5.000 €	10.000 €	15.000 €
Mehrkosten je fm	0,04 €	0,08 €	0,11 €
Forwarder			
Kosten Antennen	3.000 €	5.000 €	7.000 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,05 €	0,06 €
Kurzholz-LKW			
Kosten Antennen	3.000 €	5.000 €	7.000 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,06 €	0,08 €
Sägewerk			
Kosten RFID-Tor	10.000 €	15.000 €	20.000 €
Kosten Werksvermessung	5.000 €	7.500 €	10.000 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,04 €	0,05 €
Datenhaltung			
Hardwarekosten	3.000 €	5.000 €	7.000 €
Software-Lizenzkosten	10.000 €	30.000 €	50.000 €
Kosten DB-Zugang per Internet pro Jahr	500 €	1.000 €	1.500 €
Mehrkosten je fm	0,03 €	0,07 €	0,11 €
Gesamt			
Gesamt-Mehrkosten je fm	2,41 €	4,43 €	6,41 €

5.1.3 Nutzenseite

Der vorausgegangenen Darstellung der Kostenseite soll nun eine Betrachtung des Nutzens folgen, der sich aus einer Verwendung der RFID-Technologie zur Optimierung der forstlichen Logistikkette ergeben kann. Da es sich nicht ausschließlich um Einsparungspotenziale handelt, sondern auch Zusatznutzen entsteht, ist es schwierig, den Nutzen als Summe zu quantifizieren. Ferner hängt der Wirkungsgrad dieser Logistikoptimierung von der Qualität der bisherigen Vorgehensweise ab. Das Spektrum in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft reicht von laienhafter bis zu professioneller Holzbereitstellung. In der Praxis findet man hinsichtlich der Organisation unterschiedliche Varianten, bei denen sich die logistische Planung stark unterscheidet. Im Falle der Freiwerk-Lieferung ist das verarbeitende Sägewerk lediglich der Holzkäufer. Die Disposition befindet sich vollständig in der Hand des Waldbesitzers. Erfolgt der Verkauf frei Waldstraße, veranlasst das Sägewerk den Abtransport durch eine Spedition und ist hier aktiver Teilnehmer der Logistikkette. Darüber hinaus agieren Holzeinschlagsunternehmen teilweise als Zwischenhändler und nehmen damit zusätzlichen Einfluss auf die Holzbereitstellungsstrategie. Da sich ein finanzieller Einzelnutzen in den Varianten unterschiedlich ausprägt, scheidet eine allgemeingültige Aufsummierung zu einem Gesamtnutzen aus.

5.1.3.1 Einzelstammidentifikation

Wird ein Stamm oder Abschnitt mit einem Transponder markiert, ist er bis zur Entfernung der Transponder im verarbeitenden Werk eindeutig identifizierbar. Der Transpondernummer können in einer Datenbank alle für den weiteren Holzbereitstellungsprozess erforderlichen Informationen, wie z. B. Vermessungsdaten und Hiebsort, zugeordnet werden. Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welche Vorteile sich aus dieser Einzelstammidentifikation ergeben können.

Der Rückeunternehmer kann anhand seines Arbeitsauftrages, der eine Auflistung der vergebenen Transpondernummern enthält, die Vollständigkeit seiner Arbeit überprüfen. Damit wird die Gefahr, dass bei diesem Prozessschritt ganze Stämme im Bestand vergessen werden, erheblich reduziert.

Befindet sich das Holz an der Waldstraße, ist derzeit eine erneute Aufnahme und Vermessung durch den Waldbesitzer oder Förster üblich. In der hochmechanisierten Holzernnte wird allerdings jeder Abschnitt bereits im Zuge der Aufarbeitung vom Harvester vermessen und die Daten im Harvesterprotokoll des Bordcomputers gespeichert. Durch die Verknüpfung mit der Transpondernummer kann jeder Stamm am Polter identifiziert und mit dem Vermessungsprotokoll verglichen werden. Der **Stichprobenaufwand** reduziert sich dabei deutlich. Langheim (1998) beziffert den Zeitaufwand, der bei der Aufnahme eines durchschnittlichen Polter von 100 fm Kurzholz (4m; 1b2; 1000 Stk.) entsteht, mit 2-3 Stunden im Wald und einer zusätzlichen Stunde Büroarbeit. Außerdem entstünde eine Verzögerung in der Rundholzkette von 2-5 Tagen. Insgesamt sei diese Art der Mehrfachvermessung mit zusätzlichen Kosten in Höhe von ca. 1 €/fm verbunden.

Die **Abfuhr des Rundholzes** kann als nachfolgender Arbeitsschritt in mehrfacher Weise von einer Einzelstammidentifikation profitieren. Der Spediteur erhält, wie zuvor der Rücker, einen Arbeitsauftrag, aus dem genau ersichtlich ist, welche Holzmengen sich an welchem Ort befinden und welche Transpondernummern seinem Auftrag zugeordnet sind. Bisher ist eine Einweisung des LKW-Fahrers durch den Förster häufig unumgänglich, um zu vermeiden, dass falsches Holz geladen oder einzelne Polter vergessen werden. Eine Transponderauslesung nach der Verladung und ein anschließender Abgleich mit dem Auftrag schließt Verwechslungen sowie Verluste durch Vergessen aus. Gleichzeitig ist auch das Volumen einer eventuell verbleibenden Restmenge bekannt. Bei entsprechender Disposition kann so auch eine **Frachtoptimierung** erfolgen und damit der Anteil an Teilfahren reduziert werden.

Auch das verarbeitende Werk erhält mit dem Lieferschein eine Aufstellung der zugehörigen Transpondernummern. Am Werkseingang kann durch eine Auslesung der Transponder genau dokumentiert werden, welche Stämme bzw. Abschnitte das Werk tatsächlich erreicht haben und welche Restmengen noch ausstehen. In einigen Sägewerken werden in aufwändigen Stichproben bis zu 50 % der Lieferungen überprüft, wodurch zudem erhebliche zusätzliche **LKW-Wartezeiten** im Sägewerk entstehen. Die Einzelstammidentifikation hilft hier die Vollständigkeit der Lieferung zu prüfen.

Neben einer Vermeidung von Holzverlusten spielt aber auch die eindeutige Identifikation der Herkunft eine wichtige Rolle im Sinne der **Chain of Custody**. Durch die zunehmende Bedeutung der Zertifizierung ist es erforderlich, die Herkunft eines Produktes für die der Holzerntekette nachfolgenden Glieder sowie für den Endverbraucher transparent zu machen. Hier kann eine Kennzeichnung mit Transpondern einen wichtigen Beitrag leisten, die Herkunft von zertifiziertem Holz und den Weg vom Wald zum Endverbraucher glaubwürdig nachzuvollziehen (Schwer 2003). Unternehmen, die einen Herkunftsnachweis bei Holzprodukten schnell umsetzen, könnten einen Vorsprung gegenüber Konkurrenzprodukten erlangen und eine bessere Marktposition erzielen (Kärkkäinen et al. 2001).

