



# **Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik**

## **Kurzfassung des Abschlussberichtes**

### Zuwendungsempfänger:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

### Ausführende Stellen:

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin

### Laufzeit des Vorhabens

01.03.2008 bis 31.07.2011

### Förderkennzeichen:

PGI-06.01-28-1-53.F11-07

### Autoren:

Mike Wäsche (Fraunhofer IFF)

Christine Kallmayer, Julian Haberland, Florian Ohnimus (Fraunhofer IZM)

Die Förderung des Projektes erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung

Das Projekt «Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik» zielte auf die Schaffung einer praxistauglichen, funktionsfähigen Gesamtlösung für den RFID-Einsatz im Bereich der Massenrundholzsortimente. Bei der Bearbeitung des Projektes lag der Entwicklungsschwerpunkt in der Realisierung prozesstauglicher Transponder und einer Pulk-Auslesevorrichtung zur Erfassung von Transpondern auf Transportmitteln. Darüber hinaus wurden Algorithmen sowie Methoden zur Datenerfassung, -weitergabe und -management der Transponderdaten erarbeitet. Bei der Entwicklung des Transponders lag der Fokus der Arbeiten auf der Reichweitenoptimierung (Impedanzanpassung) des RFID-Tags auf die Umgebungsbedingungen und der eingesetzten Materialien. Hierbei wurde der Anteil holzfremder Materialien durch die Erprobung und Verwendung kommerziell verfügbarer Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf ein Minimum reduziert. Mit der Realisierung des Funktionsmusters Gate konnte nachgewiesen werden, dass eine Pulkauslesung bei Massenrundholzsortimenten technisch mit Standardkomponenten möglich ist und eine Leserate von 52 % unter Praxisbedingungen erzielt werden kann. Die umgesetzten Algorithmen sowie Methoden zur Datenerfassung, -weitergabe und -management zeigten, dass die Verwaltung der Intelligenz am Holz mit RFID möglich ist und durch Einsatz von innovativen Algorithmen eine Verbesserung der Sicherheit im Informationsfluss z.B. durch die erzielte Leserate erreicht werden kann.



# **Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik**

## **Abschlussbericht**

### Zuwendungsempfänger:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

### Ausführende Stellen:

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin

### Laufzeit des Vorhabens

01.03.2008 bis 31.07.2011

### Förderkennzeichen:

PGI-06.01-28-1-53.F11-07

### Autoren:

Mike Wäsche (Fraunhofer IFF)

Christine Kallmayer, Julian Haberland, Florian Ohnimus (Fraunhofer IZM)

Die Förderung des Projektes erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung

## I. Kurzdarstellung

### 1. Aufgabenstellung

Die Prozesse der Rundholzlogistik sind gekennzeichnet durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von beteiligten Akteuren mit ineffizienten Material- und Informationsflüssen und einer mangelnden Transparenz der auszutauschenden Informationen. Verbunden mit Medienbrüchen sowie mangelnder informationstechnischer Ausstattung sind Problemstellungen wie Doppelarbeiten bei der Informationserfassung, Qualitätseinbußen, fehlende Herkunftsnachweise sowie Abrechnungsschwierigkeiten relevant. Die RF-Technologie stellt hier eine der wichtigsten Innovationen zur künftigen Erreichung von mehr Transparenz, besserer Wirtschaftlichkeit und höherer Effizienz im logistischen Gesamtprozess der Holzbereitstellung sowie in den Einzelprozessen der beteiligten Akteure dar.

Vor diesen Hintergründen zielte das Projekt «Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik» auf die Erforschung der Grundlagen zur Schaffung einer praxistauglichen, funktionsfähigen Gesamtlösung für den RFID-Einsatz im Bereich der Massenrundholzsortimente. Diese soll zur Vereinfachung der Logistik hinsichtlich der Informationsweitergabe an den einzelnen Schnittstellen der Prozesskette beitragen und den besonderen Anforderungen der beteiligten Akteure gerecht werden. Zur Umsetzung wurden drei wesentliche Kernziele definiert:

- Erarbeitung von anforderungsgerechten Tags, deren (Träger-)materialien bei Verbleib im Holz in der Produktion der Holzabnehmer nicht prozessschädigend wirken und zugleich für Pulk-Ausleseverfahren geeignet sind
- Entwicklung einer Vorrichtung zur Herkunftsidentifikation von Rundholz auf dem LKW am Werkseingang mittels Pulk-Ausleseverfahren (Gate)
- Software für die Datenerfassung, das Datenmanagement und den Datenaustausch von RF-Identifikationen

### 2. Voraussetzungen

Im Rahmen des Programms zur Förderung von Innovationen zur verstärkten Nutzung der Elektronik in der Land- und Forstwirtschaft konstituierte sich 2007 der Forschungsverbund bestehend aus Partnern der Forschung sowie aus der Industrie. Projektpartner waren neben der Fraunhofer-Gesellschaft die GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH, die Wahlers Forsttechnik GmbH, die metraTec GmbH, das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. sowie die Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei. Darüber hinaus begleiteten zahlreiche Akteure aus den Bereichen Forst, Holzindustrie sowie aus der Forschung das Vorhaben als assoziierte Partner beratend. Die Koordination des Vorhabens oblag wäh-

rend der gesamten Projektlaufzeit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung. Die definierten Arbeitspakete wurden vom Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration für die Tag-Entwicklung, vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung für die Gate-Entwicklung und von der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei für die Entwicklung der Software federführend bearbeitet.

### **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Für die Durchführung des Forschungsvorhabens wurde eine Laufzeit von 36 Monaten veranschlagt. Die Umsetzung der Zielstellungen des Vorhabens erfolgte in drei Arbeitspaketen. Im Arbeitspaket 1 wurden ausgehend von spezifischen Anforderungen des Betrachtungsbereichs der Rundholzlogistik die Systemkonzeption für die Tag-Entwicklung erstellt sowie die Materialcharakterisierung und Komponentenauswahl durchgeführt. Darüber hinaus erfolgte eine Betrachtung der technologischen Verfahren für die Herstellung der Transponder. Die entwickelten Funktionsmuster wurden im Anschluss in Versuchsumgebungen erprobt. Basierend auf einer umfassenden Analyse der existierenden Randbedingungen und Anforderungen sowie technik- und prozessspezifischer Restriktionen wurden im Arbeitspaket 2 verschiedene Funktionsmustervarianten entworfen, konstruiert und umgesetzt. Diese wurden unter Anwendung von Computersimulationen sowie durch Erprobung in Labor- und Realversuchen angepasst. Im Arbeitspaket 3 wurde der Einsatz der RFID-Technologie an existierenden Informations- und Materialflüsse in der Rundholzlogistik detailliert analysiert, um Systemkonzepte für die Datenerfassung, -übertragung und -verwaltung sowie Anforderungen für Versuchsumgebungen abzuleiten und deren Umsetzung zu initiieren.

Zur Gewährleistung einer effizienten Fortschrittskontrolle der erreichten Ergebnisse wurden in den einzelnen Arbeitspaketen insgesamt 7 Meilensteine definiert. Für das Arbeitspaket 1 wurden der Abschluss der Transponder-Systemkonzeption (Meilenstein 1) sowie die Fertigstellung geeigneter Versuchsumgebungen (Meilenstein 2) festgelegt. Im Arbeitspaket 2 bestanden die Meilensteine aus dem Gate-Systemkonzept (Meilenstein 3), einem entsprechenden Funktionsmusterbau (Meilenstein 4) sowie dem Aufbau geeigneter Versuchsumgebungen (Meilenstein 5). Für das Arbeitspaket 3 wurden die Systemkonzeption und der Systementwurf (Meilenstein 6) sowie der Aufbau der Versuchsumgebungen der umzusetzenden Funktionsmuster (Meilenstein 7) definiert.

Der ursprüngliche Projektstart des Vorhabens verzögerte sich auf Grund der Übermittlung des Zuwendungsbescheids nach dem geplanten Projektstart um 2 Monate. Weitere Verzögerungen entstanden u.a. durch projektbezogene Neueinstellungen bei der Thüringer Lan-

desanstalt für Wald, Jagd und Fischerei. Weiterhin ergaben sich veränderte Randbedingungen durch die Umbenennung der metraTec GmbH (vormals ADEMICS Sensor Technology GmbH) sowie der Insolvenz des ursprünglichen Partners BISANTECH-NUOVA GmbH bereits kurz nach Projektstart. Hier konnte der Partner jedoch bereits nach kurzer Zeit die Übernahme dieses Firmenteils durch die Großmann Ingenieur Consult GmbH (GICON) vermelden, die dann neuer Partner im Konsortium wurden. Dabei wurden die bereits bei der Antragstellung formulierten Aufgaben im Projekt vollständig übernommen.

