

Anwendungsgerechte Gestaltung von RFID-Tags für die Fischereiwirtschaft

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

vorgelegt von
Dipl.-Wi.-Ing. Martin Gliesche
geboren in
Chemnitz (Karl-Marx-Stadt)

Berichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Jansen
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Hellingrath

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Mai 2009

Kurzfassung

Um Prozesse aufgrund des wachsenden Wettbewerbsdrucks effizienter zu gestalten, werden zunehmend Objekte und Orte die verschiedenen und teilweise sehr hohen Belastungen in rauen Umgebungen ausgesetzt sind gekennzeichnet und identifiziert. Raue Umgebungen sind dadurch charakterisiert, dass mediale, thermische und mechanische Belastungen in verschiedenen Kombinationen und Ausprägungen definiert oder undefiniert wirken.

In dieser Arbeit werden das Feld der robusten RFID-Tags und deren Einsatz analysiert und anhand einer konkreten Anwendung sowohl ein Anforderungskatalog erstellt als auch anforderungsgerechte Gehäusegeometrien ermittelt. Der Einsatz von RFID-Tags an Fischereinetzen dient vor dem Hintergrund einer nachhaltigeren Fischerei als besonders anspruchsvolle Anwendungsumgebung mit hohen mechanischen und medialen Belastungen. Zwischen den einzelnen Anforderungsgruppen ergeben sich aufgrund technischer und wirtschaftlicher Gründe Zielkonflikte. Als wesentlicher Zielkonflikt bei der Gestaltung von Tags besteht die Beschränkung der üblichen Lesereichweiten sowie das Erfassungsverhalten von Transpondern durch die heute verfügbaren robusten Gehäuse. Außerdem sind standardmäßig verfügbare Kennzeichnungs- und Datenträger auf ihre Funktion hin gestaltet, sodass z.B. prozessbezogene Anforderungen an die Bauform nicht berücksichtigt werden können.

Aufbauend auf dem Anforderungskatalog wurden erstmalig systematische Untersuchungen von Transpondern und einer Auswahl von Gehäusematerialien zur Ermittlung von relevanten Wirkzusammenhängen durchgeführt. Dabei wurden sowohl Leistungs- als auch Frequenzparameter der Transponder bei verschiedenen Transponder-Material-Kombinationen ermittelt und analysiert. Neben der Berücksichtigung der mechanischen Belastbarkeit der Gehäusematerialien wurden auch die Auswirkungen von Alterungserscheinungen der Materialien auf das Verhalten der Transponder untersucht. Anschließend wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Fixierungs- und Einbringungsmöglichkeiten von Transpondern in Gehäuse auf ihre Auswirkungen auf das Frequenz- und Leistungsverhalten der Transponder überprüft.

Unter Verwendung der Analyseergebnisse über das Frequenz- und Leistungsverhalten der Transponder wurde es möglich, einen Hardtag zu konstruieren, der den Belastungsanforderungen, den Prozessanforderungen sowie den Leistungsanforderungen gerecht wird und den anschließenden Praxiseinsatz erfolgreich absolvierte. Ergebnis der konkreten Anwendung der Arbeitsergebnisse ist eine Lösung zur eindeutigen Kennzeichnung und automatischen Identifikation von Fischereinetzen mit dem Ziel einer durchgehenden Zertifizierung der Netze, einer Möglichkeit zur Führung eines elektronischen Logbuches sowie der automatischen Fangaufwanderfassung.

Darüber hinaus wurden die Grundlagen geschaffen höchst leistungsfähige und gleichzeitig belastbare Tags für verschiedenste robuste Anwendungsumgebungen zu realisieren und erfolgreich einzusetzen.

Abstract

Due to an increasing pressure of competition and the resulting need for more efficient processes, objects and locations that are exposed to various and partly extreme stress in rough environments are more and more tagged and identified. Rough environments are characterized by medium-related, thermal and mechanical stress in diverse combinations and shapes having either a defined or undefined effect.

This publication analyzes the field of robust RFID tags and their use. Furthermore, a catalogue of requirements is developed and casing geometries according to the requirements are investigated by means a concrete application. The use of RFID tags for fishery nets serve a sustainable fishery as especially challenging environment with high mechanical and medium-related stress. Out of technical and economic reasons result conflicts of objectives between the different groups of requirements. For the construction of RFID-Tags, the most important conflict of objectives is the shortage of the common read distances as well as the capture behaviour of transponders by the currently available rough casings. An other point is that available marking and data media are designed following their function, so that process related requirements on the structural shape cannot be taken into account.

Building on the catalogue of requirements for the first time a systematic research on Transponders and a selection on casing materials has been done to investigate the relevant interactions. Performance as well as frequency parameters were identified and analyzed with different transponder-material combinations. Besides the mechanical stressing of the casing materials, the effects of aging materials were taken into account too. After analyzing the materials, the effects of different fixing and insertion possibilities of transponders in casings were analysed on their effects on the performance and frequency characteristics.

By using the cognitions of the performance and frequency characteristics it was possible to built a hardtag that met the stress requirements, the process requirements as well at the performance requirements and completed the terminal real application successful. Result of the concrete application of the work results is a solution for the unique marking and automated identification of fishery nets with the objective of a persistent certification of nets, a possibility to run an electronic logbook as well as the automated detection of capture effort.

Furthermore a basis was established to realize and to successfully apply highly performing and at the same time stressable RFID-Tags for different rough application environments.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielstellung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Identifikationstechnologien	5
2.1.1 Optische Identifikationsverfahren	7
2.1.2 IRID-Technologie	9
2.1.3 RFID-Technologie	11
2.1.3.1 RFID-Systeme	11
2.1.3.2 Begriffsabgrenzung von Transponder und Tag	14
2.1.3.3 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	14
2.2 Ausgewählte Aspekte der RFID-Technologie	19
2.2.1 Grundlagen elektromagnetischer Wellen	19
2.2.2 Polarisation elektromagnetischer Wellen	21
2.2.3 Kopplungsverfahren von RFID-Systemen	22
2.2.4 Stehwellen	24
2.2.5 Spezifische Entwicklungen im UHF-Bereich	25
2.2.6 Transponder auf Metalluntergründen	26
2.2.7 Bandbreite der Transponder	26
2.3 Werkstoffe zur Herstellung von Transpondergehäusen	27
2.3.1 Mechanische und mediale Eigenschaften	28
2.3.1.1 Festigkeiten	28
2.3.1.2 Steifigkeiten	30
2.3.1.3 Mediale Beanspruchungen	34
2.3.2 Elektrische Eigenschaften	35
2.3.2.1 Elektrische Leitfähigkeit und spezifischer elektrischer Widerstand ..	35
2.3.2.2 Elektrostatische Auf- bzw. Entladung	36
2.3.2.3 Elektrische Polarisation von Dielektrika	37
2.3.2.4 Dielektrizität	38
2.3.2.5 Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$	38
2.3.2.6 Dielektrische Verlustzahl ϵ''	38

2.3.2.7	Frequenzabhängigkeit von Dielektrizitätszahl und dielektrischem Verlustfaktor	39
2.3.2.8	Durchschlagfestigkeit	39
3	Erstellung eines Anforderungskataloges für den Einsatz von Transpondern in rauen Umgebungen	41
3.1	Fischerei im Spannungsfeld der Fischereipolitik und dem Aspekt der Nachhaltigkeit.....	43
3.2	Aufbau des Anforderungskatalogs	54
3.3	Administrationsinduzierte Anforderungen	56
3.3.1	Rechtliche Aspekte	56
3.3.2	Informationstechnische Anforderungen.....	58
3.4	Prozessinduzierte Anforderungen.....	60
3.4.1	Anforderungen beim Fangvorgang.....	60
3.4.2	Kontrollinduzierte Anforderungen.....	61
3.4.3	Umgebungsinduzierte Anforderungen.....	62
3.5	Anforderungen an die Komponenten des Systems	62
3.6	Überprüfung am Markt verfügbarer Tags auf die Erfüllung des Anforderungsprofils	65
4	Gestaltung anforderungsgerechter Gehäuse.....	67
5	Ableitung von prüfbaren Messgrößen und -verfahren für Tags.....	73
5.1	Messgrößen der Lesbarkeit.....	73
5.1.1	Erfassungsreichweite	73
5.1.2	Lageunabhängigkeit.....	74
5.1.3	Lesezuverlässigkeit.....	75
5.2	Messgrößen der Belastbarkeit	76
6	Auswahl der Werkstoffe für das Gehäuse.....	78
6.1	Werkstoffauswahl anhand von Werkstoffkennwerten.....	79
6.2	Vorbereitung von Untersuchungen Frequenz- und Leistungseigenschaften	79
6.2.1	Ziel der Versuche	80
6.2.2	Versuchsaufbauten	80
6.2.3	Frequenzspektrum der Transponder.....	86
6.3	Untersuchungen zum Verhalten von Transpondern ohne umgebendes Material	88
6.3.1	Erfassungsreichweite von Transpondern ohne umgebendes Material	88
6.3.2	Frequenzspektrum von Transpondern ohne Untergrundmaterial.....	89

6.3.3	Gegenüberstellung von Erfassungsreichweite und Frequenzspektrum der Transponder ohne Untergrundmaterial	90
6.4	Verhalten von Transpondern in Kombination mit HDPE	90
6.4.1	Erfassungsreichweite von Transpondern mit HDPE	90
6.4.2	Frequenzspektrum von Transpondern mit HDPE.....	93
6.4.3	Ableitung von Zusammenhängen zwischen Erfassungsreichweite und den Kennwerten der Frequenzspektren von Transpondern	100
6.5	Auswirkung verschiedener Materialien auf die Erfassungsreichweite und das Frequenzspektrum eines Transponders	105
6.6	Untersuchung eines Schwimmermaterials	111
6.7	Auswirkungen des Aushärtungsgrads eines Materials auf das Frequenzspektrum	113
6.7.1	Auswirkungen von Salzwassereinwirkung auf das Frequenzspektrum	115
6.8	Untersuchung der Lageabhängigkeit	116
6.9	Untersuchung verschiedener Einbringungsmöglichkeiten in das Gehäuse.....	118
7	Herstellung und Prüfung der Tags	122
7.1	Prototypenherstellung	122
7.2	Labortechnische Prüfung des Transponders.....	124
7.2.1	Überprüfung der Leistungsfähigkeit	124
7.2.2	Überprüfung der Belastbarkeit	127
7.2.3	Bewertung der Ergebnisse	127
8	Durchführung von Praxisversuchen	128
9	Zusammenfassung und Ausblick	130
	Literatur	135
	Abbildungsverzeichnis	143
	Tabellenverzeichnis	146
	Abkürzungsverzeichnis	147
	Anhang	150

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielstellung

Der zunehmende Wettbewerbsdruck in allen Bereichen des Wirtschaftslebens erfordert eine ständige Verbesserung der individuellen Unternehmensleistung, um am Markt bestehen zu können. Neben den zielführenden Visionen, den daraus abgeleiteten Strategien sowie den zu erarbeitenden Maßnahmenpaketen wird der Grundstein gelegt für die Verbesserung der Unternehmensleistung in der Qualität und Zuverlässigkeit der einzelnen Arbeitsschritte des Produktentstehungsprozesses. Einen wesentlichen Beitrag zur Beschleunigung und zur Steigerung von Qualität und Zuverlässigkeit dieser Prozesse leisten seit langer Zeit Technologien zur automatischen Identifikation von Objekten, sogenannte AutoID-Technologien. Sie werden zur Identifikation von Halbzeugen, Werkstückträgern, Fertigteilen, Lagerplätzen, Versandeinheiten etc. eingesetzt, um einen fortlaufenden Informationsfluss und die damit mögliche Steuerung und Transparenz des Produkterstellungsprozesses zu gewährleisten.

Zunehmend werden auch Objekte und Orte gekennzeichnet und identifiziert, die verschiedenen und teilweise sehr hohen Belastungen in rauen Umgebungen ausgesetzt sind. Raue Umgebungen sind dadurch charakterisiert, dass mediale Belastungen (wie Witterung, Flüssigkeiten, Gase etc.), thermische Belastungen und mechanische Belastungen in verschiedenen Kombinationen und Ausprägungen definiert oder undefiniert wirken.

Hier müssen die Kennzeichnungs- und Datenträger spezielle Eigenschaften aufweisen, um den anwendungsspezifischen Anforderungen in Hinsicht auf Beständigkeit gerecht zu werden. Zunehmend werden neben optischen Identifikationsverfahren wie 1D- und 2D-Code auch radiofrequente Identifikationstechnologien (RFID-Technologien) eingesetzt. Diese RFID-Technologien weisen verschiedene Vorteile - z.B. einen veränderlichen Datenspeicher oder die Auslesung ohne direkten Sichtkontakt - auf. Dadurch können die Datenträger in entsprechend robusten Gehäusen untergebracht und in rauen Umgebungen vor externen Einflüssen geschützt werden.

Anhand von Anwendungsgebieten der radiofrequenten Identifikationstechnologie zeigt Tab. 1-1 einige jeweils erforderliche Eigenschaften der Kennzeichnungs- und

Datenträger - robuste Ausführungen von RFID-Kennzeichnungs- und Datenträgern werden auch als *RFID-Tag* oder schlicht *Tag* bezeichnet.

Einsatzbereiche	Anwendungen	spezielle Eigenschaften der Transponder	Quellen
Einsatz im Wasser	Trinkwasserver- und -entsorgung, Großwäscherei	Wasserresistenz, chemische Resistenz, thermische Resistenz, mechanische Belastbarkeit, daher sehr robust, aber auch Flexibilität	[1], [2], [3], [4]
Einsatz auf Metall	Kennzeichnung von Containern, Behältern, Gitterboxen und sonstigen Metallbauteilen, Einsatz bei hohen Temperaturen	angepasst auf Metalluntergrund/-umgebung, meist sehr robuste Kunststoffgehäuse, Keramikgehäuse für hohe Temperaturen, mechanisch belastbar	[5], [6], [7]
Einsatz in eingegossenen Materialien	Einguss in Kunststoff, Einguss in Aluminium	thermische Resistenz, Druckresistenz, mechanische Belastbarkeit	[5], [6], [8]
Einsatz auf verschiedenen Untergrundmaterialien	Entsorgungswirtschaft, Baubranche, Forstwirtschaft, Sicherheitstechnik, Wintersportbranche, Gebäudetechnik, private Anwendung	mechanische Belastbarkeit, Wasserresistenz, Witterungsresistenz, thermische Resistenz	[5], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Tab. 1-1: Einsatzbereiche und Eigenschaften von verfügbaren RFID-Tags

Die allgemeinen Anforderungen an RFID-Tags leiten sich demnach aus dem Prozess der Anwendung sowie der Anwendungsumgebung ab und können in folgende Kategorien untergliedert werden:

- Schutz,
- Speicher,
- Bauform/Applikation,
- Lesbarkeit und
- Belastbarkeit.

Zwischen den einzelnen Anforderungsgruppen ergeben sich aufgrund technischer und wirtschaftlicher Gründe Zielkonflikte. So schränken die heute verfügbaren robusten Gehäuse die üblichen Lesereichweiten sowie das Erfassungsverhalten allgemein ein. Das ist der wesentlichste Zielkonflikt bei der Gestaltung von Tags. Außerdem sind standardmäßig verfügbare Kennzeichnungs- und Datenträger auf ihre Funktion hin gestaltet, sodass Prozessanforderungen nicht berücksichtigt werden können.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese Zielkonflikte auf ihre Wirkmechanismen hin zu untersuchen und Ansätze zur Überwindung dieser zu finden sowie diese zu verifizieren. Hierfür werden zur konkreten Messbarkeit der Ergebnisse der Anforderungskatalog und die praktische Umsetzung konkret auf ein Anwendungsgebiet bezogen. Dabei handelt es sich um die Kennzeichnung von Fischereinetzen mit dem Ziel der Manipulationsunterbindung und damit einer nachhaltigeren Bewirtschaftung der Meere.

Um die Ergebnisse der Arbeit breit nutzen zu können, werden die wirtschaftlichen Aspekte einer Taggestaltung nicht außer Acht gelassen, weshalb versucht wird, mit Standardkomponenten im Bereich von RFID- und Materialtechnologie zu arbeiten.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im Stand der Technik werden die verfügbaren automatischen Identifikationstechnologien dargestellt und die allgemeinen Grundlagen der RFID-Technologie erläutert. Hierzu werden einige spezifische Grundlagen der Technologie, die für diese Arbeit besonders relevant sind, eingehender erörtert. Im Anschluss werden Werkstoffeigenschaften diskutiert, die für die Auswahl von Gehäusematerialien relevant sind. Dazu gehören vor allem die mechanischen und medialen Eigenschaften, die für die Widerstandsfähigkeit eines Tags entscheidend sind. Zusätzlich sind jedoch die elektrischen Eigenschaften zu betrachten, um die wesentlichen Einflüsse dieser auf die Funktion der radiofrequenten Identifikation zu ermitteln.

Aufgrund der oben dargestellten vielfältigen Anforderungen an RFID-Tags ist es sinnvoll, die Zusammenhänge und Methoden zur Taggestaltung anhand eines Beispiels zu ermitteln und nachzuweisen. Eine vollkommen abstrakte Darstellung hätte zur Folge, dass sich zusätzliche Zielkonflikte neben den wesentlichen im Fokus stehenden Aspekten der RFID-Technologie sowie dem Gehäusematerial ergäben.

Basierend auf den ermittelten Belastungen von Transpondern an Fanggeräten in einer Machbarkeitsstudie zum Thema „Zertifizierung von Fischereinetzen mittels Transpondertechnik“[15] wird in Kap. 3 ein umfassendes Anforderungsprofil an die Komponenten eines RFID-Systems zur Identifikation von Fischereinetzen erstellt, wobei der Fokus eindeutig auf den RFID-Tag ausgerichtet ist. Die Erstellung des Anforderungsprofils wird durch einen Abgleich mit in Serie verfügbaren Tags im

Realeinsatz abgeschlossen. Dabei werden zunächst jene Eigenschaften definiert, die sich als Ausschlusskriterium für den geplanten Einsatz erweisen.

Anhand des Anforderungskatalogs erfolgt in Kap. 4 die Entwicklung der Gehäusegeometrien. Außerdem werden geometrische Aspekte der Transponderintegration betrachtet.

In Kap. 5 werden aus den ermittelten Anforderungen konkrete Messgrößen zum einen für die Leistungsfähigkeit sowie zum anderen für die Belastbarkeit abgeleitet und die jeweiligen Messmethoden definiert und gegebenenfalls hergeleitet.

Mittels der bis dahin durchgeführten Erörterungen kann die Auswahl der Werkstoffe für das Gehäuse erfolgen (vgl. Kap. 6). Eine Vorauswahl aus den potenziellen Materialien erfolgt anhand von Werkstoffkennwerten. Anschließend werden mittels Versuchen die optimalen Kombinationen von Material und Transponder ermittelt. Hierzu sind die speziellen Versuchsaufbauten zur Ermittlung der Spektral- und Leistungsparameter zu erarbeiten. Mit den vorausgewählten Materialien und Transpondern werden intensive Untersuchungen durchgeführt, um sowohl optimale Kombinationen, als auch allgemeingültige Zusammenhänge zwischen Spektral- und Leistungsparametern zu ermitteln, die zukünftige Untersuchungen dieser Art stark vereinfachen können. Zudem werden Untersuchungen zur medialen Beständigkeit sowie zur optimalen Integration und Positionierung der Transponder im Gehäuse durchgeführt.

Mit den optimalen Kombinationen aus Material und Transponder werden in der Folge Prototypen hergestellt, um in ersten Labor- sowie anschließend in Praxisversuchen die Konformität mit dem Anforderungsprofil zu attestieren.

2 Stand der Technik

2.1 Identifikationstechnologien

Auto-ID-Verfahren haben in der jüngeren Vergangenheit immer weitere Verbreitung gefunden. Dabei haben diese Verfahren vor allem in den Bereichen der Beschaffungs-, der Produktions- und der Distributionslogistik sowie im Handel große Bedeutung erlangt. Aufgabe und Ziel der Auto-ID ist die klar definierte und strukturierte Bereitstellung von Informationen zu Objekten jeglicher Art.[16]

Die automatische Erfassung führt gegenüber der manuellen Erfassung zu einer fehlerfreien, schnelleren und damit zu einer wesentlich effizienteren Bereitstellung der Informationen. *Finkenzeller* nennt fünf Auto-ID-Systeme mit aktueller Bedeutung: Barcode, Optical Character Recognition (OCR), kontaktbehaftete Chipkarten, RFID und biometrische Verfahren.[17] *Lenk* stellt eine umfassendere Systematisierung zu Auto-ID zur Verfügung, an der sich diese Arbeit orientiert.[18] Abb. 2-1 enthält eine Übersicht der verfügbaren Auto-ID-Technologien.