Bei der **Werksvermessung** erfolgt die letzte Auslesung der Transpondernummer. Die Werksvermessung gewinnt zunehmende Bedeutung, da sie immer häufiger die Grundlage zur **Herleitung des Abrechnungsvolumens** liefert. Hier ermöglicht die eindeutige Waldbesitzeridentifikation, ohne vorher auf dem Lagerplatz nach Herkunft sortiert zu haben, eine genaue Abrechnung durchzuführen. Dabei können das Ergebnis der Werksvermessung und das errechnete Volumen mit der Transpondernummer verknüpfen werden. Der Waldbesitzer hat somit die Möglichkeit, eine eigene Vermessungstichprobe mit dem Messergebnis aus dem Sägewerk zu vergleichen. Auf diesem Weg kann das **Vertrauen in die Werksvermessung** gesteigert werden, woraus eine höhere Akzeptanz dieser produktiven und kostengünstigen Abrechnungsbasis resultiert. Besonders bei Holzlieferungen aus dem Kleinprivatwald, wo sich Hiebe häufig über mehrere Waldbesitzgrenzen hinweg erstrecken, ist es bisher kaum oder nur mit großem Aufwand möglich, jedem Waldbesitzer genau das von ihm gelieferte Holz zu bezahlen. In der Regel wird die Gesamtlieferung mit der Waldbesitzervereinigung abgerechnet, die den durchschnittlichen Erlös auf die Waldbesitzer verteilt. Hierin besteht ein nicht zu unterschätzendes Hemmnis bei der Holzmobilisierung im Kleinprivatwald. Für das Sägewerk könnte sich aus der Herkunftsidifikation auch eine Möglichkeit der **Ausbeuteanalyse** ergeben, falls es gelingt, die Kennzeichnung des Holzes durch den Verarbeitungsprozess fortzuführen. Dabei ist das Verhältnis zwischen Produktmasse und -qualität und der Verschnittmasse der Indikator für eine Beurteilung des liefernden Forstbetriebes bzw. des einzelnen Waldbestandes.

5.1.3.2 Reduktion der Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit des Rundholzes durch die Holzerntekette ist vom Zeitaufwand für die einzelnen Arbeitsschritte (Prozesszeiten) und den Zeitabständen zwischen den Arbeitsschritten (Leerzeiten) abhängig. Derzeit sind die kumulierten Leerzeiten etwa dreimal größer als die reinen Prozesszeiten (Bodelschwingh 2005). Dieser hohe Leerzeitenanteil ist im Wesentlichen auf Mängel im Informationsfluss zurückzuführen. Eine durch RFID unterstützte Forstlogistik kann einen **durchgängigen Informationsfluss** schaffen, der den Arbeitsfortschritt in Echtzeit dokumentiert und somit einem beschleunigten Warenfluss Vorschub leistet. Eine Reduzierung der Durchlaufzeiten wirkt sich in vielfacher Hinsicht positiv für die Beteiligten der Holzerntekette aus.

Sowohl für den Waldbesitzer als auch für die forstlichen Dienstleistungsunternehmen ergeben sich **Zinsvorteile** aus einer schnelleren Abrechnung. Bodelschwingh (2005) beziffert die durchschnittliche Gesamtdauer zwischen Einschlagsbeginn und Endabrechnung mit 88 Tagen. Bei einer Verkürzung der Durchlaufzeit um 30 Tage ergibt sich für den Holzverkäufer ein Mehrerlös von ca. 0,50 €/fm (bei 75,00 €/fm und einem Zinssatz von 8 % p. a.).

Erfolgt die Abrechnung nach dem Volumen, dass auf der Grundlage der Werksvermessung ermittelt wurde, ist eine zügige Lieferung vorteilhaft, da das Rundholz nach der Fällung und Aufarbeitung ständig einen Teil seines Wassergehaltes verliert und sich das Volumen verringert (das Holz schwindet). Zusätzlich geht mit der Volumenabnahme auch eine Verschiebung in niedrigere Stärkeklassen einher, was den Erlös zusätzlich mindert. In Abhängigkeit von der Jahreszeit und den Witterungsbedingungen gibt Langheim (1998) einen durchschnittlichen Verlust von ca. 2,25 €/fm durch **Volumen- und Qualitätseinbußen** für den Verkäufer an. Jede Verkürzung der Durchlaufzeit trägt dazu bei, diese Verluste zu reduzieren.

Im Sägewerk erhöht sich bei der Verarbeitung von frischerem Holz die Standzeit der Sägewerkzeuge. Damit reduzieren sich die Wartungs- und Wechselzeiten. Dies bewirkt eine Kostensenkung im Verarbeitungsprozess. Für das Sägewerk ergeben sich ferner Vorteile durch größeres Schnittholzvolumen und höhere Sortenausbeute.

Neben den Volumenverlusten wirken sich aber auch direkte Schadfaktoren auf die Qualität des Rundholzes aus. Pilz- und Insektenbefall können dem Holz einen optischen Schaden zufügen und Einfluss auf die Holzfestigkeit haben. Friedl et al. (2004) haben das Einsparungspotenzial beschrieben, das sich aus einer **Reduktion dieser Lager-schäden** ergeben könnte. Unter der Annahme, dass der Wertverlust für verblautes Sägerundholz bei 24 €/fm liegt und ein Viertel der Holzmengen die kritische Durchlaufzeit überschreitet, kann eine Verkürzung der Durchlaufzeit von 49 auf 28 Tage eine Einsparung von ca. 1,14 €/fm erbringen.

Weitere Einsparungsmöglichkeiten ergeben sich aus einer Reduzierung der an den Sägewerken gelagerten Holzmengen. Die Holzindustrie leistet sich derzeit hohe Lagervorräte für mehrere Produktionswochen. Zum einen soll so verhindert werden, dass es zu einer Unterbrechung des Verarbeitungsprozesses aufgrund von Holz-mangel kommt, zum anderen ist die Vorhaltung verschiedener Sortimente nötig, um schnell und flexibel auf Kundenwünsche und Marktveränderungen reagieren zu können. Allerdings ist diese **Lagerhaltung** mit erheblichen direkten Kosten sowie Verlusten durch Kapitalbindung und Lagerschäden verbunden. Ein transparenter Informationsfluss erlaubt bei kürzeren Lieferzeiten auch einen ständigen Überblick darüber, welche Sortimente, in welchen Mengen, an welchem Ort, zu welcher Zeit verfügbar sind. Dadurch können Lagerzeiten reduziert werden, ohne auf Flexibilität in der Produktion verzichten zu müssen. Friedl et al. (2004) errechneten an einem Beispiel, dass ein großes Einsparungspotenzial in einer **Verringerung der Kapitalbindung** liegt. Bei einem durchschnittlichen Jahreslagerstand von fünf Produktionswochen und einem Jahreseinschnitt von 300.000 Festmetern sind über 2,2 Mio. € Kapital im Lager gebunden. Bei einer Verzinsung von 7,5% p. a. ergibt sich für eine Reduzierung des Lagerstandes auf drei Produktionswochen eine Einsparung von ca. 0,22 €/fm. Reduziert man den Jahreslagerstand auf zwei Produktionswochen, so ergeben sich analog Einsparungen von ca. 0,33 €/fm. Aufgrund der aktuell stark ansteigenden Holzpreise liegt das Einsparungspotenzial derzeit bereits ca. 25% über den Berechnungen von Friedl et al. (2004). Diese Berechnung basiert rein auf Reduktionspotenzialen, die sich aus der verringerten Kapitalbindung ergeben. Langfristige Einsparungen aus einer geringeren Lagerkapazität und aus niedrigeren Manipulationskosten sind dabei noch nicht berücksichtigt. Allein aus einer reduzierten Kapitalbin-

dung könnte sich für ein solches Sägewerk bereits im ersten Jahr eine Ersparnis von 60.000 bis 100.000 Euro ergeben.

5.1.4 Rentabilitätsanalyse

Wie die vorangegangenen Kapitel gezeigt haben, lässt sich der konkrete Nutzen nur schwer und unter Berücksichtigung vieler Annahmen quantifizieren. Aus diesem Grund erfolgt die Rentabilitätsbetrachtung auf der Basis von relevanten Kennzahlen anhand des verbreitet eingesetzten (vgl. Schulze im Hove et al. 2004, S. 54) Controlling-Instruments der **Balanced Scorecard** (vgl. Kaplan/Norton 1997). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Balanced Scorecard ein „Instrument zur Umsetzung von Strategien mit quantifizierbaren Vorgaben“ ist (Rughase 1999, S. 25) 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 (Rughase 1999, S. 26).

In Kapitel 2 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. unter Umständen 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** (vgl. Schulze im Hove/Stüllenberg 2003).