Trotz der durch die dargestellte Situation entstandenen Herausforderungen gelang es dem Konsortium den Arbeitsplan im Wesentlichen ohne größere Abweichungen durchzuführen. Bedingt durch Verzögerungen im Projektverlauf, die auf personelle Neueinstellungen bei der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei zurückzuführen sind, konnte jedoch der im Projekt geplante Großversuch nicht vollständig zum beantragten Projektende abgeschlossen werden. Für alle Projektpartner wurde deshalb eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 5 Monate beantragt und bewilligt. Hierdurch konnten die ausstehenden Arbeiten erfolgreich zum Ende der Projektlaufzeit abgeschlossen werden.

#### **4. Stand der Technik**

Die inhaltlichen und methodischen Fragestellungen des Vorhabens basierten auf einer Analyse von bereits im Vorfeld des Vorhabens durchgeführten Projekten. Die Schwerpunkte der betrachteten Projekte fokussierten jeweils auf spezifische Aspekte des RF-Einsatzes in der Holzlogistik, im Speziellen stand jedoch eine einzelstammbezogene Markierung im Mittelpunkt aller bisherigen Vorhaben. Keines der Projekte berücksichtigte dabei eine umfassende Integration der in großen Mengen anfallenden RF-Daten in die bekanntermaßen sehr heterogenen IT-Infrastrukturen sowie die inner- und überbetrieblichen DV-Prozesse verschiedener Holzanbieter und -abnehmer. Ebenso unberücksichtigt blieben spezifische Fragestellungen für Industrierundholzsortimente (Massensortimente z.B. für Zellstoff, Oriented Strand Board OSB oder Spanplatten). Die in den Projekten eingesetzten RF-Transponder sind dadurch gekennzeichnet, dass ausschließlich mit Kunststoff ausgestattete Trägermaterialien verwendet wurden, da diese den besonderen Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit und das schwierige Umfeld gerecht wurden. Bekannt ist jedoch, dass gerade Kunststoffbestandteile in den der Holzlogistik nachgelagerten Prozessen der Industrieholzverarbeitung wie z.B. der Papierherstellung Probleme verursachen.

Existierende Gate-Lösungen wurden bisher fast ausschließlich zur Identifikation und Inhaltsbestimmung von Paletten und Behältern in der innerbetrieblichen Logistik eingesetzt. Eine

sichere Erkennung der Transponder war bei der eingesetzten Technik nur bei vordefinierten Anordnungen der Transponder möglich, welche jedoch in der Rundholzlogistik nicht zwingend angenommen werden kann. Eine Weiterentwicklung der eingesetzten Technologien war daher notwendig. Gate-Lösungen, bei denen Pulk-Ausleseverfahren die RF-Transponder am Rundholz auf dem Transportmittel LKW erkennen, waren nicht bekannt, da die durchgeführten Projekte zum Erkennen der Tags i.d.R. manuelle Identifikationsverfahren nutzten. Pulk-Ausleseverfahren sind jedoch in anderen Bereichen der Logistik erfolgreich im Einsatz. Für den forstlichen Einsatz waren anwendungsspezifische Fragestellungen hinsichtlich der Funktionsweise unter erschwerten Bedingungen wie z.B. Nässe und Schmutz sowie der Dimensionierung des Gates zu klären.

Bezüglich der IT-Systeme in der Rundholzlogistik ist zu konstatieren, dass sowohl im Forst als auch bei den Holzverarbeitern, auch innerhalb einzelner Bundesländer, heterogene Softwareanwendungen für den Holzver- und -einkauf (z.B. Auftragsbearbeitung) existieren. Die Folge sind vielfältige Schnittstellenarchitekturen. Im Bereich der Forstwirtschaft oder der Holzlogistik waren und sind keine IT-Systeme bekannt, die standardmäßig RFID-Daten berücksichtigen. Einzelne Rundholzdaten, wie z.B. Sortiment, Länge, Durchmesser, Masse und Eigentümerdaten, werden derzeit noch immer ohne Nutzung der RF-Technologie mehrfach manuell im Prozess erfasst, in die einzelnen IT-Systeme eingegeben und ggf. über Schnittstellen abgeglichen. Dieses bundesweit repräsentative Vorgehen mit Mehrfacherfassung und inhaltlicher Diskrepanz des Austauschs prozessrelevanter Daten ist kompliziert, fehleranfällig und mit sehr hohem personellem Aufwand verbunden.

#### **4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

Grundlage für das im Arbeitspaket 2 verwendete Pulk-Ausleseverfahren war das Modenrührerprinzip. Das Prinzip wurde bereits im Vorfeld des Projektes mit dem Titel «System und Verfahren zur Kommunikation mit an Objekten anbringenden Transpondern sowie Verwendung des Systems» als Patent mit der Nummer DE102006047356B3 angemeldet. Bei diesem Prinzip handelt es sich um ein Verfahren und Auslesesystem, das eine erhöhte Abfrage Reichweite bei gleichzeitig geringer elektromagnetischer Strahlung aufweist. Neben einer Intervallschaltung zur Verringerung der Sendedauer werden mehrere Sende- und Empfangsantennen verwendet, die vorzugsweise durch einen Multiplexer einzeln angesprochen werden. Somit kann insgesamt ein größerer Raum für den Abfragebereich genutzt werden.

#### 4.2. Verwendete Fachliteratur sowie Informations- und Dokumentationsdienste

Bei der Bearbeitung des Vorhabens wurde eine Vielzahl von Fachveröffentlichungen sowie Informations- und Dokumentationsdienste wie z.B. dem Forschungsinformationssystem Agrar / Ernährung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, dem GVK-Gemeinsamer Verbundkatalog, sowie dem Forschungs- und Entwicklungsinformationsdienst der EU - Cordis verwendet. Im Folgenden wird eine repräsentative Auswahl aufgelistet.

[Bun04]	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2004): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen : Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit / Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Ingelheim: SecuMedia.
[Fin06]	Finkenzeller, Klaus (2006): RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten / Klaus Finkenzeller. 4. Aufl. München: Hanser.
[Fle05]	Fleisch, Elgar [Hrsg.] (2005): Das Internet der Dinge: ubiquitous computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen ; mit 21 Tabellen / Elgar Fleisch ; Friedemann Mattern (Hrsg.). Berlin: Springer.
[Han08]	Hanhart, Daniel (2008): Mobile computing und RFID im facility management: Anwendungen, Nutzen und serviceorientierter Architekturvorschlag / Daniel Hanhart. Berlin: Springer.
[Ker06]	Kern, Christian J. (2006): Anwendung von RFID-Systemen / Christian Kern. [VDI]. Berlin: Springer.
[Mel09]	Melski, Adam (2009): Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken : RFID-induzierte Veränderungen, Gestaltungsmöglichkeiten und Handlungsempfehlungen / vorgelegt von Adam Melski. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier.
[Ric06]	Richter, Klaus; Röben, Helmut; Meyer, Tobias (2006): System und Verfahren zur Kommunikation mit an Objekten anbringbaren Transpondern sowie Verwendung des Systems am 29.09.2006. Anmelden: 102006047356. Veröffentlichungsnr: DE102006047356B3. H04B 5/00.
[Wol08]	Wolfram, Gerd (2008): The RFID roadmap: the next steps for Europe. Unter Mitarbeit von Gerd Wolfram, Birgit Gampl und Peter Gabriel. Berlin: Springer.