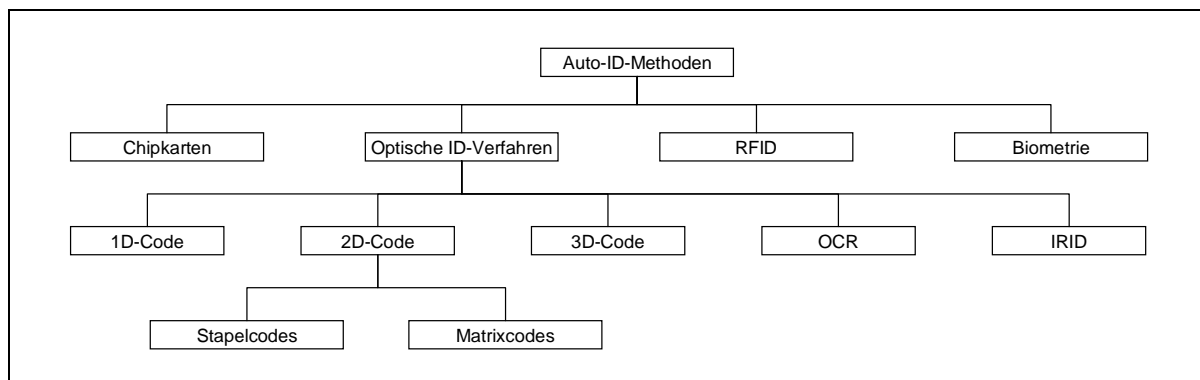


Abb. 2-1: Die wichtigsten Auto-ID-Verfahren¹

Die abgebildeten Verfahren werden im Folgenden kurz charakterisiert und ihre Relevanz für die Logistik herausgestellt.[17] [19]

- **Chipkarten:** Chipkarten enthalten einen elektronischen Datenspeicher, der zur besseren Handhabung in eine Plastikkarte im Kreditkartenformat integriert ist. Dieser Speicher kann auch um einen Mikroprozessor ergänzt werden. Es handelt sich dann um eine sogenannte Mikroprozessorkarte statt einer Speicherkarte. Eine erste Anwendung fand sich bereits 1984 für

¹ Quelle: eigene Darstellung nach [17], [20]

vorausbezahlte Telefonkarten. Zur Verwendung muss die Chipkarte in ein Datenerfassungsgerät gesteckt werden, über das sie mit Energie und einem Arbeitstakt (für den Mikroprozessor) versorgt wird. Ein großer Nachteil der Chipkarten ist die Anfälligkeit der Kontaktflächen gegen Abnutzung, Korrosion und Verschmutzung. Die Notwendigkeit des Kontaktes zwischen Karte und Datenerfassungsgerät lässt dieses Verfahren für den Einsatz in der Logistik als ungeeignet erscheinen.

- **Optische Identifikations-(ID)-Verfahren:** Der Barcode als 1D-Code existiert bereits seit den 70er Jahren. Er besteht aus einer Anordnung von parallel angeordneten Strichen (englisch: bars). Das Lesen erfolgt durch optische Laserabtastung, d.h. durch unterschiedliche Reflexion eines Laserstrahles an den schwarzen Bereichen und weißen Lücken. Der mit Abstand am weitesten verbreitete optische Code ist der 1D-Code European Article Number (EAN), der bereits 1976 konzipiert wurde. Die 2D-Codes unterteilen sich in Stapel- und Matrixcodes, wobei die Stapelcodes untereinander angeordnete 1D-Codes sind und Matrixcodes die Form von Matrizen haben, bei denen die Elemente Kästchen oder Punkte sein können. Kap. 2.1.1, S. 7, wird die optischen Codierungen und deren Bedeutung für die Logistik genauer beschreiben.
- **Optical Character Recognition:** OCR gehört zu den optischen ID-Verfahren, spielt jedoch eine Sonderrolle, da es keine vergleichbare Codierung gibt. Ca. 1960 wurden bereits Schrifttypen entwickelt, die auch von Maschinen automatisch gelesen werden können. Vorteile dieser Technologie stellen die hohe Dichte der Informationen und die Möglichkeit, diese Information manuell zu erkennen. Ein wesentlicher Nachteil besteht in den hohen Kosten für die sehr kompliziert aufgebauten OCR-Datenerfassungsgeräte, was zu einem hohen Preis der OCR-Systeme führt. Inzwischen können Standardschriftarten und Handschriften erkannt werden. Logistisches Einsatzgebiet sind hier vor allem automatisierte Briefsortieranlagen von Postdienstleistern.
- **IRID:** Infrarot-identifikations- (IRID) Systeme sind optische Identifikationssysteme, die im Frequenzbereich der Infrarotwellen von 300 THz arbeiten. Sie verfügen über einen genau definierten Erfassungsbereich und benötigen eine Sichtverbindung zwischen Reader und Transponder (vgl. auch Kap. 2.1.2,

S. 9). Die Anwendungsgebiete lehnen sich sehr stark an die von RFID-Systemen an und erstrecken sich damit über die Identifikation von Behältern und Fahrzeugen, über die Prozessautomatisierung, über sicherheitsrelevante Anwendungen und andere logistisch geprägte Anwendungen. Erweitert werden sie um die Bereiche, in denen RFID-Systeme aufgrund ihrer Unverträglichkeit mit Flüssigkeiten und Metallen an ihre Grenzen stoßen.

- RFID: RFID-Systeme sind den Chipkarten grundsätzlich ähnlich. Wesentliche Unterschiede stellen die Energieversorgung sowie der Datenaustausch zwischen Lesegerät und Datenträger dar. RFID nutzt magnetische oder elektromagnetische Felder anstatt der Kontakte. Die Technologie hierzu wurde der Funk- und Radartechnik entlehnt, weshalb RFID für die ID durch Radiowellen steht. Ein großer Vorteil gegenüber anderen Verfahren ist die kontaktlose und ohne Sichtlinie mögliche Identifizierung. Daraus resultiert auch die geringe Anfälligkeit gegen Umwelteinflüsse. Diese Randbedingungen führen zu einem interessanten Anwendungsspektrum in der Logistik.
- Biometrie: Die Biometrie ist „die Wissenschaft von der Zählung und (Körper-) Messung an Lebewesen“.[17] Im Rahmen der Auto-ID umfasst die Biometrie die Verfahren zur ID von Personen durch den Vergleich individueller Körpermerkmale. Dazu gehören z.B. Fingerabdruckverfahren und Sprach-ID. Zur ID von Objekten entlang des Materialflusses sind diese Verfahren nicht von Bedeutung.

2.1.1 Optische Identifikationsverfahren

Zu den optischen ID-Verfahren zählen die Verfahren, die 1D-Codes, 2D-Codes oder 3D-Codes zur Identifikation verwenden.

- 1D-Codes bestehen aus parallel angeordneten Strichen und Lücken. Der Dateninhalt ist nur über eine geometrische Achse verschlüsselt.
- 2D-Codes bestehen aus einer Anordnung von Elementen, z.B. Strichen, Punkten, Quadraten oder anderen geometrischen Formen. Dabei nutzen die Stapelcodes die Grundstruktur der 1D-Codes. Die Umsetzung erfolgt durch mehrfaches Übereinanderstapeln von 1D-Codes, wobei der Dateninhalt über zwei geometrische Achsen verteilt ist. Die Datensicherheit wird über die

Verwendung von Prüfalgorithmen (selbstsichernder Code), Prüfziffern sowie Prüfzeichen gewährleistet. Matrixcodes sind die Weiterentwicklung von optischen Codierungen nach einem neuen Konzept. Dabei setzt sich ein codiertes Zeichen aus einer bestimmten Anzahl von Elementen zusammen, die entsprechend der Spezifikation des jeweiligen Matrixcodes innerhalb der Matrix angeordnet werden. Die Elemente haben bei den meisten Codes die Form von Punkten, Quadraten oder Sechsecken. Hier wird die Datensicherheit im Wesentlichen durch komplexe Algorithmen gewährleistet. In jedem Fall muss ein komplettes Bild des Codes aufgenommen werden, um die Position der Elemente in der Matrix festzustellen.

- Der 3D-Code besteht aus den Codierungsgrundelementen der 1D- und 2D-Codes. Die Erhöhung der Datendichte liegt in der dritten Dimension, die über die Farbe oder Farbkombinationen erreicht wird. Außerdem besteht die Möglichkeit, Daten direkt über holografische Methoden in optische Datenträger, bestehend aus Glas oder Kunststoff, hineinzuschreiben, zu lesen und zu löschen.

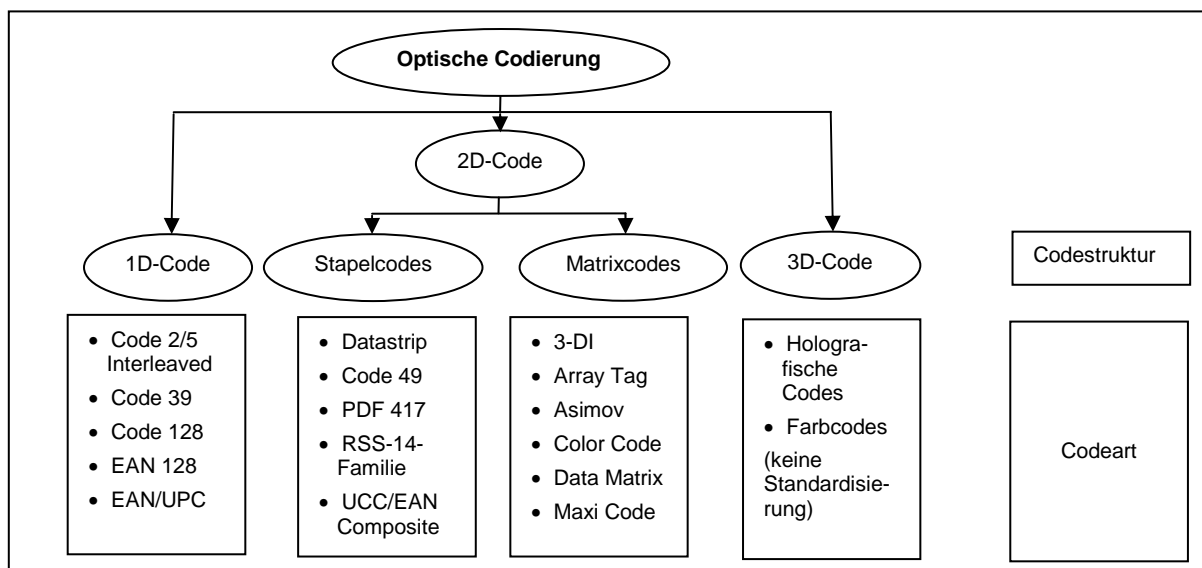


Abb. 2-2: Übersicht zu den optischen Codierungen²

Welche optischen Codes in welchem der drei Haupteinsatzgebiete Industrie, Logistik und Handel eine Rolle spielen, wird in Abb. 2-3 dargestellt.

² Quelle: eigene Darstellung, Grundlage: [18] [20] [21] [22]

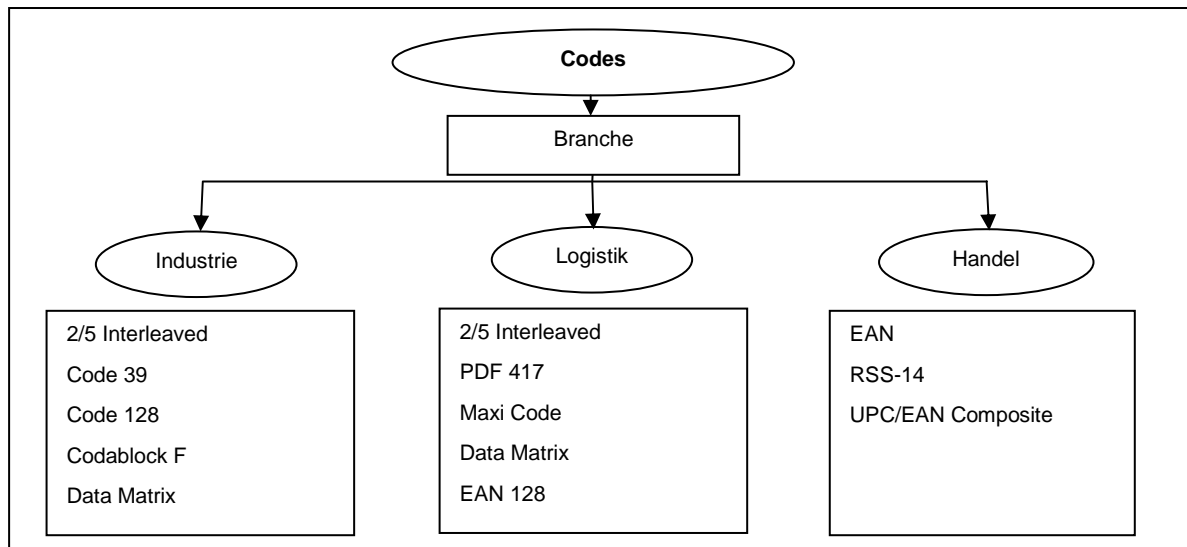


Abb. 2-3: Branchen und die jeweils wichtigsten Codierungen [20]

Auch wenn 2D-Codes in Bezug auf Fehlertoleranz und Speicherdichte wesentlich leistungsfähiger als 1D-Codes sind, ist festzustellen, dass sie keine zusätzlichen Leistungsmerkmale aufweisen und im Grunde die gleiche Technologie darstellen. Die Abläufe werden daher aufgrund der gleichen Technologie – der optischen Abtastung – schlussendlich immer die gleichen bleiben.

Gegen einen Einsatz dieser Technologien zur Kennzeichnung von Objekten in mechanisch anspruchsvollen und verschmutzungsintensiven Umgebungen spricht demnach die Basistechnologie, die optische Erfassung der Kennzeichnung. Durch mechanische Beanspruchungen wird die Oberfläche der Kennzeichnungsträger gegebenenfalls manipuliert. Dies resultiert in einem veränderten Reflexionsverhalten an der Beschädigung, wodurch die Auswerteelektronik den Code nicht mehr korrekt interpretieren kann. Eine teilweise oder vollständige Verschmutzung des Kennzeichnungsträgers führt zu dem gleichen Ergebnis.

2.1.2 IRID-Technologie

Wie bei RFID-Systemen werden auch bei der Identifikation mit Infrarotwellen die Objekte mit Transpondern versehen. Anders als bei RFID sind die Transponder immer passiv und beziehen ihre Energie aus den Infrarotstrahlen, welche mit einer Wellenlänge von einem Mikrometer und einer Frequenz von 300 THz von am Reader installierten LED's ausgestrahlt werden. Als alternative Energiequellen können sie weiterhin andere Lichtquellen, wie normales Tageslicht oder Halogenlampen, nutzen.

Neben der Energieversorgung dienen die Infrarotwellen der Datenübertragung vom Reader zum Transponder und umgekehrt. Aus diesem Grund sind sie speziell codiert, um Artefakte des Umgebungslichts zu vermeiden. Das vom Transponder kommende Infrarotsignal wird am Reader durch Linsen verstärkt und durch Fotodetektoren aufgenommen und verarbeitet. Die Linsen haben neben der Verstärkung des ankommenden Signals auch die Aufgabe, störende Lichtstrahlen auszusondern.

Die Vorteile der IRID sind unter anderem ein scharf abgegrenzter Erfassungsbereich, wodurch keine Transponder außerhalb des gewünschten Bereichs gelesen werden. Weiterhin weist das Erfassungsfeld keine „blinden Flecke“ auf, ist dementsprechend eine homogene Struktur. Die Technologie zeichnet sich besonders durch ihre relativ geringen technischen Anforderungen aus, was sich dadurch äußert, dass, anders als bei RFID-Systemen, keine spezielle Abstimmung der Antenne erfolgen muss, wie etwa die Unterdrückung von Interferenzen. Die kompakte Bauart der Antennen in etwa Kreditkartengröße ist ein weiterer Vorteil der IRID-Technologie gegenüber RFID. Der geringe Einfluss von Flüssigkeiten und Metallen ist der wohl stärkste Vorteil von IRID-Systemen, da gerade diese beiden Materialien erhebliche negative Einflüsse auf die Funktion von RFID-Systemen haben. Abb. 2-4 stellt den grundsätzlichen Aufbau der IRID-Technologie dar.

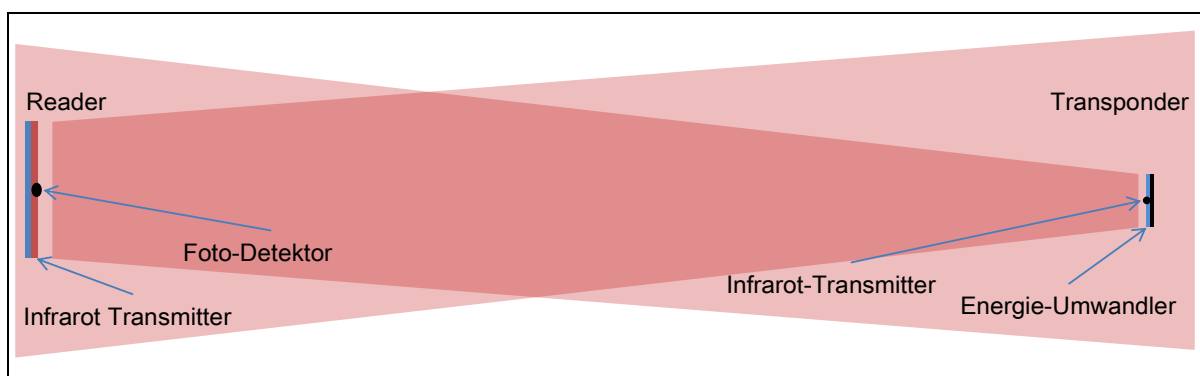


Abb. 2-4: Funktionsaufbau und Erfassungsbereich der IRID-Technologie

Da IRID-Systeme nicht auf der Basis herkömmlicher elektromagnetischer Wellen arbeiten, entfallen weiterhin nationale wie internationale Vorschriften hinsichtlich der Funkzulassung.

Wesentlicher Nachteil der IRID-Technologie ist jedoch die zur Funktion notwendige direkte Sichtverbindung zwischen Reader und Transponder, wodurch die

Technologie nicht für alle robusten Anwendungen aufgrund begrenzter Schutzmöglichkeiten der Transponder geeignet ist.

2.1.3 RFID-Technologie

Stockmann erbrachte bereits 1948 in seinem Beitrag die theoretische Herleitung und den praktischen Nachweis, wie mit reflektierter Energie eine Kommunikation erfolgen kann.[23] Diese Arbeiten waren die Grundlage für die sukzessive Entwicklung der heute bekannten RFID-Systeme, die im Folgenden kurz erklärt werden.

2.1.3.1 RFID-Systeme

RFID-Systeme i.e.S. bestehen immer aus zwei Komponenten:[16]

- dem Transponder, oder auch dem elektronischen Etikett bzw. Tag, der an dem zu identifizierenden Objekt fixiert ist sowie
- dem Erfassungs- oder Datenerfassungsgerät, das je nach Gestaltung des Systems nur Datenerfassungsgerät oder Schreib-/Lesegerät ist. Im Folgenden soll nur der Begriff Datenerfassungsgerät verwendet werden.

Es kann darüber hinaus von beiden Komponenten eine unterschiedlich große Anzahl vorhanden sein. Ein RFID-System i.e.S. bringt jedoch noch keinen unmittelbaren Nutzen. Zwar können die Datenerfassungsgeräte mit den Transpondern kommunizieren, brauchen allerdings eine Quelle und einen Zielort für die auszutauschenden Daten. Daher ist stets noch eine Möglichkeit zur Datenverarbeitung (DV) notwendig. Abb. 2-5 stellt die Bestandteile eines RFID-Systems sowie dessen Aufbau dar.