5.1.4.1 Die Netzwerk-Balanced Scorecard im Überblick

Die im Rahmen der Forschungsarbeiten des Teilprojektes M3 innerhalb des DFG-Sonderforschungsbereiches 559 an der Universität Dortmund entwickelte Netzwerk-Balanced Scorecard (NBS) ist speziell dafür entworfen worden, auf Kooperationen basierenden Unternehmensnetzwerken ein Controlling-Instrument zur Verfügung zu stellen (vgl. Stüllenberg 2005, Sonnek 2005). Eine Übertragung und letztlich auch Anwen-

dung auf den vorliegenden Fall bietet sich daher an, zumal auch andere Autoren das Konzept der klassischen Balanced Scorecard bereits auf die Holzerntekette angewendet haben (vgl. z. B. Friedl et al. 2004).

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 Schulze im Hove/Stüllenberg 2003, S. 18 ff.). Für jeden Netzwerkteilnehmer besteht die NBS aus fünf Perspektiven: Finanzperspektive, Ressourcenperspektive, Marktperspektive, Kooperationsperspektive und Prozessperspektive (vgl. Abbildung 58).

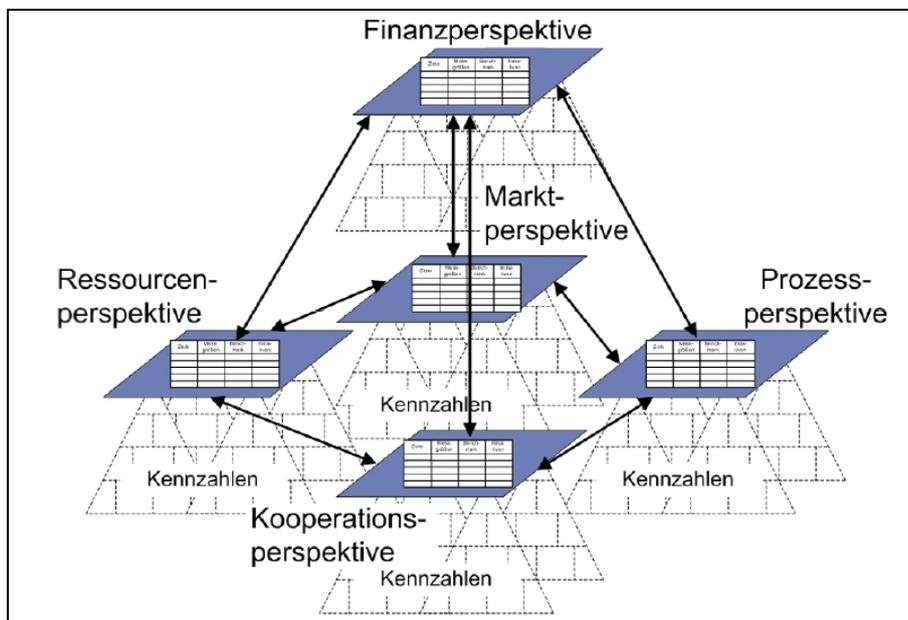


Abbildung 58: Perspektiven der Netzwerk-Balanced Scorecard

(Quelle: Schulze im Hove/Stüllenberg 2003, S. 18)

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 leistungserstel-

lenden) 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. Wie in Kapitel 5.1.4.3 noch zu zeigen sein wird, hängen die genannten Perspektiven im Rahmen von Ursache-Wirkungsketten zusammen und können daher nicht isoliert betrachtet werden.

5.1.4.2 Definition von relevanten Kennzahlen

Für jede der genannten Perspektiven sind Kennzahlen zu erarbeiten, anhand derer ein gezieltes Controlling möglich wird. Die im vorliegenden Projekt betrachtete Holzernte-kette 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 forst-spezifischen Charakteristika zielführend erscheint (vgl. zum Folgenden Schulze im Hove et al. 2004, S. 61 ff.). 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.

5.1.4.2.1 Finanzperspektive

Wie bereits erwähnt, nimmt die Finanzperspektive eine übergeordnete Position im Vergleich mit den anderen Perspektiven ein, da sämtliche Ziele und Kennzahlen der anderen Perspektiven an ihr auszurichten sind. 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:

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

Es ist offensichtlich, dass bereits diese erste Kennzahl eine Ausnahme ist und nicht bei 100% liegen sollte. Vielmehr ist es erstrebenswert, die Logistikkosten möglichst gering zu halten. Ein Problem dabei ist die Begriffsdefinition. Eine gängige Interpretation der Logistikkosten, der sich im Folgenden angeschlossen wird, beinhaltet die folgenden Kostenarten: Steuerungs- und Systemkosten, Bestandskosten, Lagerkosten, Transportkosten, Handhabungskosten und Kosten aufgrund mangelnder Prozesssicherheit.

Nicht weniger bedeutend ist die **Gesamtkapitalrendite**, wobei alternativ auch die Eigenkapitalrentabilität oder die Umsatzrentabilität verwendet werden können:

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

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):

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

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 5.1.4.3 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 zu-

mindest 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 5.1.2 angewendet wurde (für eine detaillierte Beschreibung vgl. Götze 1993).

5.1.4.2.2 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 (vgl. Brewer/Speth 2000). 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:

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

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

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

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“ (Schulze im Hove et al. 2004, S. 64). Dazu schlagen sie eine Aufteilung in Kategorien, etwa in Transport-, Mitarbeiter- und Materialkosten, vor. Wie Kapitel 5.1.1 gezeigt hat, steigen durch den Einsatz von RFID insbesondere die Materialkosten.

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

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

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

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

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

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 Be-

darfsmengen. 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 Pilotversuchen mussten zwar die Schnittstellen der einzelnen Geräte noch manuell aneinander angepasst werden, jedoch ist dieser Schritt bei einem marktreifen 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 (vgl. Virtual Roundtable „RFID“ o. J.). 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-Beladungsbeschränkung 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 Falschliefereien 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.

5.1.4.2.3 Ressourcenperspektive

Als Ressourcen werden im Rahmen dieser Perspektive 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:

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

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

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

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

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 (vgl. z. B. Höckels 2000, Knaese/Probst 2001). Es besteht die Möglichkeit, dass durch die automatische Identifikation und Datenverwaltung die Zufriedenheit der Mitarbeiter zunimmt, wenn aufwändige und zeitintensive manuelle Verrichtungen dadurch entfallen oder zumindest abgemildert werden. Im Hinblick auf die Holzerntekette entsteht zwar unter Umständen ein zeitlicher Mehraufwand (vgl. Kapitel 5.1.1), jedoch entfällt an anderer Stelle bspw. die aufwändige Suche nach Pol-

tern oder das zeitintensive Neuvermessen des Holzes an der Waldstraße, um die Menge zu bestimmen.

5.1.4.2.4 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 (vgl. Schulze im Hove et al. 2004, S. 74 ff.). Ganz konkret wird als weiteres Ziel die Vermeidung des Bullwhip-Effekts¹³ aufgeführt (vgl. Schulze im Hove/Stüllenberg 2003, S. 19).

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:

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

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

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

Daneben existieren eine Reihe weiterer Empfehlungen für diese Perspektive (vgl. Friedl et al. 2004, S. 11), wobei für den vorliegenden Fall die **Kooperationszufriedenheit** sowie die **Produktionsmenge je Kooperationspartner** interessant erscheinen.

Die WE-Prüfquote ist unter den oben getroffenen Annahmen nur für die motormanuelle Kette interessant, da im Rahmen der hochmechanisierten Kette eine vollautomatische Wareneingangskontrolle erfolgt und damit jede Lieferung kontrolliert wird. Muss eine aufwändige manuelle Kontrolle erfolgen, ist jedoch eine möglichst kleine Anzahl an Prü-

fungen anzustreben. 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 aufwändige 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.