#### 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bedingt durch die thematische Schwerpunktsetzung waren zahlreiche assoziierte Praxispartner bei der Bearbeitung des Vorhabens beteiligt. Die fachliche Begleitung erfolgte dabei durch den Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt, die Bayerischen Staatsforsten, die Cambium Forstbetriebe, die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg, die Hohenloher Spezialmaschinenbau GmbH, die Pollmeier Massivholz GmbH, die Pfeleiderer AG und die Zellstoff Stendal GmbH. Unterstützt wurde das Vorhaben durch zahlreiche bilaterale Meetings, die aktive und intensive Beteiligung an den halbjährlichen Projekttreffen sowie die Begleitung der verschiedenen Tests und Erprobungen. Hierbei konnten u.a. die erzielten Ergebnisse praxisnah eingeschätzt und neue Aspekte für die Bearbeitung gewonnen werden. Auch weitere Partner wie z.B. die ante-Holz GmbH sowie die Latschbacher GmbH, mit de-

nen keine Vereinbarung über eine assoziierte Partnerschaft getroffen wurde, unterstützten das Vorhaben. Hier bestand die Unterstützung insbesondere in der Begleitung des durchgeführten Großversuchs z.B. durch die Bereitstellung der Aufstellflächen für das Gate (ante-Holz GmbH) bzw. von zusätzlichen forstspezifisch entwickelten Transpondern (Latschbacher GmbH) sowie weitergehenden Gesprächen über mögliche Verwertungen der Ergebnisse.

Des Weiteren wurde ein intensiver Erfahrungsaustausch mit Partnern des zeitgleich ablaufenden und EU-geförderten Projektes «Indisputable Key» durchgeführt. Hierzu wurden Messen wie die LIGNA und Interforst sowie die praxisbezogene Abschlusspräsentation in Schweden, die durch Vertreter des Konsortiums begleitet wurde, genutzt.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

#### Arbeitspaket 1 - Transponder

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene UHF RFID Tags für das Applizieren an Rundhölzern entworfen, simuliert, optimiert und charakterisiert. Zu den Hauptanforderungen gehörte die Entwicklung eines kompakten, gut handhabbaren und robusten UHF-Tags, der eine möglichst große Schreib-/Lesereichweite bei Pulkerfassung auf dem LKW, die Applizierbarkeit an Holzstämmen sowie ein möglichst hohes Maß an Kompatibilität mit den Prozessen der rohholzverarbeitenden Industrie aufweist. Letzteres bedeutete die Reduzierung holzfremder Materialien bzw. die Verwendung holz- oder papierähnlicher Materialien, da ein Entfernen der Tags vom Holz vor der weiteren Verarbeitung im Werk als praktisch und ökonomisch nicht machbar bzw. sinnvoll erachtet wurde. Das favorisierte passive Transponderkonzept erwies sich hier als sehr vorteilhaft, da lediglich ein Transponder-Chip, hauptsächlich bestehend aus Silizium, sowie eine metallische bzw. metallbasierte Antenne als potenziell kontaminierende, jedoch unverzichtbare Komponenten, einzustufen waren. In der Diskussion mit Partnern sowie in späteren Feldtests zeichnete sich jedoch schon anfangs deutlich ab, dass die sehr geringen Mengen an Fremdmaterial (Chipgröße  $0,46 \times 0,46 \times 0,15 \text{ mm}^3$ ) als unkritisch für die Prozesse und Anwendungen einzustufen sind und innerhalb des Rahmens üblicher Verunreinigungen liegen.

Den größten Anteil am Gesamtvolumen nehmen das Antennensubstrat und die Verkapselung ein. Die Anforderungen hinsichtlich Robustheit, Handhabbarkeit, Zuverlässigkeit während der Prozesse Befestigung, Transport und Lagerung erforderten ein kompaktes Design, dessen Stabilität nur durch entsprechende Gestaltung und ausreichende Dimensionierung erreicht werden konnte. Hinsichtlich möglicher Biegebelastung mussten hier also ausrei-

chende Querschnitte, d.h. eine ausreichende Moduldicke eingeplant werden. Die Mindestlänge und -breite von ca.  $2 \times 10 \text{ cm}^2$  ergaben sich aus ersten Abschätzungen zur erforderlichen Schreib-/Lesereichweite bzw. daraus resultierender Antennengröße. Zusätzlich wirkt sich ein großer Abstand zwischen Holz und Antenne positiv auf die Schreib-/Lesereichweiten aus. Folglich ergaben sich Verkapselungs- bzw. Modulmaße, die im Bereich bis maximal  $2,0 \times 10,0 \times 1,0 \text{ cm}^3$  lagen. Da dieses Maß für die Verarbeiter eine nicht unerhebliche Größe darstellt, war die Wahl entsprechend kompatibler Materialien erforderlich. Hauptaugenmerk lag auf der Wahl holzähnlicher Materialien auf Lignin- und Cellulosebasis, die auf dem Markt verfügbar und mit gängigen Verfahren verarbeitet- bzw. strukturierbar sind.

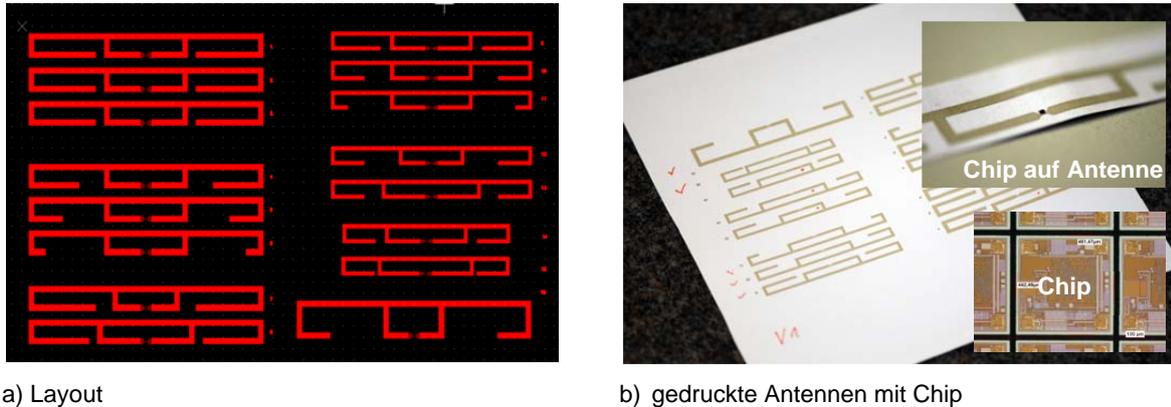
Auf Basis dieser Vorüberlegungen und Randbedingungen wurden UHF-Tags entworfen, deren grundsätzlicher Aufbau folgende Komponenten beinhaltet:

- Das Leiterbahnmaterial der Antenne besteht aus einer leitfähigen Polymerpaste (Dupond 5029). Die Leitfähigkeit der Paste nimmt direkten Einfluss auf die Antenneneffizienz.
- Ein Substrat aus Papier wird als Träger eingesetzt.
- Ein kommerziell erhältlicher Transponder IC (NXP G2X) wird verwendet. Dieser IC besitzt eine komplexe Eingangsimpedanz von  $\sim 25 \text{ Ohm} + j 200 \text{ Ohm}$ . Die Ansprechleistung  $P_{IC}$  beträgt ca.  $-15 \text{ dBm}$  bei  $868 \text{ MHz}$ .
- Der Tag wurde für eine Verkapselung auf Ligninbasis ausgelegt. Wichtig für die Antennenauslegung sind die dielektrische Konstante sowie der dielektrische Verlustwinkel des Materials bei ca.  $868 \text{ MHz}$ .

Ziel des Entwurfs war es, die Antenne des Tags so auszulegen, dass ein zuverlässiges Auslesen des Transponder ICs von dem RFID-Lesegerät aus möglich ist. In Folge dessen, musste die Antenne in Kombination mit der Verkapselung und dem Holz optimiert werden. Dazu wurde eine Dipolstruktur mit induktiver Speisung als Basiskonfiguration ausgewählt. Mit einer derartigen Antennenstruktur können positive Eingangsreaktanzen erzielt werden. Dies ist notwendig zur Erzielung einer guten Impedanzanpassung. Durch den Einsatz von Feldsimulationen wurden die Antennenstruktur hinsichtlich Gewinn und Impedanzanpassung optimiert. Um die Einflüsse des Umgebungsmaterials (Verkapselung und Holz) auf die Antenneneigenschaften zu untersuchen und anschließend zu optimieren, wurden weitere Feldsimulationen der Antennenstrukturen durchgeführt.