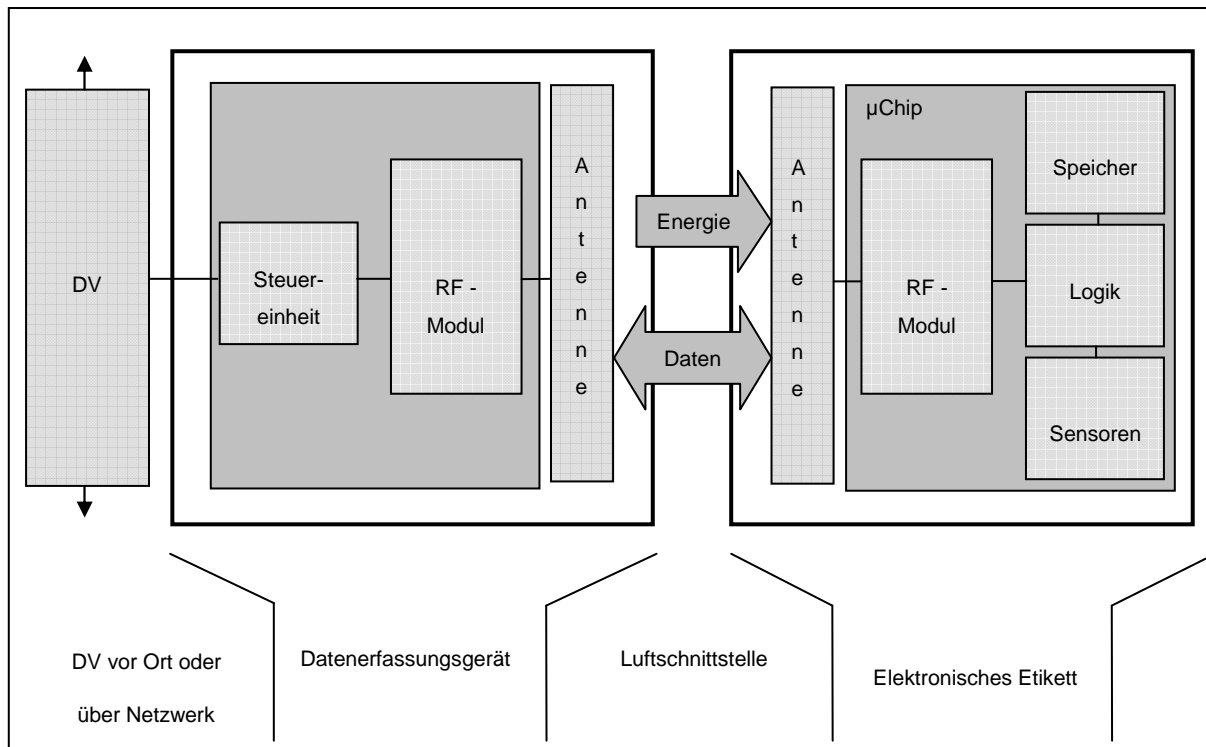


Abb. 2-5: Bestandteile eines RFID-Systems mit Anbindung an eine DV

- Das elektronische Etikett besteht im Idealfall nur aus einer Antenne und einem integrierten Schaltkreis oder Mikrochip. Dieser integrierte Schaltkreis oder Mikrochip enthält wiederum das Radio-Frequenz- (RF-)Modul, Logik, Speichereinheit und optional Sensoren für Druck, Temperatur und andere Parameter. Die Aufgaben des RF-Moduls im elektronischen Etikett sind die Demodulation der empfangenen Daten sowie die Modulation zu sendender Daten. Die auf dem elektronischen Etikett zu speichernden Daten, z.B. die ID-Nummer oder in seltenen Fällen Daten der Sensoren (Sensoren werden meist nur beim Lesevorgang aktiviert und die Daten direkt übertragen) werden im Speicher abgelegt und während der Kommunikation mit dem Datenerfassungsgerät abgerufen und übermittelt.
- Das Datenerfassungsgerät besitzt ebenfalls eine Antenne und ein RF-Modul. Dem RF-Modul obliegt es, zusätzlich eine hochfrequente Sendeleistung zu generieren. Außerdem verfügt das Datenerfassungsgerät über eine Steuereinheit, die die Kommunikation mit dem elektronischen Etikett über die Luftschnittstelle organisiert, die Codierung sowie Decodierung der Signale übernimmt und gegebenenfalls den Antikollisionsalgorithmus zur Pulkerfassung und/oder die Ver- und Entschlüsselung der Daten ausführt.

- Über die Luftschnittstelle wird zunächst Energie zur Aktivierung des Transponders übertragen. Gleichzeitig wird die Luftschnittstelle auch zum Austausch der Daten zwischen Datenerfassungsgerät und Transponder genutzt. Die Steuereinheit im Datenerfassungsgerät organisiert die Kommunikation mit der DV, welche über die jeweils vorhandene Schnittstelle angebunden ist. Die von den Tags ausgelesenen Daten können so der DV zugeführt werden. Die Schnittstelle kann ebenfalls eine Luftschnittstelle (z.B. Wireless Local Area Network (WLAN)) oder drahtgebunden sein.

RFID-Systeme verfügen über unterschiedliche Leistungsmerkmale, z.B. die Speicherung von zusätzlichen Daten sowie Sicherheitsfunktionen oder die Kopplung mit Sensoren. Sowohl Transponder als auch Datenerfassungsgeräte werden derzeit in verschiedenen Ausführungen angeboten, die jeweils auf spezifische Anwendungsfelder und Einsatzbereiche ausgerichtet sind. Das Angebot an Datenerfassungsgeräten kann grob in stationäre und mobile Datenerfassungsgeräte gegliedert werden, die teilweise für die Nutzung in rauer Umgebung geeignet sind. Auch das Angebot an Transponder-Ausführungen ist umfangreich. Die wichtigsten Typen sind:[17] [19]

- Smart Labels: Darunter sind Etiketten zu verstehen, die zur Waren- oder Preisauszeichnung, aber auch auf Paketen, Boxen, Paletten oder Fluggepäck verwendet werden und einen Transponder enthalten. Es handelt sich dabei um ID-Etiketten, die meist auf Papier, Pappe oder Kunststofffolie aufgebracht sind.
- Glaszylinder-Transponder: Diese Transponder sind für Anwendungen, die besonders kleine Ausführungen erfordern (z.B. für Wegfahrsperrern oder zur Tier-ID), geeignet.
- Transponder in einer Kunststoffhülle: Solche Transponder werden für robuste Anwendungen, bspw. in der Fertigung oder für Anwendungen mit Feuchtigkeitseinwirkung (z.B. laminierte Disc-Tags), eingesetzt.
- Transponder in besonders robuster Hülle: Die meist keramische Bauform dieser Transponder wird für Anwendungen im Bereich der industriellen Fertigung mit besonderen Anforderungen an Hitze- und Chemikalienbeständigkeit genutzt.

- Card-Transponder: Unter diesen Begriff werden in Kunststoff eingebettete Transponder im Scheckkartenformat gefasst (z.B. für Zugangskontrollen und im Ticketing oder als Kunden-, Bonus- und Servicekarten).

2.1.3.2 Begriffsabgrenzung von Transponder und Tag

Die Vielzahl an Ausführungen und Bezeichnungen für Transpondertypen macht es nötig, sich auf eine bestimmte Terminologie festzulegen. Der Tag besteht aus einem Inlay (Transponder bestehend aus einer auf einer Trägerfolie aufbrachten und mit einem Chip verbundenen Antenne) und einem entsprechenden robusten Gehäuse, wie in Abb. 2-6 dargestellt.

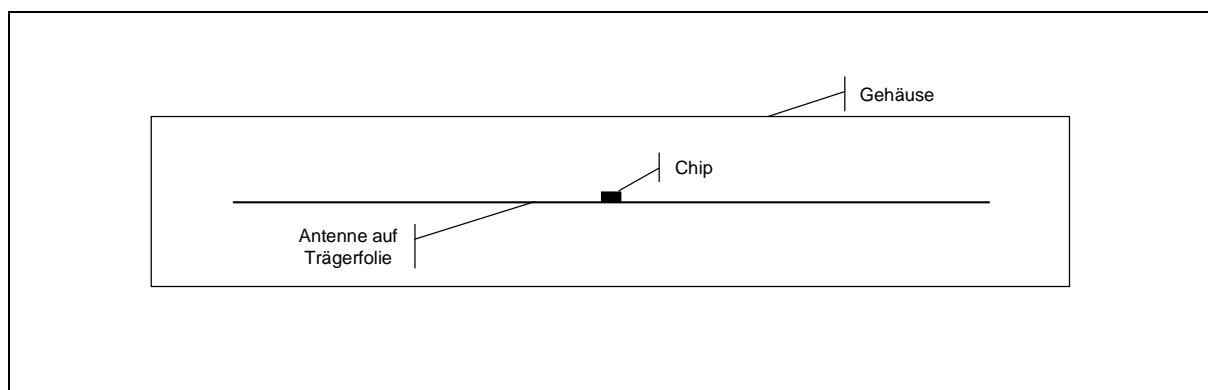


Abb. 2-6: Aufbau eines Tags

Ein Smart Label stellt hingegen ein zu einem meist haftfähigen Etikett verarbeitetes Inlay dar, welches nur geringen mechanischen Belastungen standhält. Für alle aufgeführten Typen gilt weiterhin die Bezeichnung Transponder, da die charakterisierende Funktion jeweils vorhanden ist.

2.1.3.3 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen sind der genutzte Frequenzbereich, die verwendete Speichertechnologie, die Art der Energieversorgung der Transponder, die Art der Datenübertragung, die Art der Verfügbarkeit und Ausführung der Mehrfachzugriffsverfahren (Antikollisionsverfahren) sowie das Datenmanagement.[16] [17] [19] [24] [25]

RFID-Systeme nutzen Frequenzbänder, die für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen bereitgestellt werden (sogenannte ISM-Frequenzen). Weltweit haben sich die Frequenzbereiche unter 135 kHz (Low Frequency, LF), 13,56 MHz (High Frequency, HF) und 850 bis 970 MHz (Ultra High Frequency, UHF)

für den kommerziellen Einsatz von RFID-Systemen etabliert. Im Frequenzbereich von 2,45 GHz (Short High Frequency, SHF) werden hauptsächlich aktive Systeme für den Einsatz zur Produktionssteuerung oder für Real-time Location Systeme (RTLS) zur Ortung von Objekten eingesetzt. Der Frequenzbereich 5,8 GHz (Ultra Wide Band, UWB) beheimatet bisher vor allem RTLS, da diese Frequenzen aufgrund der Möglichkeit, sehr kurze Signale zu senden, eine geringere Anfälligkeit für die Problematik der Auswertung von Mehrwegeausbreitung der Funkwellen aufweisen als die bisher eingesetzten Systeme auf 2,45 GHz.[26]

Weltweit uneinheitliche Vorschriften bezüglich der Zuteilung von Frequenzbändern sowie der maximal zulässigen Sendeleistung erschweren die Entwicklung von international einsetzbaren RFID-Systemen. Aus den unterschiedlichen Frequenzbereichen und deren Eigenschaften resultieren zugleich besondere Einsatzbereiche. Dieser Inhomogenität versuchen die Hersteller von Hardware mit Datenerfassungsgeräten zu begegnen, die mehrere Frequenzbänder abdecken.[27]
[28]

Ein weiteres zentrales Unterscheidungsmerkmal der RFID-Systeme stellt die verwendete Speichertechnologie dar. Grundsätzlich wird hier zwischen Read Only- (RO-), Write Once Read Many- (WORM-) und Read/Write- (RW-)Transpondern unterschieden:

- RO-Transponder: Diese Transponder können nach der Programmierung beim Hersteller nur noch gelesen werden. Die kostengünstige Herstellung wird jedoch mit dem Nachteil erkauft, dass variable Informationen zu diesem Tag und dem damit assoziierten Objekt in einer Datenbank im Backend des RFID-Systems gespeichert werden müssen.
- WORM-Transponder: Diese Art von Transpondern können einmal beschrieben und dann nicht mehr umprogrammiert werden, sind aber beliebig oft auslesbar.
- RW-Transponder: Solche Transponder stellen neben der unikaten ID-Nummer einen beschreibbaren Speicher zur Verfügung. Diese wesentlich teurere Version ermöglicht das Speichern variabler Informationen auf dem Tag selbst.

Die Energieversorgung der Tags kann ebenfalls auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Aktive Transponder verfügen über eine eigene Energiequelle (meistens in

Form einer Knopfzelle, die regelmäßig ersetzt werden muss) zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen. Damit können wesentlich größere Reichweiten realisiert sowie integrierte Sensoren mit Energie versorgt werden. Passive Transponder hingegen nehmen die notwendige Energie über die Funkwellen der Datenerfassungsgeräte auf. Im Gegensatz zu aktiven Transpondern verfügen diese über eine geringere Reichweite und es sind leistungstärkere Datenerfassungsgeräte für die Versorgung der Tags mit Energie notwendig. Die Energieversorgung und Kommunikation mit den Tags kann durch induktive Kopplung oder die Backscatter-Kopplung erfolgen. Für Close-Coupling-Systeme kann auch die kapazitive Kopplung eingesetzt werden (vgl. auch [17]).

Eine besondere Herausforderung für RFID-Systeme besteht dann, wenn sich mehrere Tags gleichzeitig in Lesereichweite eines Datenerfassungsgerätes befinden und durch das Datenerfassungsgerät zur ID aufgefordert werden. Da alle Tags eines Typs auf der gleichen Frequenz senden, kann das Datenerfassungsgerät nicht zwischen den einzelnen Quellen differenzieren. Es kommt dadurch zu einer Kollision. Um einen Mehrfachzugriff zu realisieren (auch bezeichnet als Pulkerkennung), muss ein Datenerfassungsgerät über ein Selektionsverfahren verfügen, das die Chips „überzeugt“, ihre Informationen einzeln zu senden. Für Anwendungen, bei denen nicht ausgeschlossen werden kann bzw. es sogar erwünscht ist, dass mehrere Tags in Reichweite sind, kommen sogenannte Antikollisionsverfahren zur Anwendung. Diese Verfahren basieren in der Praxis meist auf dem Time Division Multiple Access-Prinzip. Dabei wird die gesamte zur Verfügung stehende Übertragungskapazität auf die einzelnen Tags aufgeteilt. Die Verfahren werden weiterhin danach unterteilt, ob sie von den Tags oder vom Datenerfassungsgerät gesteuert werden. Die transpondergesteuerten Verfahren sind langsamer, da hier die Datenerfassungsgeräte die Abfrage so oft wiederholen müssen, bis alle Tags mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erfasst wurden. Als meistverwendete Verfahren sind das Aloha-Verfahren und das Tree Walking-Verfahren zu nennen. Für RFID-Systeme nach ISO 18000-6 Part C wird das Slotted Aloha-Verfahren eingesetzt, welches individuell parametrierbar ist.[17] [16] [29]

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von RFID-Systemen betrifft das Datenmanagement. Grundsätzlich dient das Datenmanagement, das sich über die gesamte Logistikkette erstreckt, der Bereitstellung eines möglichst nahtlosen

Informationsflusses. Die Auslegung des Datenmanagements kann in „zentral“ und „dezentral“ unterschieden werden. Das zentrale Datenmanagement speichert alle zu jedem Tag gehörenden Informationen an einem zentralen Ort (vielfach als Backend bezeichnet). Wenn die Daten benötigt werden (z.B. bei einem ID-Vorgang), müssen diese Daten abgerufen werden. Hierfür müssen die Daten also immer von jedem definierten Ort der Logistikkette aus abrufbar sein. Dieses Vorgehen wird ebenfalls beim Electronic Product Code™ (EPC™) angewendet. Beim dezentralen Datenmanagement werden alle „unterwegs“ benötigten Daten auf dem Tag gespeichert (z.B. Zielort, Handlinganweisungen, Verfallsdatum). Hierfür ist ein ausreichend großer Speicher sowie zur Fortschreibung der Objekthistorie die Möglichkeit des nachträglichen Beschreibens notwendig (Rewritable- (RW)-Tags).

Das zentrale Datenmanagement wird bei herkömmlichen Steuerungssystemen angewendet.³ Der große Vorteil von RFID-Systemen liegt in der Möglichkeit, dezentral Daten zu speichern und zur Steuerung einzusetzen. Jedoch kann eine Visualisierung der gesamten Lieferkette mit einem reinen dezentralen Datenmanagement nicht realisiert werden, da die relevanten Daten auf den Tags verteilt und nicht zentral verfügbar sind. Soll eine Visualisierung bzw. eine Absicherung der Daten erfolgen, ist daher auch ein zentraler Speicher notwendig. Der zentrale Speicher kann jedoch nicht als ein einzelner Server betrachtet werden, vielmehr setzt er sich aus vielen Komponenten zusammen (vgl. Abb. 2-7).

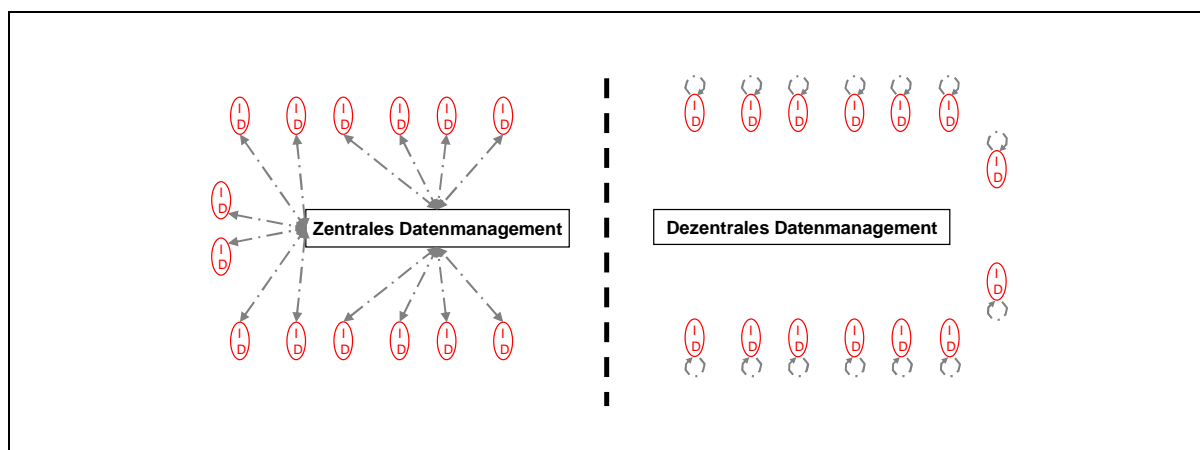


Abb. 2-7: Zentrales vs. dezentrales Datenmanagement

³ Hier wird ein Track&Trace-Verfahren mittels Barcode und Global System for Mobile Communications (GSM) vorgestellt. Es wird auch hier auf ein zentrales Datenmanagement gesetzt.

Der Ort des zentralen Speichers ist dabei abhängig von der Anzahl der integrierten Prozesse. Es ist denkbar, dass Betrieb und Wartung der notwendigen Hard- und Software an externe IT-Dienstleister übergeben werden. Hierbei ist es jedoch sehr wichtig, auf eine klare Datennutzungsrechteverwaltung zu achten, damit jeder Beteiligte genau über jene Daten verfügen kann, die für seinen Zweck relevant sind.

Das Frequenzband stellt das Kernmerkmal des jeweiligen RFID-Systems dar. Grund dafür ist, dass die benutzte Trägerfrequenz eine Vielzahl wichtiger Prozessparameter determiniert. Das sind bspw. Reichweite, Übertragungsgeschwindigkeit und Größe der Transponder. Tab. 2-1 gibt einen Überblick über die derzeit wichtigsten Frequenzen LF, HF und UHF, gemessen an Einsatzverbreitung (LF und HF) sowie an der medialen Präsenz (UHF).

Bezeichnung	LF	HF	UHF
Frequenzbereich	125 kHz	13,56 MHz	862-928 MHz
Reichweite (in m)	< 0,5	0,1 – 1,4	0,5 – 7
Übertragungsgeschwindigkeit	niedrig	hoch	sehr hoch
Größe der Transponder	klein/mittel	mittel	mittel/groß
Dämpfung durch Flüssigkeiten	sehr gering	gering	hoch
Behinderung durch Metall	mittel	Verwirbelung	Absorption/Reflexion

Tab. 2-1: Performancemerkmale der wichtigsten Frequenzbereiche

Die Parameter Reichweite und Übertragungsgeschwindigkeit lassen den Frequenzbereich LF für logistische Anwendungen uninteressant erscheinen. Für die Kennzeichnung von Metallprodukten, z.B. von Werkzeugen, sind jedoch sinnvolle Anwendungen möglich.