Die Produktionsmenge wird durch den Einsatz von RFID kaum steigen, da diese Kennzahl von anderen Faktoren abhängig ist. Sie kann aber mit Hilfe von Transpondern op-

¹³ Zum Phänomen des Bullwhip-Effekts (Aufschaukeln von Lagerbeständen Supply Chain aufwärts) vgl. Lee et al. (2004).

timal kontrolliert und erfasst werden, so dass eine Bewertung der Kooperationspartner ermöglicht wird. Dass dies sehr wichtig ist, zeigt Kapitel 5.1.4.3.

5.1.4.2.5 Marktperspektive

Zusätzlich zur ursprünglichen Kundenperspektive beinhaltet die Marktperspektive die Konkurrenzsituation der Unternehmen innerhalb des Netzwerks, d. h. die Außensicht des Unternehmens wird ergänzt (vgl. Schulze im Hove et al. 2004, S. 77 ff.). 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:

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

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

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“ (Rughase 1999, S. 39). 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 (siehe auch Rughase 1999, S. 41), 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.

5.1.4.3 Darstellung der Zusammenhänge

Wie bereits in Kapitel 5.1.4.1 angedeutet, sind die verschiedenen Perspektiven der NBS voneinander abhängig und können daher immer nur im Gesamtzusammenhang gesehen und analysiert werden. Die wechselseitigen Abhängigkeiten werden durch Ursache-Wirkungs-Ketten dargestellt, die im Falle der NBS sowohl unternehmensinterne als auch interorganisationale Beziehungen berücksichtigen. Die folgende Abbildung 59 soll beispielhaft verdeutlichen, wie derartige Ketten aussehen können.

Wie zu erkennen ist, sind die Verflechtungen zwischen den Netzwerk-Teilnehmern vielschichtig, und Änderungen bei einem Partner können Auswirkungen auf Kennzahlen eines anderen Partners haben. Es ist unter anderem zu sehen, dass sich die Termintreue direkt auf die Kundenzufriedenheit auswirkt, was wiederum zu einem höheren Ressourcenauslastungsgrad führt, da die Nachfrage steigt. Hohe Termintreue und gute Auslastung der Ressourcen wirken sich unmittelbar auf den ROI aus, was indirekt die Stabilität der Kooperation begünstigt. Diese Zusammenhänge wurden bereits in den vorherigen Kapiteln für den Forstsektor dargestellt.

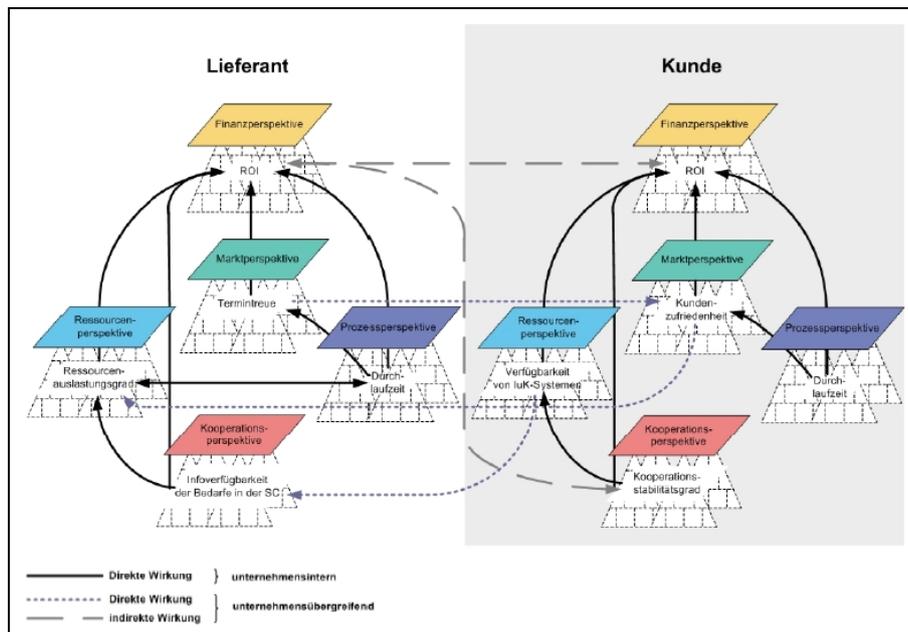


Abbildung 59: Beispiele für Ursache-Wirkungs-Ketten (Quelle: Schulze im Hove/Stüllenberg 2003, S. 23)

Grundsätzlich ist bei Kooperationen auf eine Ausgewogenheit der Beziehungen der beteiligten Unternehmen auf einem durch die gewählte Strategie determinierten Balance-Niveau zu achten (vgl. zum Folgenden Bischof 2002, S. 188 ff.). Dazu werden fortlaufend Soll-Ist-Abweichungen analysiert und eventuelle Anpassungsbedarfe abgeleitet. Entsprechend der Abweichung der eigenen Leistung und der des Kooperationspartners können acht Fälle definiert werden, für die jeweils empfohlene Handlungsanweisungen existieren (vgl. Bischof 2002, S. 189):

1. *Beiderseitige Überleistung*

Offenbar wurde die angestrebte Strategie verfehlt. In gegenseitiger Abstimmung sollte die Leistung beider Unternehmen verringert werden.

2. *Überleistung des Kooperationspartners*

Unkritisch, da das angestrebte Niveau auch bei einer Verringerung der Leistung des Partners erreicht wird.

3. *Überleistung des Kooperationspartners und eigene Unterleistung*

Es besteht die Gefahr, dass der Partner seine Leistung stark einschränken bzw. die Kooperation beenden wird. Die eigene Leistung sollte erhöht werden.

4. *Eigene Unterleistung*

Hier gilt im Wesentlichen das zu Punkt 4 Gesagte.

5. *Beiderseitige Unterleistung*

Die angestrebte Strategie wird auch in diesem Fall verfehlt, d. h. die Leistungen beider Partner sollten in Absprache erhöht werden.

6. *Unterleistung des Kooperationspartners*

Dies ist sowohl kritisch für die Realisierung der Strategie als auch unwirtschaftlich. Es ist eine erhöhte Leistung des Partners einzufordern.

7. *Unterleistung des Kooperationspartners und eigene Überleistung*

Eine der schlechtesten denkbaren Situationen. Die eigene Leistungsbeziehung sollte neu definiert oder die Kooperation beendet werden.

8. *Eigene Überleistung*

Diese Situation ist unwirtschaftlich, d. h. die eigene Leistung sollte reduziert werden.

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. Wiese 2001, 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.

6 Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Ausgehend von den in diesem Forschungsprojekt erzielten Ergebnissen kann folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf identifiziert werden:

- Ein Einsatz der RFID-Technologie zur Kennzeichnung von Rundholz löst viele der aufgezeigten Probleme. Allerdings weisen LF- und HF-Systeme eine ungenügende Reichweite für die wichtige automatische Auslesung beim Werkseingang auf. Ein Einsatz von UHF-Systemen könnte dieses Problem lösen und sollte entlang der gesamten Kette, vor allem aber am Sägewerk geprüft werden. Insbesondere die Wareneingangskontrolle kann durch die Anwendung der RFID-Technologie deutlich vereinfacht und weniger zeitintensiv gestaltet werden, so dass die Kosten deutlich gesenkt werden können.
- Ein Einsatz von Transpondern in offenen Systemen ist derzeit wegen der noch hohen Transponderpreise in keiner Branche wirtschaftlich durchführbar. Dies ist auch in der Forst- und Holzbranche nicht anders, weswegen die organisatorischen und technischen Voraussetzungen für ein geschlossenes (Mehrweg-)System untersucht werden sollten.
- Ein wichtiges Problem bei der Einführung der RFID-Technologie in die Holzerntekette ist die Entsorgung der Transponder. Das bei der Produktion von Schnittholz entstehende Sägerestholz sowie die Sägespäne sind kein Abfall, sondern Rohstoff für die Papier-, Zellstoff- oder Holzwerkstoffproduzenten. Für die meisten Verwendungen ist mit Metallen oder Kunststoffen verunreinigtes Sägerestholz nicht brauchbar. Das Entsorgungsproblem lässt sich möglicherweise durch den mehrfachen Einsatz der Transponder in einem geschlossenen System umgehen.
- Weitere Probleme entstehen für die Holzindustrie durch die fehlende Verknüpfung des Endproduktes Schnittholz mit dem Ausgangsprodukt Rundholz. Die Verwendung von Auto-ID-Systemen (Barcode etc.) zur durchgehenden Markierung der Produkte innerhalb des Sägewerkes bis zum Endprodukt sorgt für eine lückenlose Herkunftssicherung und bringt wirtschaftliche Vorteile für die Unternehmen. Hier besteht dringender Forschungsbedarf, insbesondere aufgrund der schwierig durchzuführenden Kennzeichnung der einzelnen Bretter (Astlöcher, Verfärbungen, Risse etc.).
- Die Entwicklung von serienreifen automatischen Applikations- und Auslesevorrichtungen für Forstmaschinen ist für einen Einsatz der RFID-Technologie im Forstbereich notwendig, muss aber den Forstmaschinenherstellern überlassen werden.