Auf Basis des optimierten Antennendesigns wurde ein Layout mit verschiedenen Antennenstrukturen entworfen. Bei den verschiedenen Geometrien wurden unterschiedliche dielektrische Konstanten bzw. dielektrische Verlustwinkel des Verkapselungsmaterials und des Hol-

zes in Betracht gezogen und die Antennen hinsichtlich dieser Umgebungsparameter angepasst. Abbildung 1a) zeigt einen Ausschnitt des Layouts.



a) Layout

b) gedruckte Antennen mit Chip

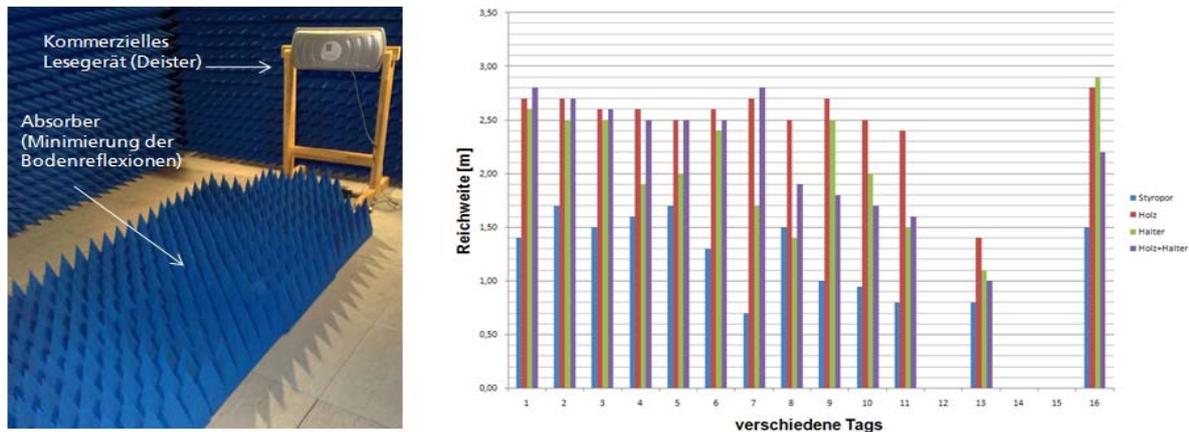
### Abbildung 1: Layouts verschiedener Antennenstrukturen

Die Herstellung von Antennentestmustern erfolgte mittels Schablonendrucktechnik (Abbildung 1b) unter Verwendung einer Silber-Leitpaste und Papier als Substratmaterial. Die Chips haben eine Größe von ca.  $460 \times 460 \mu\text{m}^2$  und wurden mittels ACA (Anisotropic Conductive Adhesive)–FlipChip Technologie montiert. Die Herstellung (teil-)verkapselter Prototypen erfolgte mittels verschiedener Rapid Prototyping-Verfahren.

Nach einer 3D-Designerstellung erfolgte die Herstellung einer Urform mit Stereolithografie. Aus einem flüssigen, unvernetzten Monomer erfolgte dabei eine schichtweise Polymerisierung und Verfestigung in der vorgegebenen Form mittels Laser. Aufgrund eingeschränkter Materialeigenschaften wurde dieses Modell lediglich als Urform verwendet und dient ausschließlich der Herstellung einer Gussform aus Silikon. Das verwendete Gussmaterial ist MCP SG95 mit ähnlichen mechanischen Kennwerten wie Lignin Arboblend V2. Diese Auswahl wurde hinsichtlich der Überprüfung der mechanischen Belastbarkeit und Vergleichbarkeit mit Lignin, vor allem beim Befestigungsvorgang (Einschlagen), getroffen.

Die Funktionsmuster verfügen über die Möglichkeit zum Einlegen verschiedener Transpondermodule (Chip-Antenne-Module) in eine entsprechende Kavität mit Möglichkeit zum vollständigen Verguss. Vier dornartige Ausprägungen erlaubten das Einschlagen und somit die Befestigung im Holz. Das Einschlagen erfolgt dabei mittels eines stählernen Einschlagwerkzeugs, bzw. einer Haltevorrichtung. Diese verfügt über vier entsprechende Stahlstifte, die rückseitig passgenau in entsprechenden Aussparungen im Transpondermodul aufgenommen werden und der mechanischen Unterstützung der Dornstrukturen während des Einschlagvorgangs dienen. Zusätzlich ermöglicht die Einschlagvorrichtung die flächige Verteilung der Einschlagkraft und vermeidet ungünstige Belastung in Folge von Verbiegung. Eine

überschlägige rechnergestützte Simulation sowie Einschlagversuche beim ersten Feldtest haben die Praxistauglichkeit dieses Konzepts gezeigt. Die realisierten und bestückten Tags wurden messtechnisch in der beim Zuwendungsempfänger zur Verfügung stehenden Schirmkabine bezüglich ihrer Reichweite charakterisiert. Abbildung 2 zeigt den Aufbau und die Ergebnisse der Reichweitenmessungen unterschiedlicher Tags.



**Abbildung 2: Reichweitenabschätzungen der Tags in einer Schirmkabine**

Die Messungen zeigten, dass die Reichweite des Tags mit Verkapselung und Holz in der Umgebung ansteigt, so wie es durch das Design vorgesehen war.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass in der Entwicklungsphase ein kompakter UHF RFID Tag mit prinzipiell spritzgussgeeigneter Verkapselung für das Applizieren an Rundhölzern elektrisch ausgelegt und optimiert wurde. Die Funktion des Tags konnte im Rahmen von Feldtests bestätigt werden. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgten die Auswahl des besten Antennendesigns sowie die Herstellung einer größeren Anzahl von Transpondern für den abschließenden großen Feldtest. Während Antennenherstellung und Chip-Montage auf die bereits erprobte Weise erfolgten, musste letztlich von einer Spritzgußverkapselung Abstand genommen werden. Als ursächlich sind die hohen Entwicklungs- und Fertigungskosten eines Spritzgusswerkzeuges zu nennen, die der Realisierung des prinzipiell spritzgussfähigen Designs unter Verwendung kommerziell verfügbaren Lignin-, bzw. NaWaRo- (Nachwachsende Rohstoffe) basierten Spritzgußgranulats im Rahmen des Projekts im Wege standen. Alternativ wurde ein Sandwich- bzw. Laminierverfahren angewandt, welches auf einer sicheren Einbettung von Chip und Antenne zwischen zwei Platten (Tecnar Arboblend® Halbzeug) basiert und für die Herstellung einer größeren Anzahl von Modulen geeignet war.

Durch die folglich beschränkten dreidimensionalen Gestaltungsmöglichkeiten musste auf die ursprünglich vorgesehenen integrierten Befestigungsstifte verzichtet werden. Die Fixierung

erfolgte mittels Kunststoffnägeln und -schrauben und entsprechender Löcher im Tag. Die erreichten Lesereichweiten lagen im gleichen Bereich wie die zuvor aufgebauten Entwicklungsmodule. Die Maße von 85 mm x 25 mm x 8 mm (Länge, Breite, Höhe) entsprachen den identifizierten Anforderungen.

Durch die Verwendung von Papier als RFID-Substrat und Arboblend® als Verkapselungsmaterial wurde ein hohes Maß an Kompatibilität mit den Prozessen im Sägewerk erreicht. Im Feldtest wurden problemlos und ohne Beanstandung markierte Stämme nach Ankunft und Registrierung im Gate weiterverarbeitet. Der volumetrische Anteil an Fremdmaterialien wie Silber (Antenne), Epoxid (Verguß), Silizium (Chip) pro Modul beträgt lediglich ca. 0,06 %. Die Modulabmaße orientierten sich an den in der Entwurfs- und Vorversuchsphase zuvor festgelegten Dimensionen. Für den Feldversuch wurden 200 Module aufgebaut. Die Fertigungsausbeute betrug 100 % (elektrischer Funktionstest mittels RFID-Reader).

Die Entwicklung hat gezeigt, dass durch optimale Verknüpfung von Schaltungsdesign und -simulation, Material- und Prozesstechnik sowie begleitende Festigkeitsanalyse, den Hauptanforderungen entsprechende (d.h. hohe Reichweite, Robustheit sowie Sägewerks- und Prozesskompatibilität), sehr gute Ergebnisse erzielt werden konnten. Hervorzuheben hierbei ist die gelungene Reichweitenoptimierung (Impedanzanpassung) des RFID-Tags auf die Umgebungsbedingungen bzw. -materialien. Der Anteil holzfremder Materialien wurde durch die Erprobung und Verwendung kommerziell verfügbarer Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf ein Minimum reduziert und erscheint als sinnvoller Ansatz für zukünftige Applikationen dieser Art.