Zwar weisen HF-Systeme größere Reichweiten als LF-Systeme auf, dennoch ist mit 140 cm Lesereichweite auch hier z.B. ein Lesetor an einer Lastkraftwagen- (LKW)-Laderampe nicht mit passiven HF-Transpondern für eine item-getaggte Ladeinheit realisierbar. Aktive HF-Transponder erzielen hier zwar größere Reichweiten, kommen aufgrund der nötigen Batterie sowie des damit einhergehenden höheren Preises für die meisten logistischen Anwendungen nicht in Frage. Somit sind die UHF-Systeme trotz ihrer Schwäche in Verbindung mit Flüssigkeiten und Metallen für den Einsatz in der Logistik vorzuziehen. Die großen erzielbaren Reichweiten und die sehr gute Antikollisionsfähigkeit der eingesetzten Protokolle sprechen für den Einsatz von UHF.⁴ Die starke Beeinflussung der UHF-Technologie durch Flüssigkeiten kann

⁴ Im Zuge der Standardisierung werden auch HF-Systeme über einen performanteren Antikollisionsmechanismus im Rahmen von ISO 18000-3 verfügen als bisher mit ISO 15963.

durch eine entsprechende Gestaltung des Systems minimiert werden (vgl. Kap. 2.2.5, S. 25). Außerdem macht die kontinuierliche Weiterentwicklung im Bereich der UHF-Technologie Transponder möglich, die immer besser in Umgebungen mit Flüssigkeiten und Metall arbeiten.[28] [30]

2.2 Ausgewählte Aspekte der RFID-Technologie

Um die RFID-Technologie für einen sehr speziellen und anspruchsvollen Anwendungsbereich einzusetzen, müssen die grundlegenden Funktionsweisen und Zusammenhänge der Technologie bekannt sein. Daher wird dieses Kapitel auf einige Grundlagen eingehen, die im Verlauf der weiteren Arbeit besonders relevant sind. Dazu gehören die Eigenschaften der verschiedenen Kopplungsverfahren von RFID-Systemen sowie die Grundlagen der elektromagnetischen Wellen. Es wird dabei untersucht, wie sich elektromagnetische Wellen im Raum, an Grenzflächen und in homogenen Medien verhalten, um Rückschlüsse auf die Auswahl von Materialien für die Gehäuse der Transponder zu ziehen.

2.2.1 Grundlagen elektromagnetischer Wellen

Die RFID-Technologie basiert auf der Erzeugung elektromagnetischer Felder mittels zeitveränderlicher Magnetfelder und nutzt die daraus erzeugten Wellenausbreitungsvorgänge zur Informationsübertragung. Die elektrotechnischen Grundlagen dieser Technologie umfassen die Gesamtheit der Vorgehensweisen und Verfahren zur Erzeugung, Fortleitung, Erfassung und Verarbeitung elektromagnetischer Felder. An dieser Stelle soll jedoch nur kurz auf die allgemeinen Grundlagen der Technologie eingegangen werden. Weitergehend werden die für die Arbeit besonders relevanten Grundlagen zur Antenne, zur Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Freiraum sowie in homogenen Medien und zu den Wechselwirkungen elektromagnetischer Wellen mit Materie im Allgemeinen betrachtet.

Die elektromagnetische Welle setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: der elektrischen und der vektoriell 90° -versetzten, also senkrecht dazu stehenden magnetischen Welle. Elektrische und magnetische Wellen weisen im Normalfall eine Phasenverschiebung von einer halben Periode auf.

Zur Beschreibung der elektromagnetischen Wellen werden die Maxwell'schen Gleichungen angewendet. Diese können grundsätzlich in drei verschiedenen Formen

dargestellt werden. In der Integralform werden beliebige Flächen und Volumina abgebildet, wobei die Fläche immer eine geschlossene Kurve - den Rand einer Fläche - und das Volumen einer geschlossene Hülle - die Begrenzung eines Volumens - darstellen. Die Differenzialform ermöglicht die lokale Betrachtung der Feldgrößen in einem speziellen Punkt. In der Zeigerform werden hingegen alle auftretenden Feldgrößen durch ihre komplexen Zeiger dargestellt.[31] [32]

In dieser Arbeit wird das Durchdringen von Materialien betrachtet, die verschiedene für die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen relevante Parameter aufweisen (vgl. hierzu Kap. 2.3.2, S. 35):

- die spezifische elektrische Leitfähigkeit κ
- die Permittivität ϵ und
- die Permeabilität μ .

Im Weiteren wird die Betrachtung auf ebene elektromagnetische Wellen beschränkt, womit die Veränderlichkeit auf den Richtungsvektor in Ausbreitungsrichtung eingegrenzt werden kann und so die Komplexität reduziert wird.

Die hier betrachteten passiven Systeme beziehen ihre Energie aus dem elektromagnetischen Feld der Leseantenne. Es ist also von Relevanz, wie viel Energie das Feld an der Stelle aufweist, an der sich der Transponder befindet. Transponder befinden sich meist in undefinierter Entfernung von der Strahlungsquelle. Es ist daher wichtig, dass das elektromagnetische Feld einen homogenen Energiestrom aufweist. Für die Betrachtungen in RFID-Systemen sind vor allem die Intensität sowie der Pointingvektor der elektromagnetischen Welle relevant. Dieser kann durch die Phasenverschiebung beeinflusst werden.

Neben einer Veränderung der Wellenlänge und damit der Frequenz der elektromagnetischen Welle kommt es bei ungleichem magnetischem und dielektrischem Verlustfaktor zu einer Verschiebung der magnetischen und elektrischen Komponente der elektromagnetischen Welle zueinander.[32] Diese Phasenverschiebung resultiert in einer Veränderung des Verlaufes des Pointingvektors der elektromagnetischen Welle und somit zu einer völligen Veränderung der Charakteristik. Damit verändert sich auch das Ansprechverhalten der Transponder auf die metamorphosierte Welle.

Bei der Darlegung der theoretischen Grundlagen muss immer beachtet werden, dass diese nur unter Heranziehung vieler idealisierender Randbedingungen Geltung haben. Diese Randbedingungen werden im praktischen Einsatz der Technologie kaum Anwendung finden, wodurch das genaue Verhalten der elektromagnetischen Wellen und damit die Ausprägung der Leistungsparameter nicht genau berechenbar sind. Daher werden zur Ermittlung der Einflüsse der Gehäusematerialien auf die Transponder Experimente durchgeführt (vgl. Kap. 6.3, S. 88).

Die Transponder senden ihre Informationen über die Modulationsseitenbänder, die neben der Hauptfrequenz liegen. Dies liegt darin begründet, dass das Signal eines Transponders um mehrere Größenordnungen niedriger ist als das Sendesignal der Antenne des Datenerfassungsgerätes, dessen Pegel relativ betrachtet z.B. bei 0 dBm liegt. Der Empfänger - das Datenerfassungsgerät - muss in der Lage sein, diese sehr schwachen Signale außerhalb der Hauptfrequenz zu erkennen. Dazu müssen diese Signale signifikant über dem Rauschpegel liegen, den die Antenne des Datenerfassungsgerätes aus der Umgebung einfängt. Umgebungen mit hohem Rauschpegel schränken so die Leistungsfähigkeit von RFID-Systemen ein.

2.2.2 Polarisation elektromagnetischer Wellen

Elektromagnetische Wellen können nach der Ausrichtung des elektrischen (E-) Vektors unterschieden werden:

- linear,
- zirkular und
- elliptisch.

Bei linear polarisierten Wellen schwingt der Endpunkt des E-Vektors auf einer Geraden und ändert ständig seinen Wert. Die elektrischen Feldlinien nehmen den gleichen Verlauf an. Aus der Kombination von zwei senkrecht zueinander stehenden linear polarisierten Wellenfeldern gleicher Amplitude mit einer Phasenverschiebung von $\pi/2$ können zirkular polarisierte elektromagnetische Wellen mit definierbarem Drehsinn erzeugt werden. Der Endpunkt des Vektors bewegt sich nun auf einer Kreisbahn um die Ausbreitungsrichtung. Aus der Kombination zweier gegensätzlich drehender zirkular polarisierter Wellen mit verschiedenen Amplituden können wiederum elliptisch polarisierte Wellen erzeugt werden.[33] [34]

Die Polarisation der Welle ist somit von der Konstellation und Ansteuerung der Sendeantenne abhängig (Antenne des Datenerfassungsgerätes). Um einen optimalen Wirkungsgrad der Polarisation zu erreichen, muss die Empfangsantenne (der Transponder im Lesefeld) die gleiche Polarisation aufweisen. Ist dies nicht der Fall, ergeben sich Polarisationsverluste in Höhe von 3 dB.[33] Sind die Polarisierungen gegensätzlich, z.B. linear horizontal und linear vertikal, ist der Polarisationsverlust unendlich groß. Es kann keine Energie übertragen werden. Dipoltransponder können grundsätzlich als linear polarisiert betrachtet werden. Einige Ausnahmen, sogenannte Doppeldipole mit einer 2D-Ausprägung der Dipole, sind ebenfalls am Markt verfügbar und werden in Kap. 2.2.5 auf S. 25 vorgestellt. Da in logistischen Umgebungen die Ausrichtung der linear polarisierten Transponder nicht immer sichergestellt werden kann, werden für Datenerfassungsgeräte meist zirkular polarisierte Antennen eingesetzt und der Polarisationsverlust von 3 dB in Kauf genommen. Bei der Verwendung von RFID-Systemen in Handgeräten wird wegen des wesentlich kompakteren Formfaktors oftmals eine linear polarisierte Antenne bevorzugt. Zunehmend werden aber auch Lesegeräte mit externen zirkular polarisierten Patch-Antennen hergestellt und funkrechtlich zertifiziert. Mit diesen Antennen wird in Handgeräten bis 500 mW Sendeleistung abgegeben, wodurch Lesereichweiten bis zu 3 m erreicht werden können.

2.2.3 Kopplungsverfahren von RFID-Systemen

Die physikalische Kopplung zwischen RFID-Datenerfassungsgerät und RFID-Transponder realisiert die Übertragung von Energie zum Transponder sowie von Daten vom Datenerfassungsgerät zum Transponder und zurück. Dazu werden elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder eingesetzt. Es wird zwischen den folgenden Kopplungen unterschieden:

- kapazitive (elektrische) Kopplung,
- induktive (magnetische) Kopplung und
- Backscatter- (elektromagnetische) Kopplung.

Die auf dem Prinzip des Plattenkondensators beruhende kapazitive Kopplung erreicht nur eine sehr schwache Kopplung und ist daher nur für sehr geringe Reichweiten (< 1 cm) geeignet.

Bei der induktiven Kopplung wird durch die Antenne des Datenerfassungsgerätes ein starkes hochfrequentes, elektromagnetisches Feld erzeugt. Dieses Feld durchdringt die Spulenfläche selbst sowie den sie umgebenden Raum. Die Wellenlängen der für die induktive Kopplung in Frage kommenden Frequenzen liegen bei ca. 2.400 m für LF- und ca. 22,1 m für HF-Systeme. Damit ist die Wellenlänge wesentlich größer als die mit den Systemen erreichbare Lesereichweite. Mathematisch betrachtet darf dieses elektromagnetische Feld bis zum Transponder als magnetisches Wechselfeld angesehen werden, da sich aus dem primär erzeugten Magnetfeld bei der Ausbreitung erst sukzessive ein elektrisches Feld durch die Induktion bildet. Die elektrische Feldstärke nimmt im Nahfeld mit dem Faktor $1/r^3$ und die magnetische Feldstärke mit dem Faktor $1/r^2$ ab. Bei der Entfernung $\lambda/2\pi$ von der Antenne beginnt sich das elektromagnetische Feld von der Antenne abzulösen. Dieser Punkt stellt näherungsweise den Übergang vom Nahfeld ins Fernfeld dar. Das Übergangsfeld wird als strahlendes Nahfeld bezeichnet und erstreckt sich bis ca. 4λ . [17] In diesem Bereich ändern sich Phase und Amplitude von magnetischem (H-) und elektrischem (E-) Feld kontinuierlich in den Ausbreitungsrichtungen und die Feldstärken nehmen mit dem Faktor $1/r^2$ ab. Da eine abgelöste elektromagnetische Welle nicht mehr auf ihre Auslöserantenne zurückwirken kann, können induktiv koppelnde Systeme nur im Nahfeld betrieben werden. Im Fernfeld befinden sich die elektrischen und magnetischen Feldkomponenten in Phase und beschreiben eine ebene Welle. Dieser Zustand wird als elektromagnetisches Feld bezeichnet. [33]

Frequenzbereich	Frequenz [Hz]	Wellenlänge [m]	Beginnende Ablösung der elektromagnetischen Welle [m]	Ende strahlendes Nahfeld / Beginn Fernfeld [m]
LF	125.000	2.398,340	381,708	9.593,359
HF	13.560.000	22,109	3,519	88,434
UHF	868.000.000	0,345	0,055	1,382

Tab. 2-2: Nahfeldgröße und typische Lesereichweiten der RFID-Frequenzbereiche

Bei der Backscatter-Kopplung wird das aus der Radartechnik bekannte System der Reflexion elektromagnetischer Wellen eingesetzt, dessen Einsatz für die Kommunikation mit passiven Komponenten - ohne eigene Energieversorgung - bereits 1948 durch Stockmann wissenschaftlich untersucht wurde. [23] Die elektromagnetischen Wellen werden von Objekten, die mindestens die halbe Wellenlänge groß sind, reflektiert (diese entspricht bei 868 MHz ca. 17 cm). Ist

dieses Objekt zusätzlich resonant, - z.B. Antennen dieser Frequenz - erhöht sich die Wirksamkeit der Reflexion.[16] Angegeben wird dies durch den Rückstrahlquerschnitt. Die Backscatter-Kopplung wird vorwiegend für UHF- und Mikrowellentechnologien eingesetzt. Diese arbeiten im Fernfeld des elektromagnetischen Feldes der Datenerfassungsgerätantennen. Die hier bedeutende Freiraumdämpfung ist geringer als die Dämpfung im Nahfeld, sodass die maximale Entfernung von der strahlenden Antenne, bei der noch ein Transponder betrieben werden kann, größer ist.

Ein wichtiger Parameter für die Versorgung eines UHF-Transponders mit ausreichend Energie ist die Zuverlässigkeit des Übertragungskanals. Durch die Mehrwegeausbreitung - die vor allem in geschlossenen bzw. in stark reflektierenden Räumen, z.B. industriellen Umgebungen, begünstigt auftritt - werden Ausbreitungsvorgänge von elektromagnetischen Wellen stark beeinträchtigt.[35] An Identifikationspunkten ist daher darauf zu achten, möglichst wenig reflektierendes Material im Erfassungsbereich zu platzieren.

2.2.4 Stehwellen

Ein weiterer interessanter Effekt der Wellenausbreitung ist die stehende Welle. Zur Reduktion der Komplexität wird im Folgenden angenommen, dass die hier betrachteten elektromagnetischen Wellen senkrecht auf Trenn- und Grenzflächen treffen. Sie spalten sich dabei im Allgemeinen in einen reflektierten und einen transmittierten Teil auf. Dabei kommt es unter bestimmten Bedingungen zum Phänomen der stehenden Wellen.

Eine stehende Welle entsteht durch die gegenläufige Überlagerung zweier Wellen gleicher Phase und Frequenz. Urheber dieser Wellen können verschiedene Quellen sein. Allerdings können auch durch die Reflexion der Wellen an Hindernissen Stehwellen entstehen. Vor allem in Umgebungen, in denen der Anteil an reflektierenden Materialien sehr groß ist, wird dieser Einfluss - in Form von großen Erfassungslöchern im eigentlichen Erfassungsbereich der Antennen - sehr deutlich messbar.

Das Maß für den Grad der stehenden Welle stellt das Stehwellenverhältnis dar (standing wave ratio = SWR). Sind hinlaufende Amplitude und reflektierte Amplitude

gleich groß, ist das Verhältnis unendlich. Gibt es jedoch keine Reflexion, ist das Verhältnis 1 und damit optimal für die Datenübertragung.[34]

2.2.5 Spezifische Entwicklungen im UHF-Bereich

Eine grundlegende Schwäche von gerichteten Funkanlagen, z.B. den UHF-RFID-Leseantennen, liegt darin, dass sich im Feld befindliche Transponder in verschiedenen Ausrichtungen zu diesen Antennen unterschiedlich gut erfassen lassen. Je nach Ausrichtung eines Transponders können unterschiedlich große Erfassungsbereiche ermittelt werden. Dieses Problem kann durch eine stark zweidimensional ausgeprägte Gestaltung der Dipolantennen für Transponder abgemildert werden. Mehrere Hersteller haben hier Lösungen realisiert.

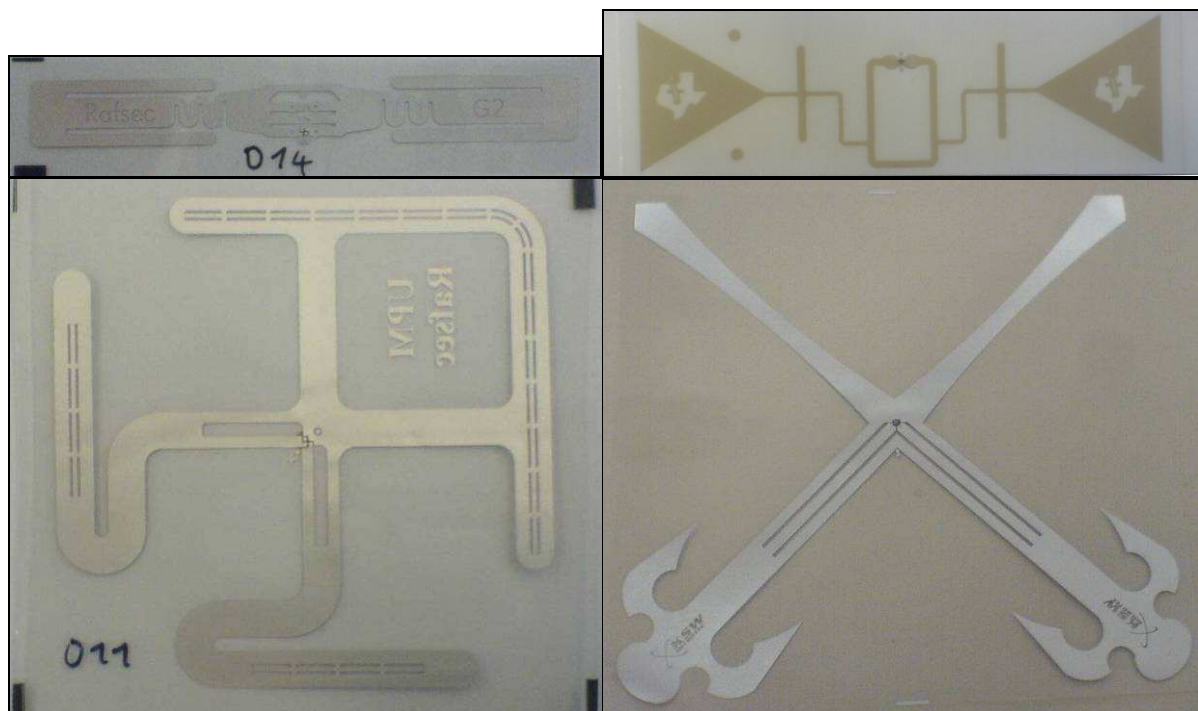


Abb. 2-8: Klassische Dipole gegenüber zweidimensional gestalteten Dipoltranspondern

Die Entwicklung von dreidimensionalen Dipolantennen für Transponder ist eine zweite, nicht unbedingt aufwendigere Lösung für dieses Problem. Eine Möglichkeit besteht in der Applikation eines Dipoltransponders auf der Ecke eines Objektes, sodass die Antenne in drei orthogonalen Ebenen liegt, wodurch eine Erfassung in allen drei Ebenen möglich ist.[36]

2.2.6 Transponder auf Metalluntergründen

Je näher metallischer Untergrund am Transponder ist, desto größer ist dessen Richtwirkung. Gleichzeitig wird aber die Resonanzfrequenz des Transponders verschoben.[37] Eine größere Richtwirkung ist grundsätzlich mit einer größeren Reichweite in dieser Richtung verbunden. Die Verschiebung der Resonanzfrequenz führt jedoch dazu, dass der Signalpegel der Trägerfrequenz sehr gering ist, weil die Mittelfrequenz nicht mehr mit der Arbeitsfrequenz übereinstimmt. Je geringer der Abstand zwischen Transponderantenne und Untergrund ist, desto größer ist die Verschiebung und desto geringer der ausgehende Signalpegel sowie die erzielbare Lesereichweite. UHF-Transponder für den Einsatz auf metallischen Untergründen sind daher immer in einem Gehäuse untergebracht, das einen Abstand zwischen der Antenne und dem Montageuntergrund herstellt.

Um die Applikation von Transpondern auf metallischen bzw. elektrisch leitenden Objekten zu realisieren, können HF-Transponder mit einer Zwischenschicht aus Ferrit aufgebracht werden. Ferrit ist nicht leitend, weist aber eine sehr große Permeabilität auf, wodurch die Transponder vom magnetischen Wechselfeld durchsetzt werden können und so eine Spannung induziert wird.