7 Schlussbetrachtungen

7.1 Transpondersysteme

Die Untersuchungen im Projekt (vgl. Kapitel 4.2) haben gezeigt, dass die RFID-Technologie grundsätzlich für den Einsatz im Rahmen der Holzerntekette geeignet ist. Im Hinblick auf die Arbeitsfrequenzen von **passiven Transpondern** ist eine differenzierte Betrachtung notwendig.

LF-Systeme sind aufgrund der kompakten Bauformen prinzipiell gut geeignet, jedoch ist ihre Reichweite sehr begrenzt. Vorteilhaft ist insbesondere die Unempfindlichkeit gegenüber Metallen und Flüssigkeiten. Nageltransponder bieten sich aufgrund ihrer Konstruktion und der einfachen Applikationsmöglichkeit an, während die Holz-Plättchen in herkömmlicher Form bereits heutzutage verbreitet eingesetzt werden und somit kein neues Applikationswerkzeug für den Waldarbeiter erforderlich ist.

HF-Systeme existieren hauptsächlich in Form von Etiketten. Es können deutlich größere Reichweiten als mit LF-Systemen erzielt werden. Nachteilig ist die höhere Empfindlichkeit gegenüber Metallen, während Flüssigkeiten nur wenig Störpotenzial entwickeln. Klebeetiketten sind jedoch im Forstbereich grundsätzlich nicht geeignet, so dass alternative Bauformen bzw. Anbringungsmöglichkeiten zur Anwendung kommen müssen.

UHF-Systeme weisen im Vergleich zu den vorgenannten Frequenzen eine sehr hohe Reichweite auf, jedoch bilden Metalle und Flüssigkeiten ernstzunehmende potentielle Störfaktoren, die eine Auslesung verhindern können. Erst seit Anfang 2006, und damit zum Ende des Projektes, ist mit der EPC Generation 2 eine Chipfamilie auf dem Markt verfügbar, die hier eine verbesserte Performance bietet. Auch die verfügbaren Bauformen sind mittlerweile überaus vielfältig und lassen einen Einsatz im rauen Forstumfeld möglich erscheinen. Im vorliegenden Projekt konnte dieser Frequenzbereich mangels technischer Realisierbarkeit nicht in die Tests einbezogen werden. Aufgrund der neuen Entwicklungen ist jedoch ein Einsatz möglich und sollte untersucht werden, um bei automatischen Auslesungen von höheren Reichweiten profitieren zu können.

Ein Einsatz **aktiver Systeme** ist hingegen nicht sinnvoll, da zum einen die Stückkosten zu hoch und zum anderen die momentan verfügbaren Bauformen nicht für den vorliegenden Anwendungsfall geeignet sind.

7.2 RFID-Einsatz in der Holzerntekette

Für einen Einsatz in der **motormanuellen Holzerntekette** eignen sich sowohl LF- als auch HF-Systeme. Da jeder Stamm manuell mittels Handlesegeräten identifiziert wird, ist hier keine hohe Lesereichweite erforderlich. Eine manuelle Anbringung ist grundsätzlich bei allen Transpondern möglich. Während der Versuche im Projekt funktionierte die Einbindung der RFID-Technologie sehr gut – weder die Applikation noch die Auslesung erwiesen sich als problematisch. Ebenso gut funktionierte die Übertragung der Daten in eine zentrale Datenbank. Einzig der zusätzliche Zeitaufwand für Applikation und Auslesung erwies sich als nachteilig.

Ein Einsatz der RFID-Technologie in der **hochmechanisierten Holzerntekette** erfordert größere Reichweiten, da die Auslesungen automatisch durch fest installierte Antennen erfolgen. Aus diesem Grund wurde dem Frequenzbereich um 13,56 MHz (HF) der Vorzug gegeben. Es konnte im Projekt gezeigt werden, dass ein durchgängiger Einsatz über die gesamte Kette hinweg bis hin zum Sägewerk grundsätzlich möglich ist. Die seitliche Anbringung der Leseantennen auf Forwarder und LKW war problematisch, da der Zwischenraum zwischen den Rungen normalerweise für Handhabungsvorgänge genutzt wird. Um diesen Raum auch weiterhin nutzen zu können, ist eine Integration der Leseantennen in die bzw. eine Anpassung der Antennenbauform an die Rungen der Fahrzeuge erforderlich. Die automatische Applikation der Transponder durch eine Applikationsvorrichtung am Harvesteraggregat wurde erfolgreich realisiert. Die entwickelte Vorrichtung wurde von der Praxis mit großem Interesse aufgenommen (siehe Anhang B), ist jedoch nur ein Prototyp und keinesfalls serienreif. Es bedarf weiterer umfangreicher Leistungen durch Forstmaschinenhersteller, um eine vollständige Integration in das Harvesteraggregat zu erreichen. Zudem muss der Schutz des Gerätes gegen mechanische und klimatische Belastungen deutlich verbessert werden, so dass ein Einsatz auch unter Extrembedingungen möglich wird.

Den größten Nutzen durch den Transpondereinsatz hat im Rahmen der betrachteten Holzerntekette das **Sägewerk**. Durch den Einsatz von RFID stehen verlässliche Informationen zur Disposition und Tourenplanung zur Verfügung. Eine automatische Identifikation bei der Werksvermessung ist problemlos möglich und garantiert eine jederzeitige Rückverfolgbarkeit des Holzes. Ergänzend hierzu ist eine automatisierte Warenein-

gangskontrolle wünschenswert, die jedoch mit LF- oder HF-Transpondern aufgrund zu geringer Lesereichweiten nicht realisierbar ist. Der Einsatz von UHF-Transpondern könnte dies ermöglichen. Die erzielbaren Einsparungen durch entfallende manuelle Kontrollen sind erheblich.

7.3 Kosten und Nutzen

Eine **Erfolgsbewertung** der Einzelinvestition in RFID-Technik ist nur mit großem Aufwand und unter vielen Annahmen durchführbar. Für eine Entscheidungsunterstützung ist es stattdessen empfehlenswert, die Investition im Gesamtzusammenhang zu sehen und anhand von spezifischen Kennzahlen zu ermitteln, inwieweit die Einführung von RFID den Unternehmenserfolg bzw. den Erfolg der gesamten Kette beeinflussen kann (vgl. Kapitel 5.1.4).