#### Arbeitspaket 2 - Gate

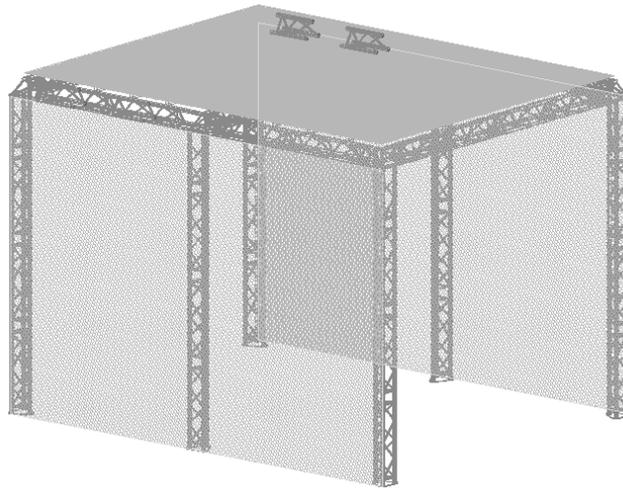
Während der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes wurden zunächst die technik- und prozessspezifischen Restriktionen und Randbedingungen eruiert, unter denen eine Pulk-Auslesevorrichtung zum Einsatz kommen kann. Dazu erfolgte ein intensive Recherche u.a. von rechtlichen Aspekten elektromagnetischer Felder von Geräten (DIN EN 50364) bzw. vorgegebenen Maximalgrößen von LKWs (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung) sowie Befragungen von Stake-Holdern im Rahmen bilateraler Interviews. Grundlage für die Interviews stellte der in Abstimmung mit allen Konsortialpartnern erstellte Fragenkatalog dar. Dieser beinhaltete grundlegende relevante Fragestellungen, die zur Untersetzung der Arbeitspakete vorab beantwortet werden mussten. Im Ergebnis der Auswertung der Recherche sowie der Interviews konnten prozess- und technikspezifische Restriktionen bezogen auf das Gate zusammengefasst bzw. abgeleitet werden.

Beispielhaft zu nennen sind:

- Unterstützung existierender und individueller ablauforganisatorischer Prozesse und den damit verbundenen Prozesszeiten innerhalb des Rundholzverarbeiters
- Berücksichtigung bzw. Nichtbeeinflussung der technischen Infrastrukturen bei den rundholzverarbeitenden Industrieunternehmen (z.B. Elektronik von Waagen zur Ermittlung der Gewichte einzelner Holztransporte, vorhandene Betriebs- und Mobilfunkgeräte sowie Maschinen- und Transportfahrzeugsteuerungen)
- Sicherstellung der Stabilität des Gates inklusive einer entsprechenden Windsicherheit sowie Größenbeschränkungen («keine Garage»)

Die ermittelten Anforderungen flossen in die Erstellung des Gate-Konzeptes ein. Bei der infrastrukturellen Konzeption bestand darüber hinaus die Aufgabe darin, aufgrund der im Projekt notwendigen Auf- und Abbauprozesse des Gates eine mobile, aber dennoch sichere Lösung zu entwickeln, die in ihren geplanten Dimensionen von ca. 4 x 4 x 5 Metern (Länge, Breite, Höhe) eine LKW-Durchfahrt problemlos ermöglicht und gleichzeitig das für einen Modenraum notwendige Höhen - Breiten - Längen - Verhältnis erfüllt. Auf Grundlage der bereits während der Antragstellung durchgeführten Recherche von am Markt verfügbaren Standardkonstruktionselementen wurden Aluminium-Traversen gewählt. Die Hauptgründe für diese Entscheidung bestanden darin, dass die einzelnen Elemente leicht zu montieren sind und dabei die notwendige Sicherheit bzw. Stabilität für die Konstruktion gewährleisten. Ein weiteres Vorteil der Traversenkonstruktion liegt in der Vielfalt der verfügbaren vorgefertigten Einzelelemente in den verschiedensten Größen, was sich auch im Laufe der einzelnen Testaufbauten als vorteilhaft bestätigt hat.

Für die Reflektionsflächen, die erforderlich sind um den Modenraum zu erhalten, wurde an den Seiten des Gates ein Drahtgeflecht befestigt. Dieses Material bietet zum einen reflektierende Eigenschaften aus elektromagnetischer Sicht und zum anderen erwies sich das Drahtgeflecht als weniger windanfällig als die ursprünglich geplante Verkleidung aus Aluminiumblechen. Für den Fahrbahnbereich war das Drahtgeflecht auf Grund der Stabilität jedoch nicht geeignet. Hier wurden nach intensiver Recherche und Prüfung Kunststoffmatten mit einem integrierten Metallgeflecht verwendet, die auch als Fördergurte bei Transportbändern im Tagebaubereich zum Einsatz kommen. An diesem grundlegenden Gate-Konzept hat sich während der Laufzeit des Vorhabens nichts geändert. Der Aufbau stellt dabei einen Kompromiss zwischen idealer Reflexionsfläche sowie notwendiger Stabilität und Mobilität dar (Vgl. Abbildung 3). Lediglich an den Dimensionen und der Parametrisierung der elektrotechnischen Komponenten wurden Anpassungen vorgenommen.



**Abbildung 3: Infrastrukturelles Gate-Konzept mit Grundgerüst und Drahtgeflecht**

Beim elektrotechnischen Gate-Konzept mussten die Komponenten Reader, Antenne und Transponder aufeinander abgestimmt werden. Dabei wurde Wert auf die Nutzung von handelsüblichen Komponenten gelegt, da bereits in einer frühen Phase des Projektes die geplante Eigenentwicklung eines speziellen Readers durch die metraTec GmbH bezogen auf die zu erwartenden Kosten des Readers als nicht wirtschaftlich realisierbar eingeschätzt wurde. Daher wurden verfügbare Standardkomponenten in unterschiedlichen Varianten bezogen auf Konfiguration, Anordnung sowie Anzahl sowohl unter Labor- als auch Realbedingungen im Zusammenspiel hinsichtlich der Anforderungen an das Gate erprobt. Die einzelnen Versuche waren dabei durch zahlreiche Anpassungen an den Dimensionen sowie hardware-spezifische Veränderungen gekennzeichnet.

Zunächst konnte unter Laborbedingungen im Technikum des Fraunhofer IFF der Nachweis erbracht werden, dass mit den Abmaßen des Funktionsmusters in LKW-Durchfahrtsgröße ein annähernd homogenes Feld mit einer entsprechenden Feldstärke im Innenraum erzeugt und aufrechterhalten werden kann. Tests mit Transpondern, die für Versuchszwecke nicht in Trägermaterial verkapselt und auf Pinnwänden befestigten wurden, lieferten bezogen auf die Gesamtanzahl sehr gute Leseraten von durchschnittlich mehr als 90 %. Im Ergebnis zeigten die einzelnen Versuche, dass im Labor sich in Bewegung befindliche Transponder besser erkannt werden als Transponder im Ruhezustand. Dies ließ den Schluss zu, dass bei einer LKW-Durchfahrt die am Holz befestigten Transponder besser erkannt werden als bei im Gate stehenden LKWs.

Für die Erprobungen des Gates unter Realbedingungen waren organisatorische Vorarbeiten wie z.B. die Auswahl einer geeigneten Stellfläche und die Bereitstellung des Holzes mit entsprechender Transporttechnik erforderlich. Bei den verschiedenen Tests wurden unter-

schiedliche Gate-Konfigurationen erprobt, in deren Ergebnis bei der Durchfahrt des mit Holz beladenen LKWs schwankende Feldstärken sowie ein inhomogenes Feld innerhalb des Gates und verschiedene Leseraten ermittelt wurden. Gründe für die Unterschiede zu den Laborversuchen konnten v.a. in der Feldbeeinflussung durch den fahrenden LKW sowie in der Feuchtigkeit des Holzes identifiziert werden. Im Rahmen von Leseratenverbessernden Maßnahmen wurden unterschiedliche Hardwarekombinationen verwendet und Anpassungen an der Dimension des Gates vorgenommen. Darüber hinaus erfolgten Versuche mit Variationen der Anzahl, Anordnung und Ausrichtung der eingesetzten Antennen sowie prozessbezogener Parameter wie z.B. Durchfahrtgeschwindigkeiten und -richtungen. Mit Ausnahme des finalen Großversuchs wurden in den Gate-Tests ausschließlich handelsübliche Transponder verschiedener Hersteller verwendet, deren Einsetzbarkeit durch die Messung des Ansprechverhaltens von der metraTec GmbH geprüft wurde. In der Tabelle 1 sind die wesentlichen Konfigurationen ausgewählter Versuche und die erzielten Leseraten dargestellt.