2.2.7 Bandbreite der Transponder

Die Bandbreite definiert den Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz des Transponders, in dem die Signalpegel (Level) um maximal 3 dBm abfallen (vgl. Abb. 6-7, S. 88). An der oberen und unteren Grenze der so definierten Bandbreite ist die Sendeleistung nur halb so groß wie die der Mittelfrequenz. In diesem Bereich ist der Transponder also in der Lage, mit mehr als der Hälfte der maximalen Leistung zu senden.

Die Funkvorschriften der verschiedenen Regionen der Welt schreiben nicht einheitlich den für Europa festgelegten Bereich von 865 bis 868 MHz für die UHF-Technologie fest. Vielmehr reichen die in den Regelungen definierten Frequenzbereiche von 865 MHz in Europa bis 970 MHz in Indien. Für den derzeit wichtigsten Einsatzbereich von UHF-Transpondern, der Optimierung von Supply Chain-Prozessen gerade in der globalisierten Logistikbranche, ist es sinnvoll, dass UHF-Transponder sowohl in Europa als auch weltweit funktionsfähig sind. Dazu sollten die Transponder eine Bandbreite von ca. 100 MHz aufweisen. Die

Herausforderung für die Transponderhersteller besteht also darin, möglichst breitbandige Transponder herzustellen.

In der Praxis wird noch eine weitere, weniger exakt abgrenzbare Definition der Bandbreite genutzt. Die Bandbreite eines Transponders wird dabei durch den Einsatz verschiedener Lesegeräte und Antennen sowie der Nutzung aller zugelassenen Frequenzen und der so erzielbaren Erfassungsreichweite ermittelt. Eine individuell festlegbare Mindesterfassungsreichweite, anstatt des oben beschriebenen 3 dBm Signalpegelabfalls, begrenzt hier die Bandbreite. Wie die weiteren Untersuchungen zeigen werden (vgl. Kapitel 6.3, S. 88), ist dies durchaus gerechtfertigt, da Transponder auch weit außerhalb der Bandbreite noch vertretbare Erfassungsreichweiten erzielen können.

2.3 Werkstoffe zur Herstellung von Transpondergehäusen

Ziel dieses Kapitels ist es, Werkstoffe zur Herstellung von Gehäusen für Transponder (also Tags) anhand bekannter Werkstoffparameter zu ermitteln und deren für den Einsatz als Taggehäusematerial wesentlichen Eigenschaften zu beschreiben.

Da RFID-Transponder über Funk, also elektromagnetische Wellen, arbeiten, können für die Herstellung von Gehäusen Eisenwerkstoffe und Nichteisenmetalle aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit ausgeschlossen werden.

Außerdem kommen anorganische Werkstoffe wie Keramik, Glas und Halbleiter aufgrund von wirtschaftlichen und verarbeitungstechnischen Gesichtspunkten für die Taggehäuseherstellung nicht in Frage.

Damit bleibt noch die große Gruppe der Kunststoffe (auch als Polymere, Plastwerkstoffe oder Plaste bezeichnet) in Form von Thermoplasten, Duroplasten und Elastomeren sowie in Form von Schäumen und faserverstärkten Kunststoffen. Sie werden in dieser Arbeit deshalb als die entscheidende Werkstoffgruppe untersucht.

Aus Übersichtsgründen werden die hierfür wichtigen Eigenschaften in nur zwei große Gruppen untergliedert. Das sind zum einen die Werkstoffeigenschaften, die den Tag und damit auch den Transponder gegen die zu erwartenden Umgebungsbelastungen funktionsfähig halten und zum anderen die elektrischen Eigenschaften, die über das letztendliche Ziel einer hohen Erfassungsreichweite entscheiden.

2.3.1 Mechanische und mediale Eigenschaften

2.3.1.1 Festigkeiten

Die Festigkeit wird allgemein definiert als die Widerstandskraft, die feste Stoffe einer Verformung oder Trennung in Form einer mechanischen Zerstörung entgegensetzen. Es werden im Allgemeinen folgende Arten der Festigkeit unterschieden: Biege-, Druck-, Reiß-, Zug- und Scher- bzw. Schubfestigkeit. Je nach Form der Beanspruchung können mithilfe genormter Prüfverfahren die einzelnen Festigkeiten von Werkstoffen ermittelt werden.[38] [39] Die jeweilige Festigkeit wird als Spannung (Kraft pro Fläche) definiert.

Das Verhalten von Werkstoffen bei Zug- und Druckbelastungen kann u.a. durch Spannungs-Dehnungs-Kurven oder Kraft-Weg-Kurven dargestellt werden.

Aus diesen Kurven können zumindest die maximale Verformung (mm), die Bruchlast (N oder kN), die Festigkeit (MPa), die Bruchdehnung (% oder dimensionslos) und der E-Modul (MPa oder GPa) sowie bei mehreren Versuchen statistische Kennwerte wie Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert sowie der Variationskoeffizient ermittelt werden.

Die o.g. Festigkeitsarten werden bei einer relativ niedrigen Belastungsgeschwindigkeit (z.B. $v = 1 \text{ mm/min}$) ermittelt. Es sind statische Kennwerte, die aber wenig über die Belastbarkeit (Festigkeit) bei schlagartiger Beanspruchung aussagen.

Um darüber Aussagen zu erhalten, ermittelt man die Schlagzähigkeit. Sie ist ein Maß für die Fähigkeit des Werkstoffes, Stoßenergie und Schlagenergie zu absorbieren, ohne zu brechen. Gemessen wird die Schlagzähigkeit mit Hilfe eines Schlaghammers. Sie wird berechnet als das Verhältnis aus Schlagarbeit und Probekörperquerschnitt (Maßeinheit kJ/m^2). Je höher die Schlagzähigkeit, desto größeren Schlagkräften kann der Werkstoff, ohne zu brechen, widerstehen. Diese Eigenschaft ist also für Tags wichtig, die an exponierten Stellen ungeschützt angebracht werden müssen.

Ein weiteres Maß für die Sicherheit stellt die Kerbschlagzähigkeit dar, die an einer gekerbten Probe gemessen wird. Aufgrund der Spannungskonzentration um die Kerbe (Riss) liegen die Werte deutlich niedriger als bei der Schlagzähigkeit.[40] Der Vergleich zwischen Schlagzähigkeit und Kerbschlagzähigkeit ermöglicht eine

Aussage über Kerbempfindlichkeit eines Werkstoffes. Gerade bei der Berücksichtigung von Montagemöglichkeiten, wie Langlöchern, ist diese spezielle Eigenschaft von Werkstoffen zu berücksichtigen, um im schlimmsten Fall ein unbemerktes Abreißen des Kennzeichnungsträgers während einer Belastung zu vermeiden.

Hohe Materialfestigkeitswerte können mit hoher mechanischer Belastbarkeit des untersuchten Werkstoffes gleichgesetzt werden. Eine hohe Festigkeit muss jedoch nicht unbedingt mit einer hohen Steifigkeit einhergehen (vgl. Kap. 2.3.1.2, S. 30).

Wendet man sich von dem eigentlichen, in sich quasi-homogenen Werkstoff ab und untersucht z.B. Tags mit integriertem Inlay auf ihre Belastbarkeit hin, wird mit Kraft-Weg-Kurven gearbeitet, um die Verformung bis zum Bruch bei entsprechender Kraft zu bestimmen. Es handelt sich hier bereits um eine Bauteilprüfung und nicht mehr um die Ermittlung eines reinen Festigkeitswertes.

Abb. 2-9 zeigt beispielhaft Kurvenverläufe verschiedener Tags unter Biegebelastungen. Dabei zeigen sich die Unterschiede der verwendeten Werkstoffe sehr deutlich. Die wichtigsten Punkte des Kurvenverlaufs sind:

- $\Sigma = 0$: Beginn der elastischen Verformung,
- R_p : Beginn der plastischen Verformung und
- $R_m > R_p$: Bruch der Probe.

Die beiden Glas-Tags zeigen das für Glas typische spröde Verhalten, $R_p = R_m$. Nach einer sehr kleinen elastischen Verformung kommt es direkt zum Bruch und damit zum Abfall der Spannung. Das Diagramm zeigt außerdem, dass bereits ein Kunststoffgehäuse zu einer deutlichen Steigerung des elastischen Verhaltens beiträgt, da der Nagel-Tag ein in einer Kunststoff-Nagelform eingegossener kurzer Glas-Tag ist. Besonders interessant bei der Untersuchung der Belastbarkeit ist die Frage, bis zu welcher Belastung der Transponder im Tag noch funktioniert. Die hier untersuchten Transponder waren auch nach dem Bruch der Probe noch funktionsfähig. Im Realbetrieb wäre der Bruch des Gehäuses jedoch dem Versagen des Transponders gleichzusetzen, auch wenn der Transponder im Tag nicht sofort zerstört ist. Der Bruch des Tags führt aber dazu, dass der Transponder den Umwelteinflüssen ausgesetzt wird, vor denen er durch die Umhausung geschützt

werden sollte. Diese Einflüsse werden den Transponder kurzfristig außer Kraft setzen.

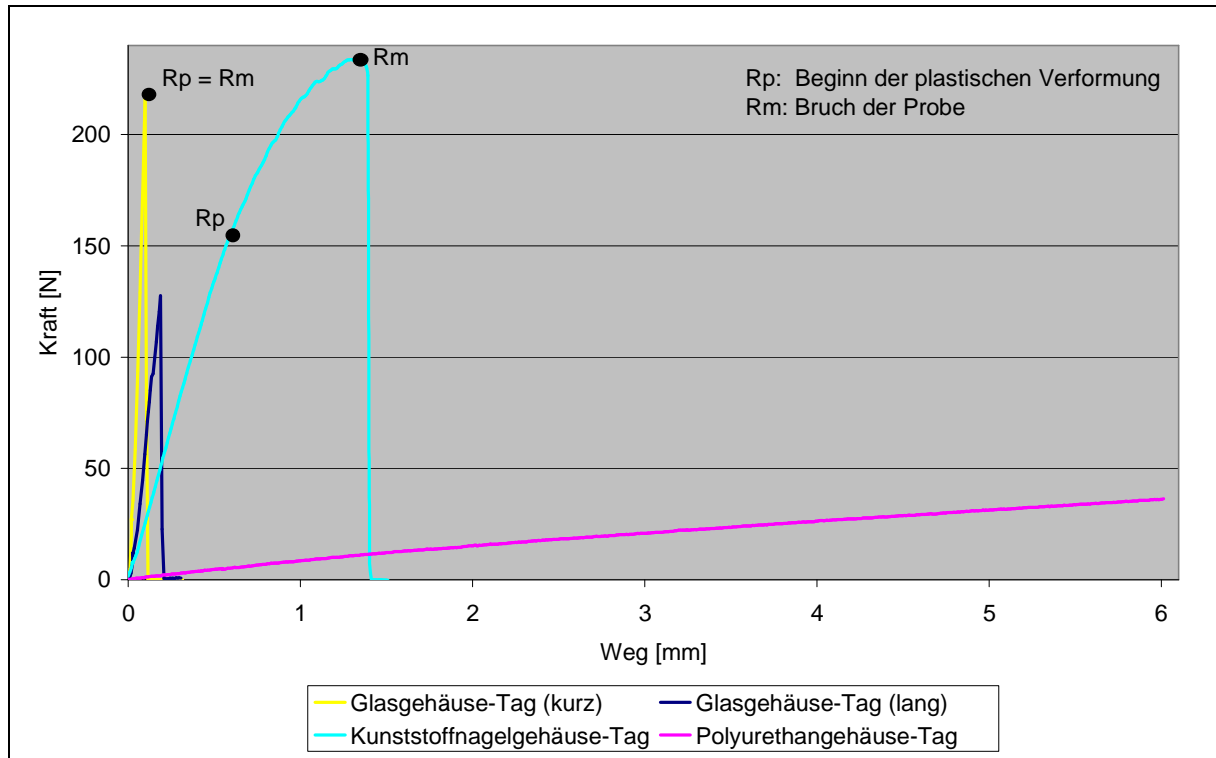


Abb. 2-9: Kraft-Weg-Diagramm verschiedener Tagtypen mit integriertem Transponder

2.3.1.2 Steifigkeiten

Aus Sicht der mechanischen Beständigkeit gibt die Steifigkeit eines Werkstoffes den Widerstand gegen die elastische Verformung an. Der E-Modul beschreibt dabei den Zusammenhang zwischen Dehnung und Spannung bei der elastischen Verformung im linearen Bereich. Ist die Dehnung im Verhältnis zur aufgetragenen Spannung sehr gering und damit der Anstieg der Geraden im Kraft-Weg-Diagramm sehr groß, handelt es sich um einen steifen Werkstoff. Dehnt sich der Werkstoff jedoch sehr stark, ist der Anstieg der Geraden flach und der E-Modul sehr gering. Man unterscheidet oft die Steifigkeiten in:

- Zugsteifigkeit,
- Biegesteifigkeit,
- Drucksteifigkeit und
- Torsionssteifigkeit.

Da diese Kennwerte letztlich aus den Kraft-Weg-Diagrammen, wie die o.g. Festigkeiten ermittelt werden, spricht man auch hier von statischen Kennwerten und einem rein elastischen Verhalten, wenn die Linie wirklich eine Gerade ist und keine Kurve. In der relativ kurzen Prüfzeit von 2 bis 5 min je nach Prüfgeschwindigkeit und Prüfkörperlänge sind keine Aussagen über zeitabhängige Steifigkeiten möglich.

Für den Tagwerkstoff sind besonders die Steifigkeiten in Abhängigkeit von einer längeren als der o.g. Belastungszeit (Kriechen) interessant, zumal die Kunststoffe von Hause aus zum Kriechen neigen. Die Reaktion der Kunststoffe unter Kriechbelastung setzt sich aus einem viskosen und einem elastischen Anteil zusammen. Dabei ist der viskose Anteil irreversibel und zeitverzögert. Der elastische Anteil setzt sich aus einem energieelastischen und damit zeitunabhängigen sowie entropieelastischen (zeitverzögerten) Anteil zusammen, wie in Abb. 2-10 dargestellt.

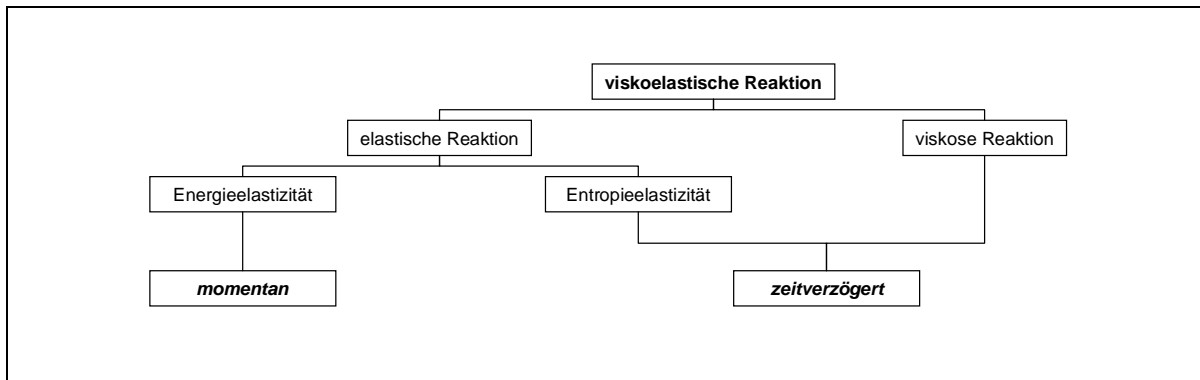


Abb. 2-10: Zusammensetzung der viskoelastischen Reaktion [41]

Tags werden mechanischen Langzeitbelastungen ausgesetzt. Eine bleibende Verformung sollte jedoch nicht auftreten. Bei der Wahl des Werkstoffes für den Tag ist daher darauf zu achten, dass der Anteil der viskosen Reaktion möglichst gering ist und der Werkstoff demnach eine der zu erwartenden Beanspruchung entsprechende hohe Kriechfestigkeit aufweist.

Durch die Ermittlung des Gesamtsteifigkeitsverhaltens von Bauteilen - hier als Maß des Anstieges der Kraft-Weg-Kurven von Inlays - und dessen Vergleich verschiedener Inlays miteinander ergeben sich interessante Aussagen bzgl. Verwendbarkeit in Tags. Abb. 2-11 zeigt die Kraft-Weg-Kurven von sieben Inlays bei einem Zugversuch. Die Inlays wiesen eine starke Dehnbarkeit bei Erhalt der Funktion des Transponders auf. Die funktionelle Zerstörung trat zwischen 90 und 115 N bzw.

bei einer Verformung von 12 bis 19 mm auf. Die Hardtags wurden hingegen nur an ihren Befestigungspunkten bei 1.200 bzw. 1.600 N zerstört.

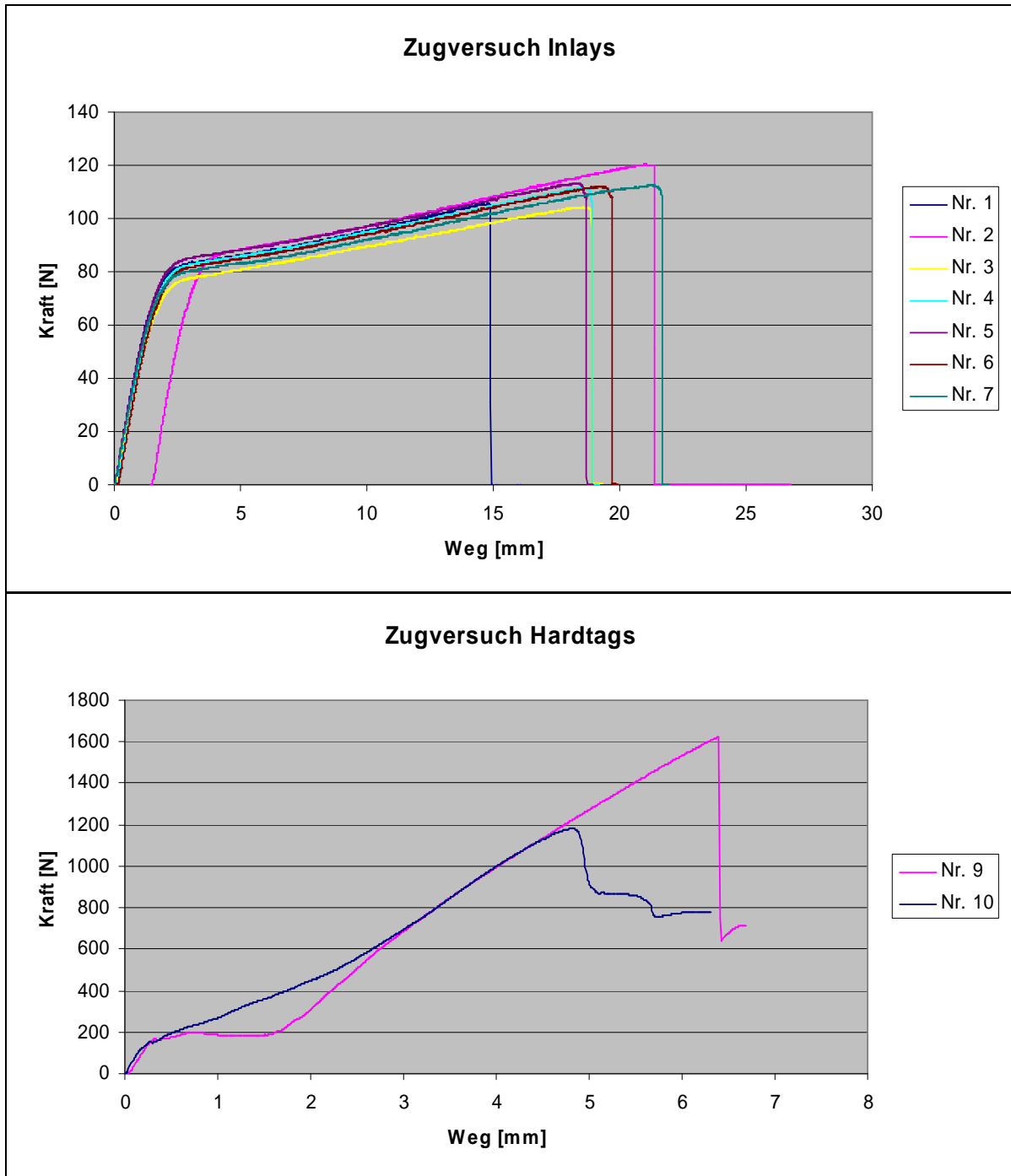


Abb. 2-11: Zugversuche von sieben alternativ einsetzbaren Inlays (Nr. 1 bis 7) und zwei Hardtags (Nr. 9 und 10)

Tags mit einem massiven Kunststoffgehäuse, z.B. aus Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) (Nr. 9 und 10), halten wesentlich größere Kräfte aus.