Die in Szenarien berechneten **Mehrkosten** (siehe Kapitel 5.1.2) liegen in der motormanuellen Holzerntekette mit derzeit gut 1,5 €/fm deutlich unter denen der hochmechanisierten Variante mit knapp 4,5 €/fm, obwohl die motormanuelle Variante mit den etwas teureren Nageltranspondern kalkuliert wurde und zudem hohe Personalkosten anfallen. Dagegen kommt in der hochmechanisierten Kette vorwiegend die geringe Stückmasse und damit die weitaus größere benötigte Transponder-Stückzahl zum Tragen, so dass trotz günstigerer Transponder die Mehrkosten insgesamt deutlich höher ausfallen. Reduktionen bei den Transponder-Stückpreisen, die von der gesamten Logistikbranche erwartet werden, wirken sich daher vor allem bei der hochmechanisierten Holzerntekette deutlich aus. Zusätzlich stellen die Datenbankkosten einen großen Investitionsposten dar. Insbesondere skalierbare Systeme, die mit den anfallenden Datenmengen effizient arbeiten können, erfordern hohe Einstiegskosten. Über die gesamte Nutzungsdauer gesehen und auf den Festmeter bezogen fallen diese Kosten aber kaum ins Gewicht.

Diesen Mehrkosten stehen **Mehrnutzen** und **Kosteneinsparungen** gegenüber, die allerdings nur schwer quantifizierbar sind und sehr von den jeweiligen Rahmenbedingungen abhängen (vgl. Kapitel 5.1.3). Betrachtet man lediglich die ansatzweise quantifizierbaren Vorteile wie den verringerten Stichprobenaufwand bei der Poltererfassung, reduzierte Durchlaufzeiten, geringere Verluste durch Lagerschäden, automatische Werkseingangserfassung, verminderte Verluste durch Diebstahl oder Vergessen sowie

kleinere Holzvorräte und Lagerplätze am Sägewerk (vgl. Kapitel 5.1.3), so ergibt sich ein **Mindestnutzen von etwa 3 €/fm**. Berücksichtigt man zudem die weiteren, kaum quantifizierbaren Vorteile wie die Waldbesitzeridentifikation am Sägewerk oder die Chain of Custody, so zeichnet sich ein **Nutzenpotential von bis zu 10 €/fm** ab (vgl. Schwer 2003).

Der Nutzen einer Einführung der RFID-Technologie in der Holzerntekette überwiegt also bereits bei heutigen Transponderpreisen mit großer Wahrscheinlichkeit die Mehrkosten. Durch den mehrfachen Einsatz der Transponder in einem geschlossenen System kann diese Situation noch weiter verbessert werden. Dies gilt v. a. für die hochmechanisierte Holzerntekette, in der große Stückzahlen an Transpondern benötigt werden. Grundsätzlich kann ein RFID-Einsatz in der Forst- und Holzbranche bei erfolgreicher Einführung von technisch ausgereiften Systemen als **wirtschaftlich vorteilhaft** betrachtet werden.

8 Veröffentlichungen und Vorträge

8.1 Bisherige Veröffentlichungen

Korten, S.; Schneider, J.; Kaul, C. (2005): RFID-Einsatz in der modernen Holzerntekette. Ident 9(7): 33-35.

Korten, S.; Kaul, C.; Schneider, J. (2005): RFID-Technologie in der Holzerntekette. AFZ - Der Wald 60(18): 969-970.

Korten, S.; Kaul, C. (2006): Optimierung des Warenflusses in der Holzerntekette. LWF aktuell (52): 39-41.

8.2 Geplante Veröffentlichungen

Korten, S.; Schneider, J.; Kaul, C. (2006): Optimization of material flow processes in the timber supply chain. European Journal of Forest Research, geplant.

Korten, S.; Schneider, J.; Kaul, C. (2006): RFID in der hochmechanisierten Holzernte. Forst & Technik, geplant.

8.3 Vorträge

Korten, S. (2006): Einsatz der RFID-Technologie in der Forstlogistik. Vortrag KEPnet 2006, 05.05.2006, Kassel

Korten, S. (2006): Einsatz der RFID-Technologie in der hochmechanisierten Holzerntekette. Vortrag Forstwissenschaftliche Tagung 2006, 21.09.2006, Tharandt

Korten, S.; Kaul, C. (2006): RFID-Einsatz in der Holzerntekette. Vortrag Seminarreihe des Lehrstuhls für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München, 26.01.2006, Freising

Kaul, C. (2006): Radio Frequency Identification (RFID) in der Holzerntekette. Vortrag Treffen der Sektion Forsttechnik, 15.07.2006, München

9 Literaturverzeichnis

- Bischof, J. (2002):** Die Balanced Scorecard als Instrument einer modernen Controlling-Konzeption, Schriftenreihe für Controlling und Unternehmensführung Edition Österreichisches Controller-Institut, 2002, zugl. Dissertation Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, 2001.
- Bluck, C.; Gans, J.; Gleixner, A.; Heimbrod, Prof. W.; Stallmann, S. (2001):** BIGS, Physik: Die Induktion, URL: <http://www.bigs.de/de/shop/htm/indukt01.html>.
- Bodelschwingh, E. von (2001).** Rundholztransport-Logistik - Situationsanalyse und Einsparpotentiale. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 94 S.
- Bodelschwingh, E. von (2005):** Analyse der Rundholzlogistik in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management, Dissertation am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München, 214 S.
- Bodelschwingh, E. von; Bauer, J.; Warkotsch, W. (2005).** Impulse für die Mobilisierung von Rundholz im Kleinprivatwald. AFZ – Der Wald 60(18): 955-958.
- Brewer, P.; Speh, T. (2000):** Using the Balanced Scorecard to Measure Supply Chain Performance, in: Journal of Business Logistics, Vol. 21 (2000), No. 1, pp. 75-93.
- ELDAT (2002a):** ELDAT_Satzarten_120.xls, Version 1.2.0, 02.09.2002
- ELDAT (2002b):** ELDAT_Referenzen_120.xls, Version 1.2.0, 02.09.2002
- EPCglobal (o. J.):** URL: <http://www.epcglobal.de>.
- Finkenzeller, K. (2002):** RFID-Handbuch, Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2002.
- Friedl, K.; Kanzian, C.; Stampfer, K. (2004):** Netzwerk Holz. Endbericht, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, ohne Ort, Oktober 2004.

- Funk, M. (1999).** Strategien des Forstbetriebes zur wertschöpfungssteigernden Prozeßoptimierung in der Holzbereitstellung. Vortrag zum Winterkolloquium Forst und Holz der Universität Freiburg.
- Gerhardt, T. (2006):** Harting Mitronics AG gewinnt den HERMES AWARD 2006
URL: http://www.innovations-report.de/html/berichte/hannover_messe/bericht-58367.html, 25.04.2006.
- Götze, U. (1993):** Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung, Wiesbaden, 1993, zugl. Dissertation Universität Göttingen, 1990.
- Höckels, A. (2000):** Möglichkeiten der Absicherung von Humankapitalinvestitionen zur Vermeidung unerwünschter Mitarbeiterfluktuation, Arbeitspapiere des Instituts für Genossenschaftswesen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Nr. 20, November 2000.
- Jansen, R.; Schneider, J. (2006):** RFID aus Sicht der Forschung.
in: Allgemeine Papier-Rundschau, Ausgabe 03/2006, S. 19-20.
- Kaplan, R.S.; Norton, D.P. (1997):** Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen, Stuttgart, 1997.
- Kärkkäinen et al. (2001):** Building the information enriched solid wood product supply chain. Int. Working Conference on Strategic Manufacturing. Aalborg
- Kemper, A.; Eickler, A. (2004):** Datenbanksysteme - Eine Einführung. Oldenbourg, München.
- Knaese, B.; Probst, G. (2001):** Wissensorientiertes Management der Mitarbeiterfluktuation, in: Zeitschrift für Organisation zfo, 70. Jg. (2001), Heft 1, S. 35-41.
- Korten, S.; Schneider, J.; Kaul, C. (2005):** RFID-Einsatz in der modernen Holzerntekette. Ident 9(7): 33-35.
- Korten, S.; Kaul, C.; Schneider, J. (2005):** RFID-Technologie in der Holzerntekette. AFZ - Der Wald 60(18): 969-970.
- Korten, S.; Kaul, C. (2006):** Optimierung des Warenflusses in der Holzerntekette. LWF aktuell (52): 39-41.
- Krüger, G. (2002):** Handbuch der Java-Programmierung, Addison-Wesley, München