Versuch	Gate-Spezifikation (L* B*H)	Reader	Antennen	Transponder	Leserate Ø
11.08.2009 → 1 Transponder pro Stamm	4,5*4*5,5 m	Sirit Infinity 510	4 Siemens	Latschbacher	29 %
		Siemens RF600	4 Siemens	Latschbacher	2 %
23.09.2009 → selektiv markiert und mit unrealistischer Beladung	4,5*3*4,3 m	Sirit Infinity 510	4 Siemens	100 Raflatec Web	71 %
				100 Latschbacher	61 %
				15 IZM	71 %
				5 Excalibur	90 %
27.05.2010 → selektiv markiert, teilweise mit unrealistischer Beladung	4*3*4,5 m	Motorola	8 Siemens	100 Excalibur	20 %
				10 Nagelform	19 %
				20 Lignin-Karten	8 %
		Sirit Infinity 510	4 Siemens	100 Excalibur	58 %
				10 Nagelform	48 %
				20 Lignin-Karten	10 %
01.-05.11.2011 Großversuch mit realistischen Prozessen	4*3*4,5 m	Sirit Infinity 510	4 Siemens	200 Intelligentes Holz-Tags	52 %
				1.020 Latschbacher	10 %

**Tabelle 1: Gate-Konfigurationen und erzielte Leseraten ausgewählter Versuche**

Im Ergebnis ist zu konstatieren, dass das Funktionsmuster realisiert wurde und die Pulkauslesung bei Massenrundholzsortimente technisch möglich ist. Die ursprünglich avisierte Leserate von 75 % konnte jedoch nicht erreicht werden. Im Durchschnitt konnten Leseraten von ca. 52 % erzielt werden. Hauptgrund hierfür ist die ungenügende Homogenität des Feldes unter Realbedingungen, die insbesondere durch den LKW sowie die Dämpfung durch das im Holz befindliche Wasser beeinträchtigt wird. Der LKW verursacht darüber hinaus bereits durch die Ausmaße Unregelmäßigkeiten in der Feldstruktur, in dem das Feld in Fahrtrichtung

aus dem Gate bewegt wird. Organisatorische Maßnahmen wie z.B. Ladeanweisungen für Transportdienstleister zur Positionierung der Transponder in Zwischenräumen oder an das Ende des Transportmittels können die Leserate positiv beeinflussen, was in den einzelnen Versuchen bestätigt werden konnte. Theoretische Überlegungen zur weiteren Erhöhung der Leserate durch technische Modifikationen des Gates, die z.B. durch eine Erhöhung der Gesamtfeldstärke möglich wären, mussten auf Grund gesetzlicher Restriktionen zur maximalen Feldstärke verworfen werden. Weitergehende Überlegungen sind in Verbindung mit den informationstechnischen Lösungen denkbar, die im Arbeitspaket 3 näher untersucht wurden.

### Arbeitspaket 3 – Systemkonzepte

Die Arbeitsschwerpunkte im Arbeitspaket 3 lagen zunächst in der Analyse existierender Material- und Informationsströme und den damit verbundenen Herausforderungen in der Rundholzlogistik. Grundlage der Erhebung war der erarbeitete Fragenkatalog, in dem spezifische informationstechnische und prozessbezogene Fragen gestellt wurden. Für ermittelte logistische Herausforderungen wie Informations- und Medienbrüche, Doppelarbeiten durch Mehrfacherfassungen von Daten, Abfuhrreste, Abrechnungsprobleme z.B. durch schwierige Eigentümerzuordnungen, lange Liege- und Abrechnungszeiten, die Herkunftsidentifikation, Such- und Wartezeiten sowie die Vielzahl kleiner Lose mit entsprechendem administrativen Aufwand wurden mögliche Lösungsansätze mit der RFID-Technologie abgeleitet. Im Ergebnis wurden Szenarien definiert, die repräsentative Informations- und Materialflüsse zur Lösung bestehender Herausforderungen mit RFID darstellen. In welcher Form sich die in der Realität bestehenden (informations-)technischen, organisatorischen und prozessbezogenen Probleme bewältigen lassen, soll im Folgenden kurz dargestellt werden.

Zunächst wurden bezogen auf den Prozess IT-relevante Einflussparameter und Restriktionen zur Ermittlung der notwendigen Kennzeichnungshäufigkeit erarbeitet. Auf Basis der Ergebnisse konnten Hauptanwendungsfelder abgeleitet und konkrete Anwendungsfälle der RFID-Technologie in den Bereichen Abfuhrkontrolle sowie Herkunftsidentifikation identifiziert werden, da hier mit dem größtmöglichen Nutzeffekt durch den Einsatz der Technologie zu rechnen ist. Dies wurde auch durch die assoziierten Partner bestätigt. Die erwarteten Verbesserungen liegen hierbei insbesondere für die Abfuhrkontrolle in der Minimierung von Resten, Liegezeiten und damit auch Qualitätsverlusten. Bei der Herkunftsidentifikation wurde v.a. die Minimierung der Medienbrüche durch einen durchgehenden elektronischen Informationsaustausch als positiver Wirkfaktor identifiziert. Darüber hinaus wird hierdurch auch eine schnellere Bearbeitung von Rechnungen der involvierten Akteure ermöglicht.

Arbeiten für eine technische Applizierung der Transponder waren nicht Gegenstand dieses Projektes, bestimmte prozessrelevante Fragestellungen wie z.B. Applizierort und -zeitpunkt mussten jedoch näher betrachtet werden. Im Ergebnis kann bei automatischer Applizierung der Ernteprozess und bei manueller Applizierung der Lagerprozess des Holzes auf dem Polter als der jeweils beste Zeitpunkt empfohlen werden. Bezogen auf den Applizierort und unter Berücksichtigung der Lese- und Schreibprozesse des Transponders kann empfohlen werden, die Transponder auf der Stirnseite des Holzstamms zu applizieren, da hier die entsprechenden Vorgänge leichter durchgeführt werden können. Der Appliziervorgang sollte aus Kostengründen entweder mit bestehenden Infrastrukturen wie z.B. Einschlaghämmern für Nummerierplättchen manuell oder automatisch vorgenommen werden.

Die im Zusammenhang mit den Arbeiten zu beantwortenden organisatorischen Fragestellungen orientierten sich an der Zuständigkeit im Prozess für Applizierung des Transponders sowie die datentechnische Zuordnung der Holzdaten zum Transponder und deren Nutzung. Im Ergebnis ist aufgrund des Betrachtungsbereichs Massensortimente eine RFID-Zuordnung am Polter zu empfehlen, da während der Ernte die zu erstellenden Polter noch nicht qualitativ und quantitativ definiert sind, was die Beantwortung der Frage zur Verknüpfung von Ernteinformationen des Stammes und deren Integration in den Prozess offen lässt. Hier kann lediglich der Einsatz erweiterter RFID-Daten im Rückprozess als zielführend angesehen werden, da in diesem Prozessschritt die entsprechenden Polter erstellt werden und so eine automatische Verknüpfung der RFID-Daten mit Polterinformationen vollzogen werden kann. Dazu sind jedoch technische Entwicklungen zur Auslesung der Transponder auf dem Rückfahrzeug erforderlich. Voraussetzung für die Generierung positiver Effekte einer informationstechnischen RFID-Integration ist unabhängig von einer RFID-Verknüpfung im Bestand, im Rückprozess oder auf dem Polter in jedem Fall jedoch ein standardisierter elektronischer Datenaustausch.