Es ist zu erkennen, dass die Transponder ohne Schutz sehr empfindlich sind. Ein Gehäuse muss demnach dafür sorgen, dass die auftretenden Belastungen nicht auf den Transponder übergreifen.

Um grundsätzlich ein sich wenig formänderndes Gehäuse für das Inlay zu realisieren, sollte ein möglichst steifes Material verwendet werden. Bei der Materialauswahl muss demnach der E-Modul des Werkstoffes herangezogen werden.

In erster Betrachtung wird mit einem größeren E-Modul des Tagwerkstoffes als die Pseudosteifigkeit (Anstieg der Kraft-Weg-Kurve) des Inlays gewährleistet, dass auch bei einer wirkenden Zugkraft von deutlich über 60 N nur eine geringe Dehnung des Tags auftritt, wodurch nur eine geringe Relativbewegung zwischen Transponder und Tag resultiert.

Das folgende Beispiel zeigt, dass eine Auswahl nur nach Werkstoffkennwerten letztlich nicht genügt, sondern man das gesamte „Bauteil“ (Inlay mit Gehäuse) betrachten muss. In Abb. 2-12 wird ein Tag auf eine kombinierte Last hin untersucht.

Dargestellt wird eine Dreipunktbiegung mit einer zusätzlichen axialen Zugbelastung. Die mittige Krafteinleitung der Biegelast wird auf den Tag in Höhe des Chips des Inlays aufgesetzt. Die dadurch entstehende Druckkraft bewirkt eine Kompression des Tags in Richtung der angreifenden Kraft. Der Chip baut jedoch, wenn auch nur ca. 180 µm out off plane auf dem Inlay auf. Ist der Transponder in das Gehäuse eingegossen, drückt in diesem Fall der Druckstempel über die Hülle als Kraftübertragung auf den Chip und kann ihn dadurch zerstören. Eine Zerstörung an dieser Stelle führt zum Versagen des Tags. Um eine Zerstörung des Chips unter diesem Lastfall zu vermeiden, sollte deshalb die Hülle wesentlich größer als der Transponder gestaltet sein, damit die auftretende Verformung der Hülle nur so groß ist, dass sie nicht den Chip berührt.

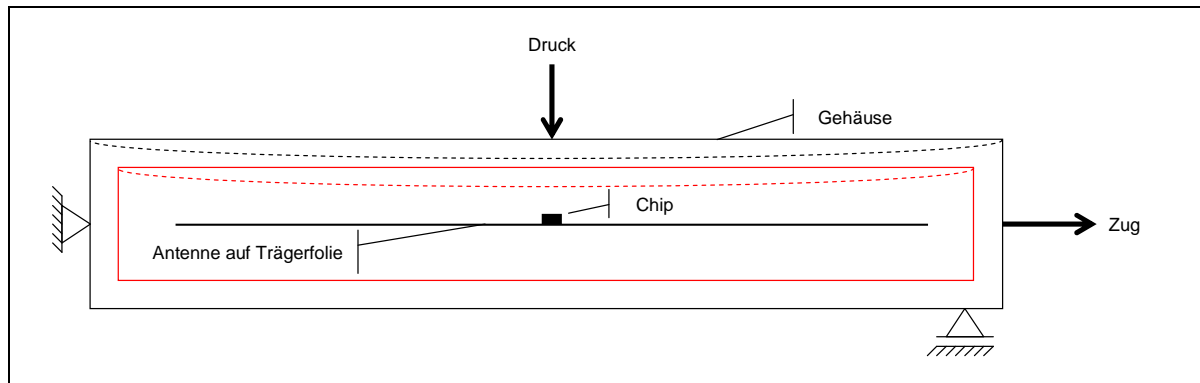


Abb. 2-12: Aufbau eines Tags und mögliche Belastungen durch Druck und Zug (kombinierte Zug-Biegebelastung, Verformung unter Last als gestrichelte Linie dargestellt)

Daran ist erkennbar, dass reine Werkstoffkennwerte nicht immer und sofort zu Komplettlösungen führen. In Kap. 4 auf S. 67 wird darauf explizit eingegangen.

2.3.1.3 Mediale Beanspruchungen

Die chemischen bzw. medialen Eigenschaften von Werkstoffen beschreiben das Verhalten von Werkstoffen, besonders das Verhalten der Werkstoffoberflächen, mit deren chemischer Umgebung. Dabei sind Oberflächen eine besondere Form von Grenzflächen zwischen fester und gasförmiger oder flüssiger Phase, in besonderen Fällen auch zwischen fester Phase und Vakuum. Das chemische Verhalten kann ebenfalls für Grenzschichten im Werkstoffgefüge betrachtet werden, z.B. an Korngrenzen, was für Fügeprozesse wie Kleben und Löten interessant ist, für die hier vorliegende Betrachtung aber ausgeklammert werden kann.[38]

Das Versagen eines Werkstoffes aus chemischer Beanspruchung kann auch durch Korrosion oder Verzundern verursacht werden.

Korrosion ist dabei ein sehr weit gefasster Begriff. Es ist „die unerwünschte Reaktion, die zur Entfernung von Atomen von der Oberfläche des Werkstoffs führt.“[38] Eine wichtige Spezialform ist die Spannungsrisskorrosion, wenn neben den chemischen Belastungen gleichzeitig innere oder äußere Zugspannungen auf den Werkstoff wirken. Neben den in dieser Arbeit nicht näher betrachteten Metallen tritt Korrosion vor allem bei Elastomeren auf, die über reaktionsfähige Seitengruppen verfügen.[38] Diese Werkstoffe sollten daher für die Gehäuse von Transpondern in rauen Umgebungen vermieden werden.

Bestimmte chemische Substanzen können Kunststoffe auf zwei verschiedene Arten zerstören. Entweder sie diffundieren in den Werkstoff und lösen ihn auf oder sie

reagieren mit ihm und zerstören ihn dabei. Durch den Zusatz von Stabilisatoren können derartige Reaktionen aufgehalten werden, wodurch Werkstoffe mit höherer chemischer Beständigkeit hergestellt werden können. Generell gelten Thermoplaste als sehr beständig gegenüber Säuren und Laugen. Duroplaste weisen eine hohe Beständigkeit gegenüber organischen Lösungsmitteln auf.[42]

Die verfügbaren Beständigkeitstabellen geben grundsätzlich einen Überblick über die Leistungsfähigkeit eines Kunststoffes (z.B. [43]). Für spezielle Beanspruchungen, die aus der Formgebung (innere Spannungen), durch mechanische Belastungen oder gar aus Beanspruchungskombinationen aus mechanischer Beanspruchung, Wärme, UV-Strahlung und Licht resultieren, können jedoch keine sicheren Aussagen getroffen werden.[42]

Außerdem werden vereinzelt Beständigkeiten gegen Meerwasser angegeben. Die Beanspruchung ist im Wesentlichen von der Konzentration des Salzes abhängig, die von Meer zu Meer unterschiedlich sein kann. Um eine Aussage über die Beständigkeit eines Materials gegen Meerwasser machen zu können, muss bei fehlender Angabe im Datenblatt ein entsprechender Test vorgenommen werden (vgl. Kap. 5.2, S. 76).

2.3.2 Elektrische Eigenschaften

2.3.2.1 Elektrische Leitfähigkeit und spezifischer elektrischer Widerstand

Die wichtigste elektrische Eigenschaft eines Werkstoffs ist die elektrische Leitfähigkeit, weil nach ihr die Werkstoffe in Isolatoren, Halbleiter, Leiter und Supraleiter eingeteilt werden können. Diese Einteilung kann mithilfe des auf der Quantenmechanik beruhenden Bändermodells von Festkörpern erklärt werden. An dieser Stelle soll aber auf Quellen verwiesen werden, die sich explizit mit diesem Thema auseinandersetzen.[44] [45] Die Leitfähigkeit σ ermöglicht den Transport der elektrischen Ladung im Material und verhält sich umgekehrt proportional zum spezifischen elektrischen Widerstand ρ .

Werkstoffe mit sehr geringer elektrischer Leitfähigkeit können sowohl als Isolatoren als auch als Dielektrika bezeichnet werden. Diese Arbeit folgt der Bezeichnung der Dielektrika, die sich je nach Eigenschaften für die Anwendung als Isolatoren oder in Kondensatoren eignen.[44]

2.3.2.2 Elektrostatische Auf- bzw. Entladung

Isolatoren mit ihrer sehr geringen elektrischen Leitfähigkeit sind z.B. durch Reibung in der Lage, sich aufzuladen und diese Ladung für lange Zeit zu halten.[38] Elektrostatische Auf- und Entladung tritt materialbedingt insbesondere bei der Be- und Verarbeitung von Kunststoffen auf, die vorwiegend für den Einsatz als Gehäuse für Transponder in Frage kommen. Statische Elektrizität ist definiert als eine in sich ruhende elektrische Ladung, die gewöhnlich durch Reibung, Kontakt und Trennung von Materialien oder Influenz⁵ erzeugt wird.[41] Sie resultiert aus der Anziehung ungleicher Ladungen und der abstoßenden Wirkung gleichartiger Ladungen. In manchen Anwendungen ist dies jedoch nicht erwünscht und sogar schädlich. Hier ist eine antistatische Behandlung möglich. Durch Einbringen von Graphit oder Metallpulver in den Kunststoff, durch Erhöhung der Leitfähigkeit im gesamten Volumen, durch Herstellung halbleitender Kunststoffe oder durch die Behandlung der Oberfläche, durch Aufsprühen eines Überzugs zur Bindung der Luftfeuchtigkeit mittels Adhäsion oder durch Verringerung des Oberflächenwiderstandes kann das statische Verhalten gemindert werden. Diese Behandlungen führen zur Leitfähigkeit der Materialien, was wiederum zur Minderung der Leistungsfähigkeit der damit verpackten Transponder führen kann.

Die Gefahren durch elektrostatische Entladungen für Transponder können bereits bei der Entwicklung von Chips für Transponder berücksichtigt werden. So können spezielle Schutzmechanismen in das Chipdesign eingebracht werden, wodurch große sowohl positive als auch negative Spannungen, die über die Antennen den Chip beeinflussen können, abgeleitet werden.[46]

Schließt man eine statische Aufladung durch Reibung, Kontakt und Trennung von Materialien aufgrund der Prozessgestaltung aus, kann eine statische Aufladung der Gehäuse von Transpondern ausschließlich durch Influenz erfolgen. Für die Gehäuse der Transponder ist vor allem wichtig, dass diese nicht durch das elektromagnetische Feld der Datenerfassungsgerätantennen aufgeladen werden. Aus solch einer Aufladung kann eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit folgen, da derartige Aufladungen die Lesfelder beeinträchtigen und sich so die Lesbarkeit verschlechtert

⁵ Influenz ist die Aufladung, die durch das Einwirken von elektrischen Feldern in einem Material erfolgt.

bzw. keine Erfassung mehr möglich ist. Begründet liegt das in den elektrischen Feldern, die durch eine elektrostatische Aufladung aufgebaut werden. Diese können in leitfähigen Materialien Ladungsverschiebungen hervorrufen (influenzieren).[47] Da leitfähige Materialien für die Gehäuse der Transponder ausgeschlossen wurden, kann die statische Aufladung der Gehäuse durch Influenz ebenfalls ausgeschlossen werden.

Die entscheidenden Ursachen für elektrostatische Aufladung können für die Gestaltung von Gehäusen als irrelevant angesehen werden. Eine Aufladung durch das elektrische Feld der Datenerfassungsgeräntennen kann aufgrund der sehr geringen Leistungen (ca. 2 Watt effective radiated power (ERP)) ausgeschlossen bzw. als vernachlässigbar angesehen werden.

Eine Einteilung der Werkstoffe nach der elektrischen Leitfähigkeit zeigt, dass ausschließlich Dielektrika als Gehäusematerialien für Transponder zur Auswahl stehen. Leiter und Halbleiter würden eine Dipolantenne oder eine Spulenantenne kurzschließen und so eine Funktionsunfähigkeit erreichen. Im Weiteren wird daher ausschließlich auf die elektrischen Eigenschaften von Dielektrika eingegangen.

2.3.2.3 Elektrische Polarisierung von Dielektrika

Eine grundlegende Eigenschaft von Dielektrika ist die Polarisierung. Diese ermöglicht es, durch den Einfluss eines elektrischen Feldes den Werkstoff zu polarisieren oder permanente Dipole im Werkstoff auszurichten. Es können vier verschiedene Polarisierungsmechanismen unterschieden werden:[44]

- elektronische Polarisierung: durch Auslenkung von Atomkern und -hülle induzierte Dipole
- ionische Polarisierung: durch Auslenkung von Kationen und Anionen induzierte Dipole
- Orientierungs-Polarisierung: Ausrichtung von permanenten Dipolen
- Raumladung-Polarisierung: Ansammlung von freien Ladungsträgern an isolierten Korngrenzen

Die aus einem anliegenden elektrischen Feld resultierende elektrische Polarisierung eines Werkstoffes (auch Suszeptibilität genannt) kann sich additiv aus verschiedenen Mechanismen zusammensetzen. Bei den Werkstoffen Polystyrol (PS) und

Polyethylen (PE) setzt sie sich aus der elektronischen und der ionischen Polarisierung zusammen. Dennoch werden diese Materialien wegen ihrer nur sehr geringen Polarisierbarkeit als unpolare Kunststoffe bezeichnet.[44]

2.3.2.4 Dielektrizität

Die Größe der Kapazität eines definierten Kondensators hängt von dem Material ab, das sich zwischen den Platten befindet. Die niedrigste Kapazität weist der Kondensator auf, wenn keine Materie vorhanden ist. Die Eigenschaft des Werkstoffs, die das Verhältnis der Kapazität mit einem bestimmten Material zur Kapazität der Luft oder des Vakuums angibt, heißt Dielektrizitätskonstante ϵ . Diese nimmt für Kunststoffe Werte von 2 bis 5 an. Für keramische Stoffe kann sie bis zu 80 erreichen. Es können auch Kunststoffe mit variablem Porengehalt hergestellt werden, deren ϵ von 1 an mit abnehmendem Porengehalt kontinuierlich zunimmt.

Die Wirkung der Dielektrika beruht auf der Polarisierbarkeit der Moleküle. Je größer die Polarisierbarkeit, desto größer ist ϵ . Auch in symmetrischen Molekülen wird ein Dipolmoment durch das äußere Feld erzeugt (z.B. Polyethylen $\epsilon=2$). Höhere Werte besitzen aber die Stoffe, die aus unsymmetrischen Molekülen aufgebaut sind. Diese besitzen auch ohne äußeres Feld ein Dipolmoment, wie die Polyamide.

2.3.2.5 Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$

Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ begründet sich in Wechselfeldern mit Frequenzen oberhalb von 100 Hz in verschiedenen Verlustmechanismen. Zum einen müssen permanente Dipole ihre Ausrichtung dem Wechselfeld anpassen. Zum anderen werden die induzierten Dipole im Wechselfeld verschoben. Diese Effekte rufen Reibungsverluste hervor, die in Wärme umgesetzt werden.[44] Es liegt nun nahe, dass Materialien ohne permanente Dipole und mit einer geringen Polarisierbarkeit auch niedrige dielektrische Verluste hervorrufen. Dies lässt sich anhand von Werten bestätigen: Unpolare Kunststoffe wie PS und PE weisen ein $\tan \delta$ von unter 0,0005 im Vergleich zu polaren Kunststoffen wie Polyvinylchlorid (PVC) und Polyester mit einem $\tan \delta$ von 0,001 bis 0,02 auf.[38]

2.3.2.6 Dielektrische Verlustzahl ϵ''

Das Produkt aus ϵ und $\tan \delta$ wird dielektrische Verlustzahl ϵ'' genannt und wird hier nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt, da dieser Parameter in einigen Quellen

statt der Differenzierung nach Dielektrizität und dielektrischem Verlustfaktor vorgenommen wird. [38]

2.3.2.7 Frequenzabhängigkeit von Dielektrizitätszahl und dielektrischem Verlustfaktor

Dielektrizitätszahl und dielektrischer Verlustfaktor verhalten sich in gleicher Weise. Beide sind außerdem durch die Frequenz der anliegenden Spannung bestimmt. Dabei resultiert die Frequenzabhängigkeit von ϵ aus den in den jeweiligen Materialien auftretenden Polarisationsmechanismen (vgl. Kap. 2.2.2, S. 21). Die Abhängigkeit von $\tan \delta$ ergibt sich aus der Resonanz der Eigenfrequenz der Dipole des Materials und der Frequenz des Wechselfeldes, bei der besonders hohe Reibungsverluste auftreten. Diese Maxima treten immer dann auf, wenn einer der Polarisationsmechanismen ausfällt und somit ϵ stark abfällt.[48] Dieses Verhalten ist für jedes Material verschieden, sodass keine konkrete, allgemein gültige Aussage über den Verlauf der Frequenzabhängigkeit gemacht werden kann. Angaben zu den beiden Kennwerten sind immer mit der Frequenz gekennzeichnet, bei der diese ermittelt wurden. Für die Gehäuse von Transpondern sollten demnach Materialien verwendet werden, deren Eigenfrequenz der Dipole außerhalb der Betriebsfrequenz des RFID-Systems liegt. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass möglichst wenig polare bis unpolare Werkstoffe eingesetzt werden sollten.

2.3.2.8 Durchschlagfestigkeit

Die Durchschlagfestigkeit beschreibt die kritische Feldstärke E_D eines Dielektrikums, ab welcher der Stromfluss durch das Dielektrikum nahezu ohne Widerstand fließt. Dieses Verhalten tritt erst ab einer bestimmten angelegten Spannung auf, die jedoch auch für gleiche Stoffe nicht exakt bestimmt werden kann. Hier spielen vor allem Verunreinigungen und Inhomogenitäten des Materials sowie äußere Einflüsse – wie Feuchtigkeit, mechanische Spannungen und chemische Einwirkungen, die gerade im Anwendungsgebiet robuster Transponder relevant sind – eine wesentliche Rolle. Allgemeingültig ist jedoch, dass die Durchschlagfestigkeit mit zunehmender Temperatur und steigender Frequenz abnimmt.[44] Zur genaueren Beurteilung von Isolatoren können Prüfvorschriften des Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) herangezogen werden.[49] Die Werte der Durchschlagfestigkeit liegen bei Raumtemperatur im Bereich von 3 kV/mm (Luft) bis 100 kV/mm (technische Gläser). Diese Werte werden in der Luftschnittstelle von

RFID-Systemen nicht annähernd erzeugt (vgl. Kap. 2.2, S. 19), wonach diese als Quelle für derartige Beanspruchungen ausgeschlossen werden können. Die Durchschlagfestigkeit ist jedoch im Zusammenhang mit der elektrostatischen Aufladung von Kunststoffen noch einmal genauer zu betrachten.

3 Erstellung eines Anforderungskataloges für den Einsatz von Transpondern in rauen Umgebungen

Wie bereits in der Einleitung dargestellt ergeben sich aus dem Einsatz von Transpondern in rauen Umgebungen Anforderungen die wie in Abb. 3-1 dargestellt und aufgliedert werden können.