- Langheim, J. (1998):** Die Holzerntekette aus der Sicht des Sägewerks.
FTI 4+5/1998, S. 51-55.
- Latschbacher (o. J.):** URL: <http://www.latschbacher.com>.
- Latschbacher (2005):** Schnittstellenbeschreibung Mobile Forst, ab Version 1.30,
13.07.2005, Fa. Latschbacher GmbH.
- Lee, H.L.; Padmanabhan, V.; Whang, S. (2004):** Information Distortion in a Supply
Chain, in: Management Science, Vol. 50, No. 12 Supplement, December 2004,
pp. 1875-1886.
- Leinert, S. (1998).** Voraussetzung für die Mobilisierung der erforderlichen Angebots-
menge zur Belieferung eines großen Sulfatzellstoffwerkes in Nordostdeutschland
- Beurteilung von Logistikketten. Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds.
- Meyer-Schönherr, M. (1992):** Szenario-Technik als Instrument der strategischen
Planung, in: Schriftenreihe Unternehmensführung, Bd. 7, Ludwigsburg, Berlin,
1992. Zugl. Diss. Univ. Frankfurt/Main, 1991.
- Ripken, X. (2001).** Vom Baum zum Werk – wer soll die Logistik bewältigen?
Forst und Holz 56. Jahrgang. S. 628-631.
- Rughase, O. G. (1999):** Jenseits der Balanced Scorecard: Strategische Wettbewerbs
vorteile messen, Berlin, 1999.
- Schüler, H.-P. (2006):** Firma markiert Mitarbeiter per RFID.
URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/69438>, 10.02.2006.
- Schulze im Hove, A.; Stüllenber, F. (2003):** Die Netzwerk-Balanced Scorecard als
Instrument des Netzwerk-Controlling, Technical Report 03002, Teilprojekt M3
des SFB 559, Dortmund, 14.05.2003, URL: <http://hdl.handle.net/2003/5489>.
- Schulze im Hove, A.; Stüllenber, F.; Weidt, S. (2004):** Inhaltliche Ausgestaltung der
Netzwerk-Balanced Scorecard für Beschaffungsketten, Technical Report 03024,
SFB 559, ISSN 1612-1376, Dortmund, 21.1.2004.
URL: <http://hdl.handle.net/2003/5508>.
- Schwer, C. (2003):** Machbarkeitsstudie zur Implementierung von „Radio-Frequency-
Identification“-Technologie in der Holzerntekette, Diplomarbeit, Freising, 2003.

- SCS (2005).** Richtlinien zur Holzfluss-Verifizierung (Chain-of-Custody Certification). Scientific Certification Systems.
- Shepard, S. (2005):** RFID – Radio Frequency Identification, McGraw-Hill, 2005.
- Sonnek, A. (2005):** Verhaltensorientierte Steuerung logistischer Netzwerke – Eine konzeptionell-theoretische Analyse, Dissertation Universität Dortmund, 2005.
- Stüllenberg, F. (2005):** Konzeption eines modularen Kooperationscontrolling, Dissertation Universität Dortmund, 2005.
- Uusijärvi, R. (2003):** Linking raw material characteristics with industrial needs for environmentally sustainable and efficient transformation processes (LINESET). Final Report QLRT-1999-01467, Trätek. 196 S.
- VDS (2005).** Jahresbericht 2004/2005. Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie
- VeriChip Corporation (o. J.):** URL: <http://www.verichipcorp.com>.
- Virtual Round Table „RFID“ (o. J.):** <http://www.competence-site.de/handel.nsf/News/EC326617A901659AC12570AB004A3A0D>.
- Wiese, J. (2001):** Implementierung der Balanced Scorecard: Grundlagen und IT-Fachkonzept, Wiesbaden, 2000, Nachdruck Juli 2001, zugl. Diss. Univ. Münster, 1999.