Die Arbeiten bezüglich der Gestaltung des Bereitstellungsprozesses fokussierten auf mögliche Änderungen im Ablauf, zeitlichen Aufwenden für Kennzeichnung und Datenerfassung sowie Auswirkungen bezogen auf die im Ergebnis identifizierten Nutzeffekte für die Abfuhrkontrolle und Herkunftsidentifikation. Durch die vom Zuwendungsempfänger durchgeführten Labor- und Realtests sowie den detaillierten Untersuchungen der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei konnte festgestellt werden, dass die Herkunftsidentifikation mit mindestens 1 erkannten Transponder pro Polter pro LKW sicher erfolgen kann, unabhängig davon wie viele Transponder insgesamt befestigt waren und ob die Leserate von 75 % erreicht wurde. Bei den Versuchen konnte weiterhin festgestellt werden, dass für den Anwendungsfall einer praxistauglichen Abfuhrkontrolle in jedem Fall weitergehende informations-

technische Lösungen erforderlich sind, die die Unsicherheit der Information (Unschärfe) abbilden können. Dies trifft bei Leseraten von 80 % genauso zu wie bei Leseraten um die 60 %. Hierzu wurden durch den Zuwendungsempfänger weitergehende Funktionsmuster wie z.B. den StateLogger<sup>Forst</sup> realisiert und erprobt, in deren Ergebnis prozessrelevante Aussagen trotz fehlender Transponderdaten getroffen werden konnten.

Die informationstechnischen Betrachtungen zum RFID-Einsatz waren im Wesentlichen abhängig von den zu lösenden prozessbezogenen Fragestellungen, die sich auf Basis der durchgeführten Analysen und Befragungen sehr umfangreich darstellten, da durch die Praxispartner eine hohe Erwartungshaltung und vielfältige Einsatzmöglichkeiten der RFID-Technologie entstand. Zur Lösungsfindung wurden zunächst datenorganisatorische Aspekte analysiert. Die hierbei möglichen Varianten Data-on-Tag und Data-on-Network wurden u.a. hinsichtlich Dateninhalt, Transponder-Speicherbedarf, möglichen Zusatzfunktionalitäten, den allgemein zu erwartenden Transponderkosten sowie der Datensicherheit verglichen. Im Ergebnis konnte in Abstimmung mit den Partnern und vor dem Hintergrund einer pragmatischen Anpassung des ELDAT-Standards die Data-On-Network-Variante empfohlen werden. Diese bietet die Möglichkeit nur eine Nummer auf dem Transponder zu speichern und die dazugehörigen prozessrelevanten Daten in den internen Systemen abzubilden. Dies setzt informationstechnische Lösungen voraus, die mit den Daten umgehen können. Darüber hinaus ist diese Variante auch weniger preisintensiv, da kein zusätzlicher Speicher auf dem Transponder vorgehalten werden muss. Die Varianten der Integrations-, Erfassungs-, Verarbeitungs- und Übertragungsvorgänge sind dadurch gekennzeichnet, dass im informationslogistischen Prozess der Bereitstellung des Rundholzes kontinuierliche und diskrete Datenströme existieren. So werden während der Verknüpfung der eindeutigen RFID-Nummern mit den entsprechenden Holzinformationen die Daten annähernd zu 100 % erfasst, wohingegen in späteren Prozessen dies nicht mehr erreicht wird. Gründe liegen hierfür in der Ausfallrate von Transpondern z.B. durch Beschädigung oder Verlust sowie durch Restriktionen durch die Leserate des Gates.

Um Antworten und Lösungen auf diese Herausforderungen zur RFID-Integration in bestehende Prozesse zu erhalten, konnten für die Arbeiten zur Untersuchung der Zuordnung, Aufbereitung und Verwendung von RFID-Daten die definierten Szenarien verwendet werden. Dabei wurden repräsentative Bereitstellungsketten modellhaft abgebildet und bezogen auf RFID-Daten im Betrachtungsbereich spezifische und informationstechnische Objekt-, Aggregations-, Quantitäts- und Transaktionsereignisse definiert. Die Objekt ereignisse (O) beziehen sich dabei auf Aktivitäten rund um die Identifizierung von markierten Stämmen. Dagegen symbolisieren Aggregationsereignisse (A) die Zusammenfassung der Daten markierter

Stämme zu einem Polter. Für die Prüfung der Anzahl der markierten Stämme kommen Quantitätsereignisse (Q) zum Einsatz und Transaktionsereignisse (T) verknüpfen markierte Stämme bzw. Polter mit Transaktionen. In Tabelle 2 sind exemplarisch für das definierte Szenario einer Frei-Werk-Lieferung mit maschineller Ernte und Abrechnung nach Werksmaß mögliche Ereignisse der Zuordnung, Aufbereitung und Verwendung von RFID-Daten im Gesamtprozess dargestellt<sup>1</sup>.

Prozess	Prozessbeschreibung	IT-Ereignis	Beschreibung des RFID-Datenereignis
Ernte	maschinelle Ernte mit automatischer Erfassung von Stamminformationen	O	RFID-Datenzuordnung zu den markierten Stämmen → Ergebnis: selektive Einzelstammkennzeichnung, keine Polterinformationen; Daten können in zentrale Systeme übertragen werden
Rücken	das markierte Holz wird auf den Polter gerückt	A	Aggregieren von RFID-Nummern zu Polterdaten → Ergebnis: die IDs des Ernteprozesses sind dem Polter zugeordnet; Daten können in zentrale Systeme übertragen werden
Lagerung	das Holz ist auf dem Polter gelagert	A	Aggregieren von RFID-Nummern zu Polterdaten → Ergebnis: die IDs des Ernteprozesses sind dem Polter zugeordnet; Daten werden in zentrale Systeme übertragen
Transport	Prüfung der RFID-Daten zum Polter	O	Identifizierung der RFID-Nummern auf Basis elektronisch übermittelter Daten → Ergebnis: Sicherstellung einer korrekten Polterabfuhr
Nutzung	Erfassung der RFID-Daten durch das Gate am Wareneingang	Q	Quantifizierung, ob die Abfuhr erfolgt bzw. eine ausreichende Holzmenge angekommen ist auf Basis elektronisch übermittelter Daten → Ergebnis: aktualisiertes zentrales System, Auslösen des Transaktionsevents
		T	Bestellung von neuem Holz bzw. automatische Rechnungserstellung → Ergebnis: beschleunigte Abrechnung und (teil-)automatische Bestellung von Rohstoff

**Tabelle 2: Prozessrelevante Ereignisse beim Umgang mit RFID-Daten**

Mit den bei Eintritt der Ereignisse zu erwartenden Datenmengen<sup>2</sup> ist auf Grund des Standes der Technik in Datenerfassungs- und Datenaustauschprozessen mit keinen Problemen zu rechnen, wenn hier entsprechende informationstechnische Lösungen zum Einsatz kommen. Zum Nachweis der informationstechnischen Machbarkeit wurden diverse Funktionsmuster durch die GICON GmbH realisiert, in denen jedoch bezüglich des Umgangs mit ungelesenen bzw. fehlenden Transpondern keine Antworten gefunden wurden. Da dies für eine Akzeptanz der Praxispartner entscheidend ist, wurden vom Zuwendungsempfänger exemplarisch Algorithmen, wie z.B. der Fuzzy Logik, aber auch Lösungsansätze durch die Kombination von

<sup>1</sup> Datenbezogene Betrachtungen der Ernte- und Rückprozesse wurden durch den Zuwendungsempfänger nur theoretisch durchgeführt. Die Ergebnisse flossen in die Erstellung der IT-Funktionsmuster durch die GICON GmbH ein.

<sup>2</sup> Basierend auf der im Projekt ermittelten Kennzeichnungshäufigkeit.

RFID-Daten mit anderen Datenquellen, wie z.B. optische Ermittlung der LKW-Kennzeichen oder der Polter, erarbeitet, die nach Abschluss des Vorhabens in entsprechenden Prototypen umgesetzt werden können. Durch Einsatz dieser innovativen Algorithmen kann eine Verbesserung der Sicherheit im Informationsfluss erreicht werden. Ein entsprechendes positives Feedback der Praxispartner erfolgte bei der Ergebnispräsentation.