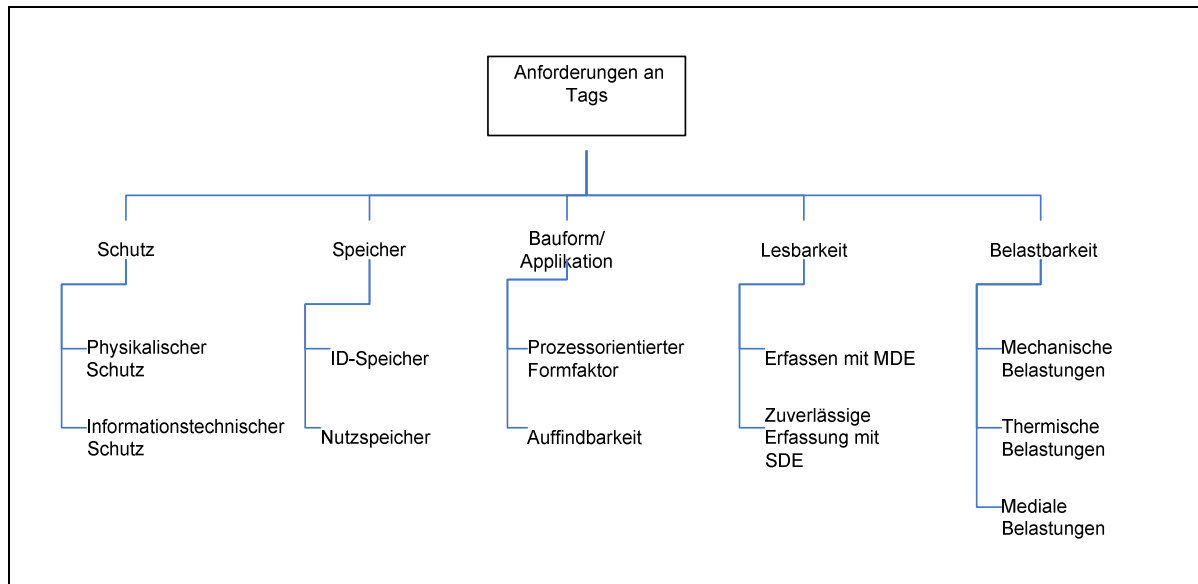


Abb. 3-1: Anforderungen an Tags

Die Schutzanforderung kann dabei in zwei Teilbereiche untergliedert werden. Der physikalische Schutz berücksichtigt die sichere Anbringung am zu identifizierenden Objekt. Einerseits muss die sichere Anbringung einem Ablösen des Tags durch die Prozessbedingungen entgegenwirken. Andererseits soll das mutwillige Entfernen mit der Absicht auf Manipulation verhindert oder zumindest leicht erkennbar gemacht werden. Eine mögliche Indizierung stellt z.B. eine Sollbruchstelle dar, die einen Tag beim Ablösen zerstört.

Der informationstechnische Schutz umfasst die Verfügbarkeit von Sicherheitsmechanismen wie Verschlüsselung der Kommunikation und Sicherung der Daten auf dem Tag durch Passwörter oder weitere Sicherheitsverfahren.

Um einen Tag eindeutig identifizieren zu können, muss dieser über einen Speicherbereich zur Aufnahme einer Identifikationsnummer verfügen. Die benötigte Speichergröße ist von den anzuwendenden Datenstandards abhängig. Identifikationsnummern haben heute Längen von 64 Bit bis zu 256 Bit. Sollen zusätzliche Daten auf dem Tag gespeichert werden, sollte er über einen zusätzlichen

Speicherbereich verfügen. Je nach Definition des Systems können die spezifischen Daten in Form eines Schlüssels oder als Text abgelegt werden. Die Ablage als Text erfordert jedoch deutlich mehr Speicherplatz, weshalb die Ablage als Schlüssel oder Referenz sinnvoller ist.

Wie bereits beschrieben, muss der Tag so angebracht werden, dass die Verbindung den Prozessbedingungen standhält und eine versuchte Manipulation anzeigt. Ist ein direkter Zugriff auf den Tag notwendig, z.B. zur Wartung, muss er leicht auffindbar sein. Auch ist auf die Orientierung des Transponders zu achten. So muss er derart angebracht werden, dass die Lesbarkeit gewährleistet ist.

Die Form und Größe des Transponders muss den Prozessen angepasst sein und darf diese nicht behindern. Während der Vorteil von Etiketten in der flachen Bauform liegt, sind Tags zwar größer aber auch gleichzeitig robuster. Generell lässt sich sagen, dass sich für jeden Anwendungsfall eine eigene Bauform entwickeln lässt, was je nach Anforderung mit unterschiedlichem Aufwand verbunden ist.

Der Transponder muss unter den gegebenen Umgebungsbedingungen auszulesen sein. Je nach Anwendungsfall kann das Auslesen durch Wasser, Metall oder zusätzlichen Materialeintrag erschwert werden.

Ein weiteres Kriterium für die Lesbarkeit ist die Lesereichweite des Transponders sowie dessen Lageabhängigkeit.

Der Tag muss thermischen, medialen und mechanischen Belastungen, die aus der Anwendung resultieren, standhalten. So können beispielsweise bei der Metallproduktion sehr hohe, in Tiefkühlagern hingegen niedrige Temperaturen auftreten. Bei Eis und Frost darf das Material nicht porös werden oder auf andere Art Wasser aufnehmen. Zu den mechanischen Belastungen zählen z.B. Zug-, Druck-, Biege- und Torsionsbelastungen.

Außerdem können mit der Anwendung verschiedene mediale Belastungen auftreten, z.B. UV-Strahlung oder laugen- bzw. säurehaltige Gase und Flüssigkeiten, denen der Tag widerstehen muss, ohne seine Funktionsfähigkeit einzuschränken.

Aufgrund technisch-physikalischer Gesetzmäßigkeiten ergeben sich wie in Kap. 2 ab S. 5 Zielkonflikte zwischen den einzelnen Anforderungen. So schränken z.B. robuste Gehäuse die Lesereichweiten sowie das Erfassungsverhalten der Transponder allgemein ein, womit schon der wesentlichste Zielkonflikt beschrieben wurde.

Eine Lösung der Zielkonflikte ist damit immer mit Kompromissen verbunden, die wiederum nur anforderungs- und damit anwendungsbezogen geschlossen werden können. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle die Betrachtung der Anforderungen auf ein Einsatzgebiet bezogen, den Einsatz von Tags zur Kennzeichnung und Identifizierung von Fischereinetzen. Im Folgenden wird in dieses Anwendungsgebiet kurz eingeführt und die Bedeutung der Anwendung vermittelt.

3.1 Fischerei im Spannungsfeld der Fischereipolitik und dem Aspekt der Nachhaltigkeit

Nach einer global durchgeführten Studie über die Folgen des Artensterbens in den Meeren könnten sämtliche Bestände von Speisefischen und Meeresfrüchten bis zum Jahr 2048 dauerhaft schrumpfen, wenn die Meere weiterhin in der gleichen Intensität ausgebeutet werden wie in der Vergangenheit geschehen. Zwar gibt es in den europäischen Seegebieten bspw. noch 300.000 t Kabeljau, 250.000 t Schollen und 60.000 t Seezungen, sodass diese Arten zur Zeit nicht vom Aussterben bedroht sind, allerdings wird die Fischerei dieser Arten nicht nachhaltig betrieben, sodass auch hier eine Bestandserholung sehr unwahrscheinlich ist.[50]

Für Experten liegt eine effektive Prävention vor einer Überfischung bspw. in selektiven Steertkonstruktionen in der Schleppnetzfisherei. Diese brauchen jedoch lange bis zur Umsetzung in Richtlinien und reduzieren das Einkommen der Fischer zunächst. Daher stoßen sie auf massive Akzeptanzprobleme. Die Erfahrung zeigt, dass vom Tag der Einführung von technischen Beschreibungen im Rahmen von Gesetzen und Bestimmungen, Maßnahmen ergriffen werden, um die daraus resultierende bessere Selektivität der Netzteile zu reduzieren oder aufzuheben.

Mit Hilfe technischer Maßnahmen in Form eines Einsatzes von RFID-Tags könnte eine Zertifizierung von Netzen und/oder Netzteilen ermöglicht werden, welche die Identität dieser zweifelsfrei sicherstellt. Auf diese Weise können Eigenschaften, Herkunft und Lebensgeschichte der Netze detailliert und im Idealfall lückenlos dokumentiert werden, sodass ein ausschließlicher Einsatz solcher Art gekennzeichnete Netze eine entscheidende positive Wirkung auf eine nachhaltige Fischerei haben wird.

Im deutschen Fischereisektor wird die Seefischerei mit der Hochseefischerei und der vorwiegend lokal aufgestellten Kutter- und Küstenfisherei von der Binnenfisherei

und Aquakultur mit den Sparten Teichwirtschaften, Fluss- und Seenfischerei sowie von den Netzgehegewirtschaften und technischen Anlagen unterschieden.

Die Bruttowertschöpfung der Primärproduktion aller Fischereisparten betrug im Jahr 2005 ca. 250 Mio. € und entspricht damit ca. 1 % der Wertschöpfung des Bereichs „Land- und Forstwirtschaft und Fischerei“ in Deutschland. Der Gesamtumsatz inklusive der nachgelagerten Bereiche Produktion, Verarbeitung und Vermarktung wird auf ca. 2 Mrd. € geschätzt. Die Beschäftigung aller Sparten der Fischereiwirtschaft wird mit ca. 100.000 Beschäftigten angegeben, davon sind ca. 2.500 Personen in der Meeresfischerei beschäftigt.[51] National ist der Fischverbrauch pro Kopf seit Ende der 90er Jahre um rund 1,5 kg auf 14 kg gestiegen. Während Ende der 90er Jahre der Selbstversorgungsgrad noch bei fast 30 % lag, wird der inländische Verbrauch heute nur ca. zu einem Fünftel durch die deutsche Fischerei gedeckt.

Im Folgenden wird lediglich die Seefischerei bzw. die Hochseefischerei betrachtet. Insgesamt stehen für die deutsche Fischerei zurzeit ca. 2.200 Fischereifahrzeuge zur Verfügung, von denen ca. 700 Fahrzeuge als Haupterwerbsbetrieb aktiv sind (vgl. Tab. 3-1).

Region	Typ	Anzahl Schiffe
Ostsee	Stille Fischerei	1.587
	Frischfischtrawler	94
	Spezialfahrzeuge (nicht quotierte Fangarten)	63
Nordsee	Krabbenkutter	272
	Stille Fischerei	57
	Frischfischtrawler	37
	Spezialfahrzeuge einschl. Muschelfischerei	41
Hochseefischerei	Große Hochsee, demersal	8
	Große Hochsee, pelagisch	3
	Gesamter Flottenbestand	2.162

Tab. 3-1: Flottenstruktur nach Fischereien 2004[51]

Von der gesamten Flotte entfallen derzeit elf Fahrzeuge bzw. 53 % der Tonnage und 21 % der Maschinenleistung auf die große Hochseefischerei, die restlichen Fahrzeuge auf die kleine Hochsee- und Küstenfischerei.⁶ Der größte Teil der deutschen Fischereiflotte ist dabei in der Ostsee bzw. an den Küsten Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holsteins angesiedelt.[52]

⁶ Während in der großen Hochseefischerei die Fänge fast ausschließlich zu Frostfisch verarbeitet werden, liefert die kleine Hochseefischerei sowie die Küstenfischerei überwiegend Frischfisch, Krabben und Muscheln.

Aufgrund einer zunehmenden Überfischung der Weltmeere sind viele Fischbestände inzwischen so stark zurückgegangen, dass die Notwendigkeit einer nachhaltigen Fischerei immer deutlicher wird.[1] [53]

Grundsätzlich wird die Schleppnetzfisherei, die mit Hilfe von aktiven Fanggeräten durchgeführt wird, von der stillen Fischerei unterschieden, welche sich dem Einsatz von passiven Fanggeräten bedient.

Ein aktives Fanggerät bezeichnet dabei jegliches Fanggerät, welches für den Fangeinsatz aktiv bewegt werden muss (hierzu zählen insbesondere Schlepp- und Zugnetze sowie Umschließungsnetze), während ein passives Fanggerät für den Fangeinsatz nicht aktiv bewegt werden muss. Zu Letzterem zählen insbesondere Kiemen-, Verwickel- und Spiegelnetze sowie Fallen, Leinen und Reusen.[54]

Bezüglich der eingesetzten Fischereifahrzeuge wird je nach Aufbau des Fangdecks und der Technik des Setzens und Fierens des Netzes zwischen Seiten- und Hecktrawlern unterschieden (vgl. Abb. 3-2):

- Bei Hecktrawlern befindet sich das Fangdeck im hinteren Bereich des Schiffes. Das Netz wird dabei über die heckseitige Bordwand ausgesetzt bzw. eingeholt.
- Bei Seitentrawlern befindet sich das Fangdeck im mittleren Bereich des Schiffes, wobei das Netz über die Seitenreling ausgesetzt und eingeholt wird.

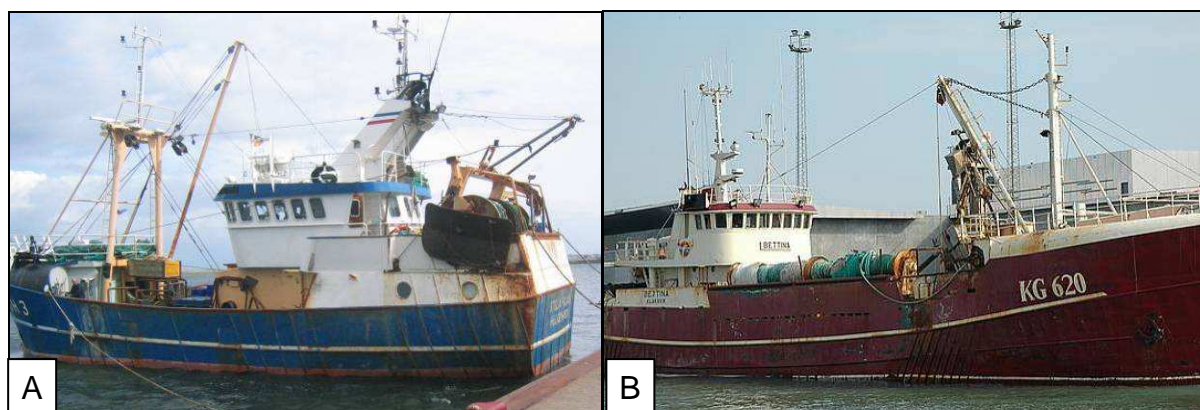


Abb. 3-2: Hecktrawler (A) und Seitentrawler (B)

Bei der Schleppnetzfisherei erfolgt der Fischfang mit Schleppnetzen, die hinter dem Fischereifahrzeug hergezogen werden. Ein Schleppnetz kann dabei von einem oder mehreren Schiffen durch das Wasser gezogen werden. Es hat eine konische Form mit einer sehr weiten Öffnung, wird nach hinten schmaler und besitzt am Ende eine

Tasche (Steert), in der sich die Fische sammeln (vgl. Abb. 3-3). Die Netzwand setzt sich aus Netztuchen zusammen, deren Fäden aus synthetischem Material bestehen. Als Maßeinheit für die Netztuche gilt die Maschenweite, die der Seitenlänge der Masche oder der Länge der gezogenen Masche entspricht. Die Maschenweite des Netzes ist auf die zu fangende Fischart abgestimmt, wobei die Maschen an der Öffnung immer größer sind als im Steert.

Hauptzielarten der Schleppnetzfisherei sind Dorsche, Plattfische und Heringe. Unterschieden werden Grundschleppnetze und pelagische Schleppnetze. Grundschleppnetze werden für den Fang von Plattfischen, wie Scholle und Seezunge, sowie von auf dem Meeresgrund lebenden Krebstieren, wie Hummern oder Garnelen, eingesetzt. Auf der Unterseite des Netzeingangs befindet sich ein beschwertes Grundtau, das über den Meeresboden gezogen wird und mit dem die Fische aufgescheucht werden sollen. Grundschleppnetze werden in Wassertiefen von 100 bis 1.500 m eingesetzt.

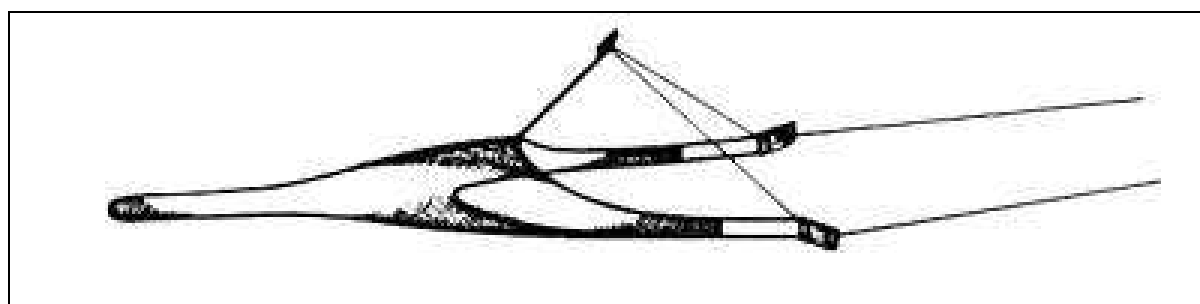


Abb. 3-3: Grundschleppnetz mit Höhenscherbrett[55]

Bei der Verwendung von Grundschleppnetzen wird der Meeresboden vielfach zerstört oder stark angegriffen. Darüber hinaus werden die auf dem Meeresgrund lebenden Meerestiere vernichtet und die Artenvielfalt stark eingedämmt. Viele Umweltschutzorganisationen sprechen sich daher gegen die Verwendung von Grundschleppnetzen aus.

Im Rahmen des Fangprozesses mit Schleppnetzen erfolgt die Trennung der kleinen von den großen ins Netz gelangten Fische vor allem im Steert, also im hintersten Teil des Netzes, wo sich gewöhnlich auch die kleinsten Maschen befinden.[56] Dabei ist es jedoch nicht so, dass die Fische dort, wie in einem Sieb, nach Größe aussortiert werden. Vielmehr existiert eine Reihe von zufälligen oder willentlich zu verändernden Faktoren auf die Ausleseigenschaften eines Steertes. Hierzu gehören:[57]

- Länge und Umfang des Steertes,
- Stärke des Netzgarns,
- Steife des Netzgarns,
- Fanggröße,
- vorherrschender Seegang,
- Jahreszeit und
- in gewissem Maße die Schleppgeschwindigkeit.

Die auf die Selektivität der Schleppnetze einwirkenden Netzparameter können in Anhang A nachgelesen werden.

Die stille Fischerei erfolgt mit Hilfe von Stellnetzen. Diese werden in der Regel für einen Tag auf See ausgesetzt und am nächsten Tag wieder eingeholt.[54] Ein Stellnetz wird mit zwei Ankern auf dem Meeresboden verankert und quer zur Strömung aufgestellt. Durch Schwimmer aus Kork, Styropor oder Kunststoff am oberen Netzrand und einer mit Blei oder Gewichten beschwerten Leine am unteren Netzrand bleibt das Netz dabei senkrecht im Wasser stehen. Die Fische der jeweiligen Größe passen nur mit ihren Köpfen durch das Netz und bleiben mit den Kiemen hängen.

Das Netz wird dabei in der Regel durch eine Röhre ins Wasser gesetzt und an beiden Seiten mit einer Boje mit zwei roten Fahnen – welche das Zeichen für Stellnetzfisherei auf See darstellt – kenntlich gemacht (vgl. Abb. 3-4).



Abb. 3-4: Aussetzen eines Stellnetzes (A), Stellnetz (B) und Boje (C)

Eingeholt werden die Stellnetze über einen sogenannten Holer, anschließend werden die gefangenen Fische aus dem Netz entfernt und das Netz gesäubert (vgl. Abb. 3-5).

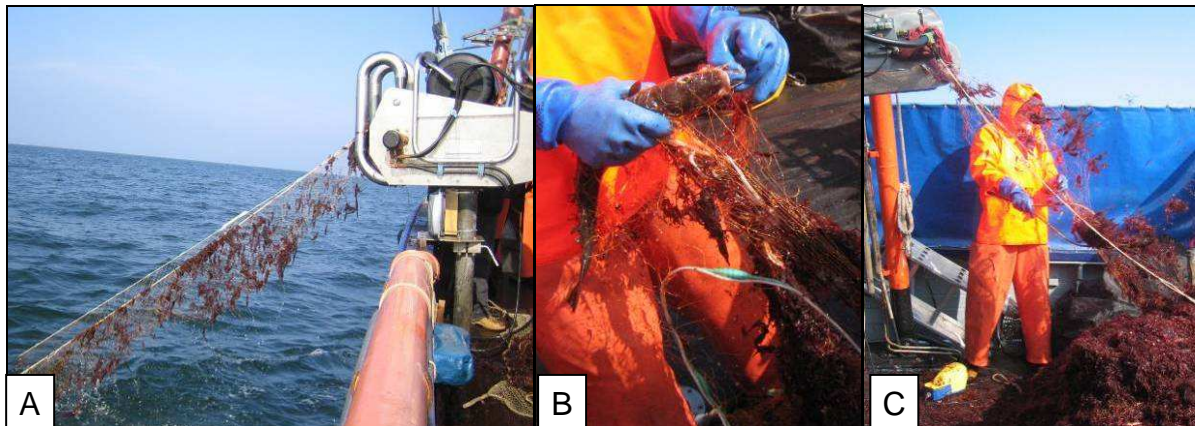


Abb. 3-5: Stellnetzeinholung (A), Sichern des Fangs (B) und Säuberung (C)

Grundsätzlich lässt sich die Selektivität bei Stellnetzen ebenso wie bei Schleppnetzen durch eine ganze Reihe von Möglichkeiten beeinflussen. Durch die Wahl der Maschenweite und des Stellplatzes lässt sich der unbeabsichtigte Fang von kleinen Jungfischen und der Beifang anderer Fischarten, Seevögel oder Meeressäuger reduzieren. Diese passive Fischfangmethode trägt zum Erhalt des Lebensraumes der Fische bei und wird daher – im Gegensatz zur Verwendung von Schleppnetzen – auch als Beitrag zur Nachhaltigkeit gesehen.