Anhang A – Datenbank-Tabellen

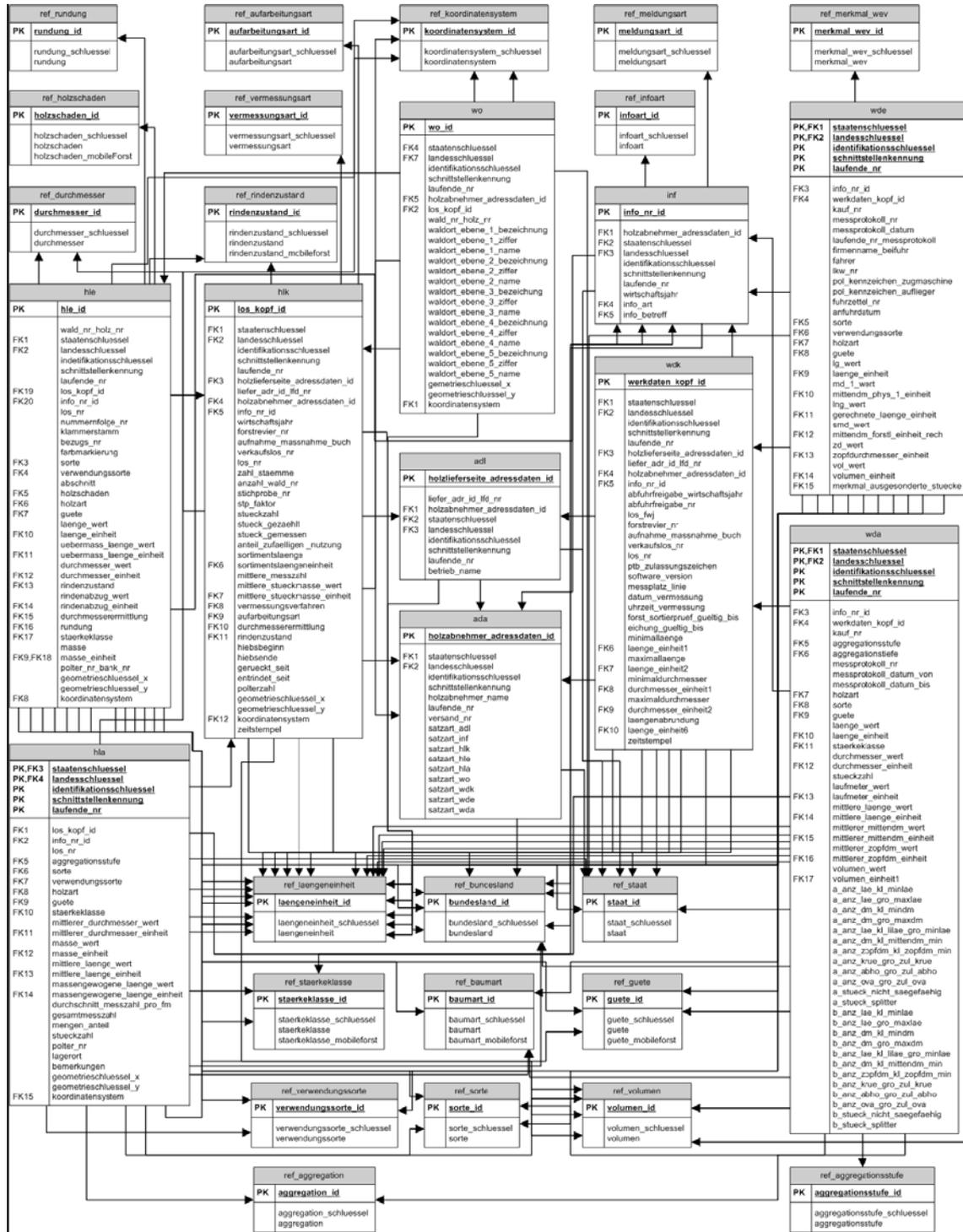


Abbildung 60: Datenstruktur

Anhang A – Datenbank-Tabellen

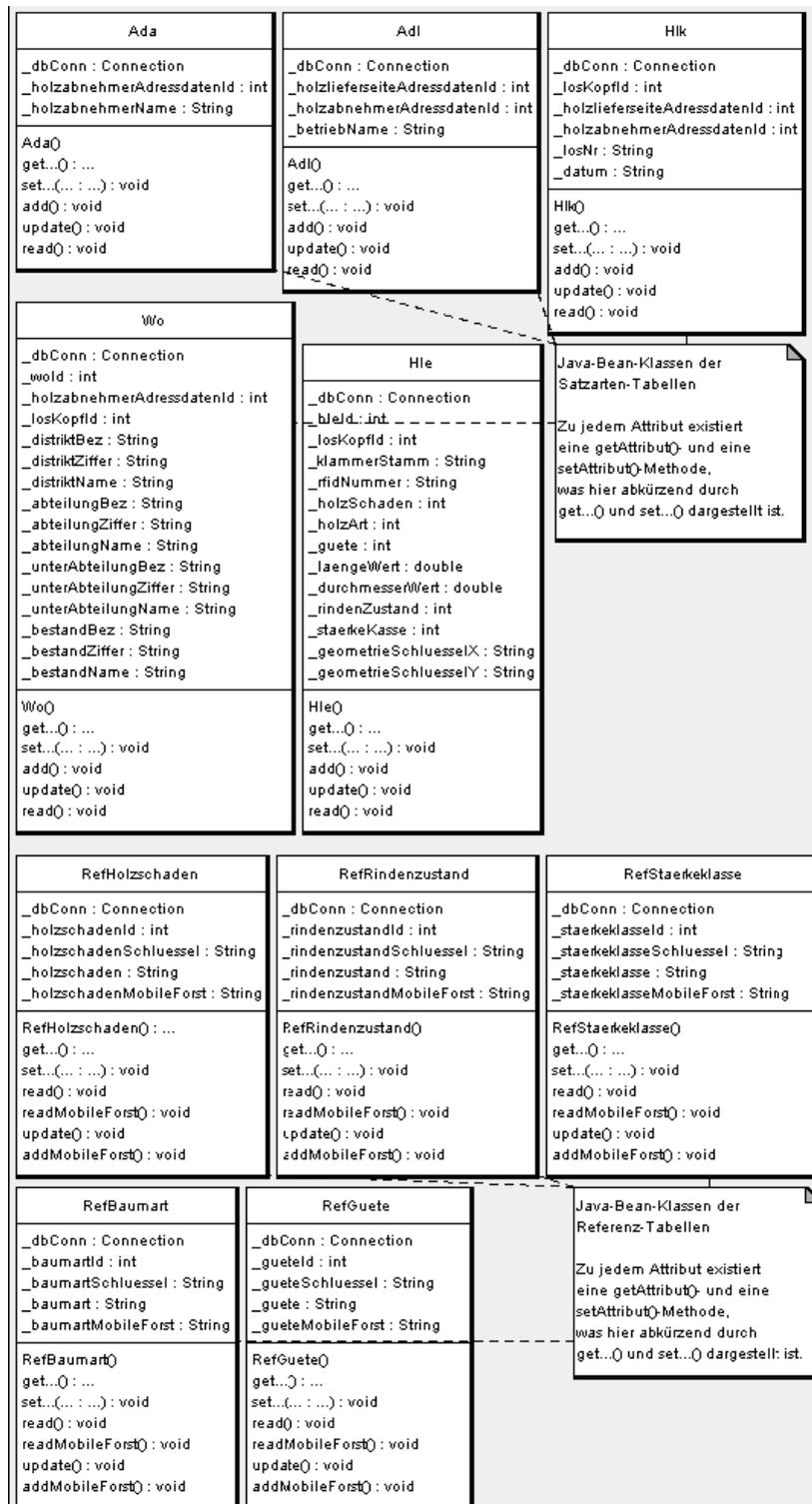


Abbildung 61: Tabellenstruktur (1)

Anhang A – Datenbank-Tabellen

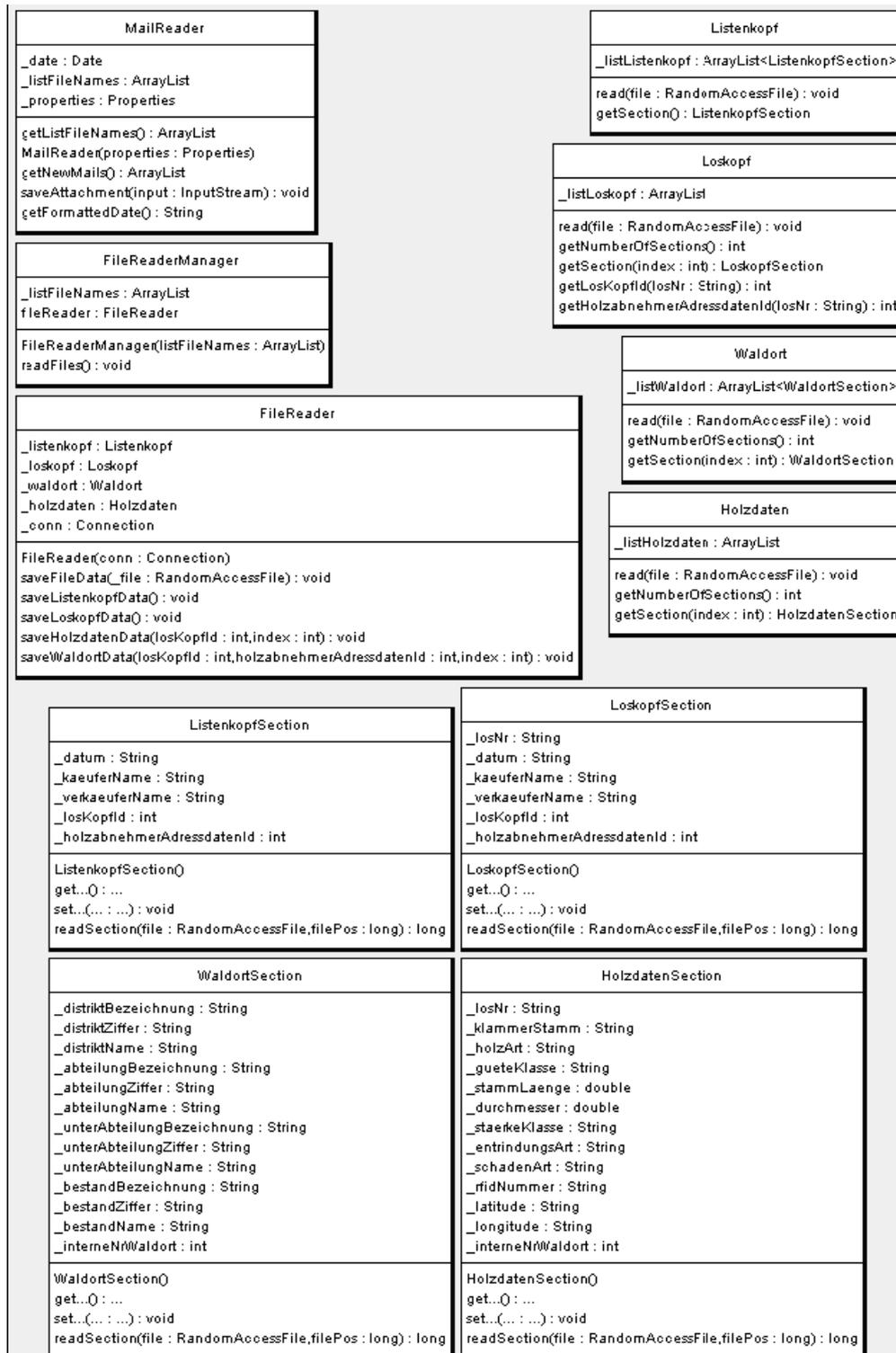


Abbildung 62: Tabellenstruktur (2)

Anhang B – Urkunde Innovationspreis



Abbildung 63: Urkunde Innovationspreis