Im Ergebnis dieses Arbeitspaketes ist nachgewiesen, dass eine Verwaltung von Intelligenz am Holz mit RFID möglich ist und die entsprechenden informationstechnischen und prozessbezogenen Voraussetzungen gegeben sind. Voraussetzungen für den Einsatz von RFID sind zwingend erweiterte Standards im Soft- aber auch im Hardwarebereich. Eine grundlegende Nutzbarkeit von standardisierten Daten in operativen informationstechnischen Anwendungen wie z.B. bei der Abfuhrkontrolle oder Herkunftsidifikation konnte durch die Erprobung der von der GICON GmbH entwickelten Funktionsmuster nachgewiesen werden, auch wenn der Umgang mit fehlenden Daten durch ungelesene oder fehlende Transponder neue Forschungsfragen insbesondere vor dem Hintergrund der Akzeptanz offenbarte. Die Anwendung der RFID-Daten in weitergehenden analytischen Systemen z.B. zur Materialflussanalyse oder Lieferantenbeurteilung bietet darüber hinaus weitere Nutzungsoptionen, die innerhalb dieses Vorhabens nur in Ansätzen untersucht wurden und in nachfolgenden Projekten detailliert zu untersuchen sind. Hierzu sind weitere Detailanalysen erforderlich, die dann neben den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auch die Nutzeffekte beinhalten, da diese innerhalb des Vorhabens nur bezogen auf die entstehenden Kosten für Technik und Transponder nicht jedoch bezogen auf den Mehrwert des Einsatzes der RFID-Technologie durchgeführt werden konnten und somit derzeit schwer quantifizierbar sind.

## **2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Im Rahmen der Durchführung des Projektes sind im Wesentlichen Kosten in Form von Personalkosten, Materialkosten und Reisekosten entstanden, die im Detail dem zahlenmäßigen Verwendungsnachweis zu entnehmen sind.

## **3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die Bearbeitung des Projekts hat die im Antrag formulierten wesentlichen Fragen hinsichtlich des RFID-Einsatzes in der Rundholzlogistik, die große Hemmnisse zum praktischen Einsatz dieser Technologie darstellten, beantwortet. Damit wurde ein Beitrag zu den Zielen der Ausschreibung für den verstärkten Einsatz von IuK-Technologien in der Forstwirtschaft geleistet. Mit den erzielten Projektergebnissen können die Akteure der Bereitstellungskette durch Anwendung der RFID-Technologie Prozesse des Informations- und Materialflusses effizienter

gestalten. Voraussetzung hierfür ist der Einsatz von IuK-Komponenten. Die Bearbeitung des Projektes war daher im Sinne der obigen Zielsetzungen sowohl notwendig als auch angemessen. Letzteres wird durch das hohe Interesse an den Ergebnissen durch die Praxispartner vor, während und nach der Projektlaufzeit unterstrichen.

#### **4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Mit den erzielten Ergebnissen konnten die notwendigen technologischen und prozessbezogenen Rahmenbedingungen zur Erschließung der Nutzungspotenziale der RF-Technologie für die verschiedenen Akteure der Holzlogistik geschaffen werden. Der entwickelte Transponder, die Pulk-Auslesevorrichtung bzw. die -verfahren sowie die begleitete Umsetzung der Funktionsmuster, Algorithmen und Methoden für Datenerfassung, -weitergabe und -management entsprechen den Zielen des Programms für die Innovationsförderung zum verstärkten Einsatz von Elektronik in der Land- und Forstwirtschaft.

Der entwickelte Transponder und die erarbeiteten informationstechnischen Verfahren sind darüber hinaus leicht adaptiert auch für andere Betrachtungsbereiche der Rundholzlogistik anwendbar. So kann der Transponder neben einer Kennzeichnung von Massenh Holz auch für eine einzelstammweise Markierung verwendet werden. Dies ist insbesondere für Sägewerke interessant, die hochwertiges Stammholz verarbeiten und die beim Kappschnitt der Stirnseiten anfallenden Reste z.T. an die Zellstoffindustrie verkaufen und somit frei von prozessschädigenden Materialien sein müssen. Weiterhin können für das Gate neben der Rundholzlogistik auch neue Anwendungsfelder wie z.B. in der Biomasselogistik erschlossen werden, in denen vergleichbar schwierige Umgebungsbedingungen herrschen. Das erarbeitete Funktionsmuster für den Umgang mit unscharfen (fehlenden) Informationen kann darüber hinaus in allen Prozessschritten der Bereitstellung von Rundholz eingesetzt werden. Hier sind weitergehende Einsatzmöglichkeiten denkbar, wenn Informationen und Daten innerhalb sowie zwischen Unternehmen auszutauschen und diese für die nachgelagerte unternehmensspezifische Prozesse als Teil des Daten- und Informationsmanagements erforderlich sind.

#### **5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Die Zielstellungen eines identifizierten und parallel durchgeführten Projektes betraf die Bearbeitung des Vorhabens nur in Teilaspekten. Das Kernziel des Projektes «Indisputable Key» war die Rückverfolgbarkeit von Holz und Holzprodukten. Die Bereitstellungsprozesse waren lediglich ein kleiner Teil der Betrachtungen und umfassten unterschiedliche Kennzeichnungsverfahren und -technologien, die im Wesentlichen durch die Entwicklung von Applikationstechnik gekennzeichnet war. Im Fokus standen auch nicht die Entwicklung prozessstaugli-

cher Transponder und von Pulk-Auslesevorrichtungen oder umfassende standardisierte Informationsprozesse im Bereitstellungsprozess.

## 6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Durch den sehr anwendungsnahen Charakter des Vorhabens sowie bedingt durch die eigene Zielstellung einer entsprechenden Akzeptanzerhöhung der RFID-Technologie fokussierten die Publikationen auf Artikel in (Holz-)Fachzeitschriften und -zeitungen sowie den Auftritt auf thematisch geeigneten Fachmessen wie der LIGNA 2009 und der Interforst 2010. Die realisierten Veröffentlichungen sind nachfolgend zusammenfassend dargestellt:

[Böh10]	Böhne, Karsten (2010): Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik. Unter Mitarbeit von Mike Wäsche (Aus Wissenschaft und Technik). Bayerischer Rundfunk, 19.09.2010.
[Bun10]	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2010): Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik. BLE-Innovationstage. Berlin, 06.10.2010.
[Ehr09]	Ehrhardt, Ina: RFID in der Holzindustrie. In: RFID im Blick 2009 (05), S. 18.
[Fra10]	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (01.08.2010): Rundholz mit Antenne. Wassilew, Anna-Kristina; Wäsche, Mike.
[kal09]	Kallmayer, Christine (2009): Intelligentes Holz – RFID Transponder und RFID Gate. RFID-Forum - LIGNA 2009. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. Hannover, 22.05.2009.
[Ohn10]	Ohnimus, F.; Haberland, J.; Tschoban, C.; Ndip, I.; Heumann, K.; Kallmayer, C.; Gutowski, S.; Lang, K.: Design and Characterization of a Small Encapsulated UHF RFID Tag for Wood Log Monitoring, LAPC 2010, Loughborough, Best Paper.
[Tim10]	Timber with an Antenna. In: Timbermart South 2010 (03/2010), S. 27.
[Wäs10]	Wäsche, Mike (2010): Intelligentes Holz - RFID in der Rundholzlogistik. BLE-Innovationstage. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Berlin, 06.10.2010.
[Wäs09]	Wäsche, Mike (2009): Intelligentes Holz - RFID in der Massenh Holzlogistik. RFID-Forum - LIGNA 2009. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. Hannover, 22.05.2009.
[Was10]	Wasse, Oliver (2010): Der hölzerne Transponder. In: RFID im Blick 2010 (03), S. 9.
[Zöl09]	Zöllner, Ute (2009): Verbesserung der Rundholzlogistik mit RFID. In: agrarheute.com 2009, 23.05.2009. Online verfügbar unter <a href="http://www.agrarheute.com/?redid=303328">http://www.agrarheute.com/?redid=303328</a> , zuletzt geprüft am 31.05.2011.

## 7. Einhaltung der Kosten und Zeitplanung

Zum geplanten Laufzeitende des Projektes waren die wesentlichen Arbeiten der beteiligten Fraunhofer Institute abgeschlossen. Eine Änderung des Arbeits- und Zeitplans war jedoch aufgrund der Verzögerungen durch die Personaleinstellungen bei der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei sowie der nicht vollständig abgeschlossenen Auswertung des durchgeführten Großversuchs erforderlich. Für einen gemeinsamen Projektabschluss wurde deshalb ein Antrag zur kostenneutralen Laufzeitverlängerung um 5 Monate jeweils von allen Partnern eingereicht und vom Projektträger bewilligt. Weitere Verzögerungen waren nicht zu verzeichnen. Die Kosten entsprachen der Planung und so wurde der Finanzplan entsprechend des im Zuwendungsbescheid gesetzten Rahmens ausgeschöpft.