Eine kontinuierliche Kontrolle der Fischerei auf See sowie an Land im Rahmen der Hafenkontrolle hat das Ziel, eine gesetzeskonforme, umweltschonende und damit nachhaltige Fischerei sicherzustellen.

Im Rahmen der Kontrolle der Anlandungen nehmen die zuständigen Landesstellen die Logbuchscheine entgegen und übermitteln sie der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zur weiteren Bearbeitung. Sowohl bei Anlandekontrollen als auch bei Kontrollen auf See wird überprüft, ob die Logbuchtoleranz von 8 % eingehalten wurde. Des Weiteren wird eine Plausibilitätsprüfung der Fischereidokumente vorgenommen. Schließlich existieren für verschiedene Fischarten - wie den Dorsch - Vorschriften für Häufigkeit und Sequenz der Anlandekontrollen.[58]

Bei den Hafenkontrollen erfolgt zudem die Prüfung der Einhaltung der Dokumentationspflicht im Logbuch, des Schätzfehlers, der Beifangregelung, der

Mindestgröße und der Fangverbotszeiten. Die Transportpapiere werden dabei stichprobenartig vor Abtransport aus dem Hafengelände kontrolliert.

Die Überprüfung der Vermarktung über zugelassene Abnahmestellen für Fischereierzeugnisse wird monatlich stichprobenartig vorgenommen, wobei auch die Klassifizierung und Etikettierung der Fischereierzeugnisse kontrolliert wird.[59]

Die Fischereikontrollen auf See werden in deutschen Küstengewässern bzw. in der Drei- bis Zwölf-Seemeilenzone von bis zu vier verschiedenen Behörden vorgenommen. Eine Kontrolle erfolgt außerhalb der Zwölf-Seemeilenzone durch den Zoll und innerhalb der Zwölf-Seemeilenzone durch die Landesfischereiämter sowie die Wasserschutzpolizei. Für den Bund nimmt das BLE die Fischereiüberwachung in den deutschen Wirtschaftsgewässern jenseits der Zwölf-Seemeilenzone sowie aufgrund verwaltungstechnischer Absprachen mit den betreffenden Bundesländern innerhalb der Zwölf-Seemeilenzone in Ergänzung zu den Behörden der Bundesländer vor.

Die Seekontrollen werden mit Hilfe von Fischereischutzbooten der BLE und von verschiedenen Zollschiffen unter der Koordinierung der BLE durchgeführt. Darüber hinaus leiten die Einheiten der Bundespolizei und des Zolls während ihrer Streifenfahrten Sichtmeldungen zur effektiven Kontrollplanung an die Fischereischutzboote des BLE weiter. Schließlich verfügen auch die an die Ost- und Nordsee grenzenden Bundesländer teilweise über eigene Boote zur Fischereiüberwachung.[59]

Hierbei findet ein ständiger Austausch von Informationen über durchgeführte Kontrollen und festgestellte Verstöße unter den Anrainerstaaten der Ost- und Nordsee statt. Für die Ostsee gibt es bspw. bilaterale Absprachen Deutschlands mit Dänemark und Schweden zum Austausch von Informationen über gesichtete Fischereifahrzeuge. Bei Bedarf können mit den Kontrollbehörden anderer Anrainerstaaten spontane gemeinsame Kontrollaktionen durchgeführt werden.

Die Vielzahl der Kontrollbehörden kann dabei jedoch unter Umständen auch dazu führen, dass einzelne Fischer sehr häufig, andere Fischer äußerst selten kontrolliert werden. Dies ist zum einen eine Belastung für den Fischer und widerspricht zum anderen dem Ziel von Stichprobenprüfungen, welches in einer möglichst gleichmäßigen Erfassung und Überprüfung der einzelnen Fischer besteht.

Wenn ein Fischereischutzboot ein Kontrollobjekt ausgemacht hat, werden die Kontrolleure zum Fischerboot übergesetzt.⁷ Das Kontrollteam besteht immer aus zwei Kontrolleuren. Der Hauptkontrolleur prüft die Dokumente und protokolliert vorgenommene Messungen. Der zweite Kontrolleur fungiert als Zeuge und nimmt die Messungen an Fisch und Netz vor.

Im Rahmen der Fischereikontrolle auf See werden eine Reihe von Prüfungen durchgeführt, wobei die Netz- bzw. Steertkontrolle nur einen Teil darstellt (vgl. Abb. 3-6 und Abb. 3-7):

- Sichtprüfung,
- Dokumentationsprüfung,
- Fangprüfung und
- Netzprüfung.

Bei der Sichtprüfung werden zum einen die Schiffe aus der Ferne anhand einer Liste der mit einer speziellen Fangerlaubnis ausgestatteten Fischereifahrzeuge kontrolliert und zum anderen der Hievprozess beobachtet und erfasst.

Im Rahmen der Dokumentationsprüfung werden sämtliche Dokumente des Fischers überprüft, die er zum legalen Fischfang benötigt. Die notwendigen Dokumente unterscheiden sich nach der Herkunft des Fischers, nach der zu fangenden Fischart und nach der Region des Fischfangs bzw. der Region der Kontrolle. Wesentliche Dokumente sind:

- Lizenz zum Fischfang,
- Fangerlaubnis für die jeweilige Fischart,
- Fischereischein,
- Fahrerlaubnischein und
- Erlaubnischein.

Sofern ein zum Fang einer bestimmten Fischart zugelassenes Fanggerät verwendet wird, wird bei Seekontrollen überprüft, ob sich keine anderen Netze an Bord

⁷ Dabei kann der Fischer von den Kontrolleuren jedoch nicht zum Hieven der sich gerade im Wasser befindlichen Netze gezwungen werden.

befinden. Das Verbot der Umladungen von Fängen zwischen Fahrzeugen mit einer speziellen Fangerlaubnis wird durch Sichtkontrolle auf See überprüft und gegebenenfalls durch Angaben aus der Satellitenüberwachung unterstützt.

Die Einhaltung der zur Beschränkung des Fischereiaufwands festgeschriebenen Fangverbotszeiten und Fischereisperrzonen für verschiedene Fischarten wird mittels eines Satellitenüberwachungssystems verbunden mit Stichprobenkontrollen auf See und bei der Anlandung kontrolliert.

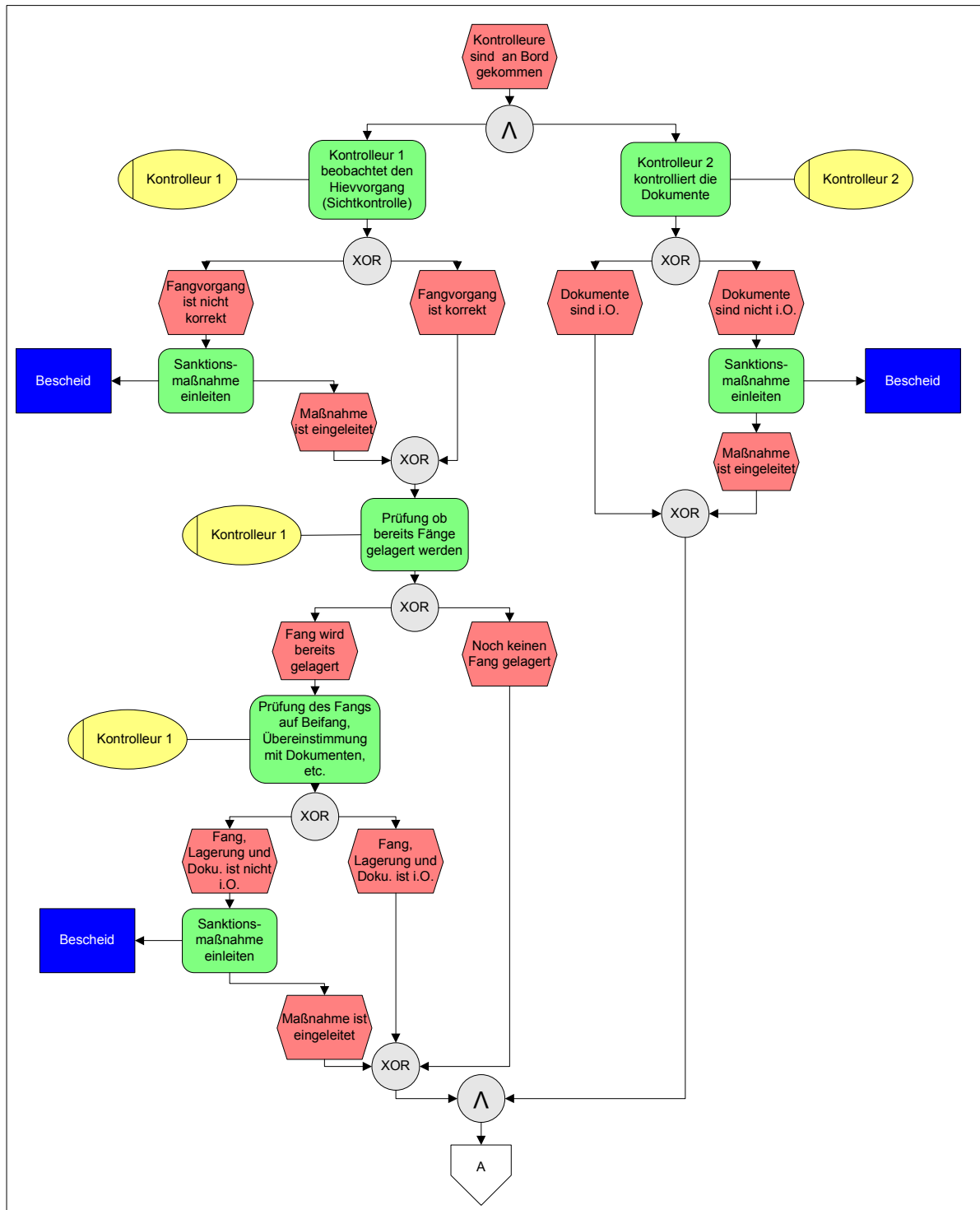


Abb. 3-6: Ablauf der Fischereikontrolle auf See 1/2

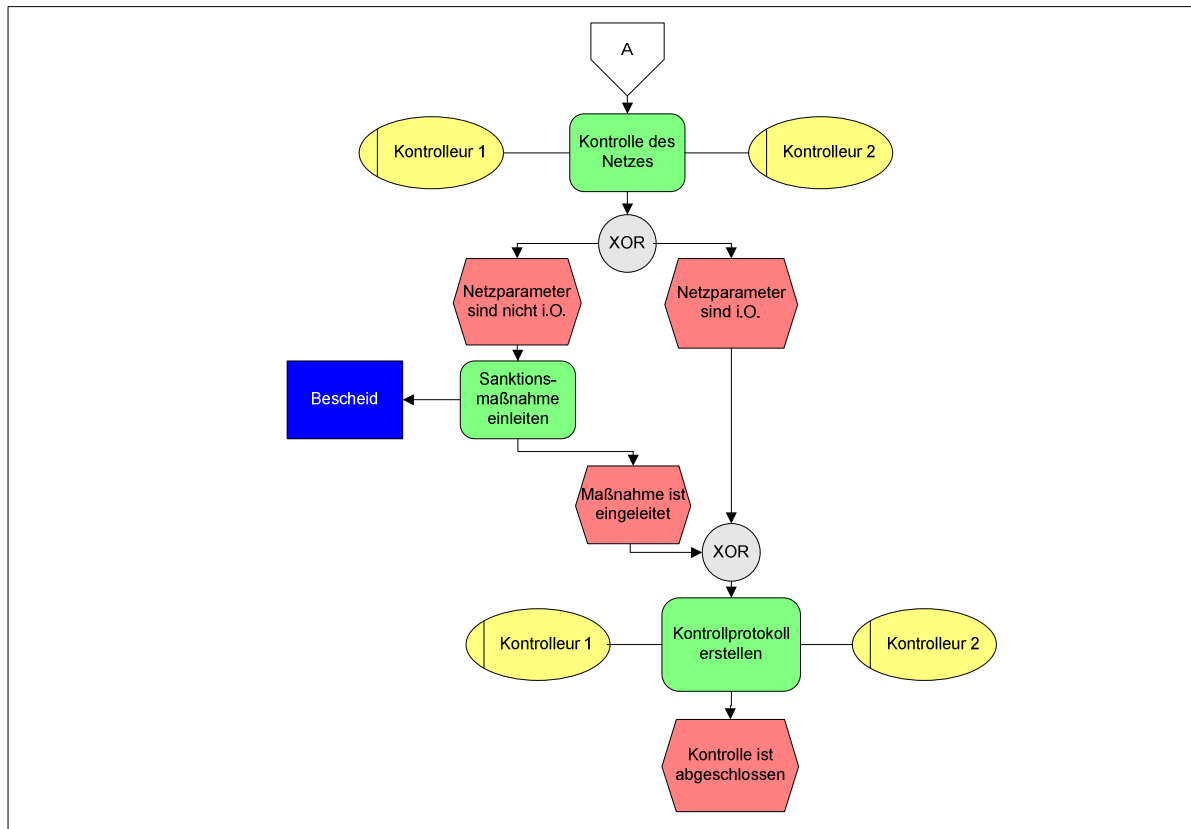


Abb. 3-7: Ablauf der Fischereikontrolle auf See 2/2

Bzgl. der Netzprüfung hat die Europäische Kommission in ihrem Regelwerk für die Schleppnetzfisherei⁸ die Prüfung einer Reihe von Eigenschaften eines Steertes bzw. Tunnels im Rahmen einer Fischereinspektion festgelegt. Diese sind im Einzelnen:[60]

- Maschengröße und Maschenform,
- Garnstärke,
- Umfang des Steertes,
- Größe und Zuschnitt der Steertblätter,
- Steertanhänge,
- Steerteinsätze,
- Sortiergitter,
- Fluchtfenster,

⁸ Für die Verwendung von Stellnetzen existieren ähnliche Vorschriften, auf die an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen wird.

- Tunnel,
- Material,
- Länge und
- Garnsteife.

Aufgrund dieser vielfältigen Parameter eines Netzes fällt es heute sehr schwer, die genaue Identität eines Netzes und damit dessen originären Einsatzzweck sowie die zugelassenen Ausprägungen der Parameter zu ermitteln. Die Zertifizierung von Netzen und/oder Netzteilen soll es ermöglichen, mit Hilfe technischer Maßnahmen in Form eines Einsatzes von Transpondern die Identität der Netze zweifelsfrei sicherzustellen. Auf diese Weise können Eigenschaften, Herkunft und Lebensgeschichte der Netze detailliert und im Idealfall lückenlos dokumentiert werden, sodass ein ausschließlicher Einsatz solcher Art gekennzeichnete Netze eine entscheidende positive Wirkung auf eine nachhaltige Fischerei haben wird.

In Kap. 3.1 wurden die aktuelle Situation und Ausprägung der Fischerei sowie die bisherigen Prozesse in der Fischereikontrolle skizziert. Außerdem wurde konstatiert, dass es aufgrund vieler variabler auch nachträglich veränderbarer Parameter eines Netzteils zu einer unermesslich hohen Anzahl an - sowohl zugelassenen als auch nicht zugelassenen - Varianten der Netze kommt. Daher ist es dem Kontrolleur oft nicht möglich, anhand der optischen Bewertung sowie den heute zur Verfügung stehenden Methoden konkret über die Zulässigkeit der Netze zu entscheiden. Aus diesem Grund sollen RFID-Datenträger an den Netzen Informationen über die Stammdaten der Netze verfügbar machen, um so im Rahmen eines Zertifizierungssystems die Fischerei noch nachhaltiger zu gestalten und die Arbeit der Kontrolleure auf See zu unterstützen.

3.2 Aufbau des Anforderungskatalogs

In der ersten Stufe werden allgemeine Anforderungen an ein Zertifizierungs- und Erfassungssystem sowie deren Komponenten dargestellt. In der zweiten Stufe werden diese Anforderungen auf ihre Bedeutung für die zu gestaltende Identifikationsmarke (Tag), die Datenerfassungsgeräte und informationstechnische Infrastruktur übertragen und so ein Anforderungsprofil abgeleitet.

Die allgemeinen Anforderungen müssen jedoch erst einer Strukturierung unterzogen werden. Mit dem Ziel dieses Systems, zum einen die Kontrolltätigkeiten der Kontrolleure zu vereinfachen und zum anderen eine Erfassung des Fischereiaufwandes zu realisieren, soll auf keinen Fall eine Behinderung oder gar Beeinträchtigung des Fischereibetriebes einhergehen. Es müssen somit alle relevanten Prozesse berücksichtigt werden, woraus sich dann die prozessinduzierten Anforderungen für das System ergeben. Diese Anforderungen lassen sich in drei Untergruppen aufteilen: die fangspezifischen, die kontrollinduzierten sowie die umgebungsinduzierten Anforderungen.

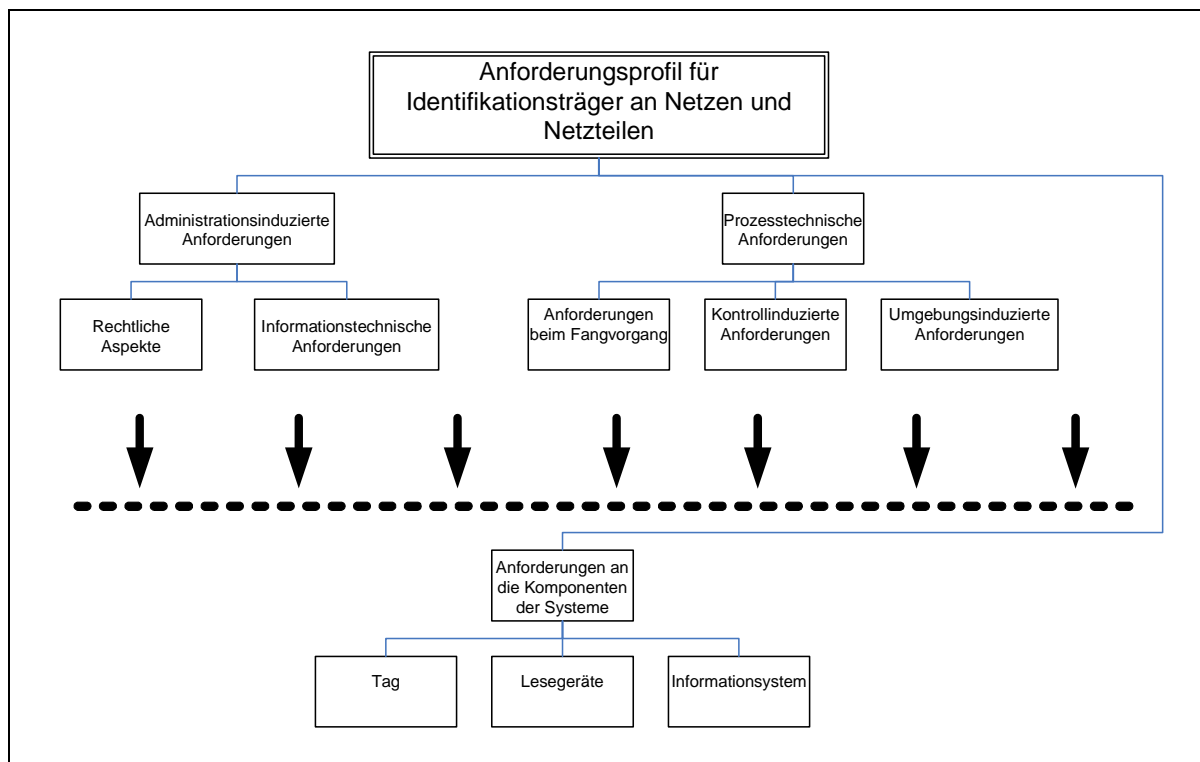


Abb. 3-8: Überblick über den Anforderungskatalog[15]

Die Ziele dieses Systems sind vorrangig administrative Ziele, aus denen sich wiederum spezifische Anforderungen ableiten, die administrationsinduzierten Anforderungen. Einerseits müssen hier rechtliche Aspekte für den Umgang mit Daten sowie die Sicherstellung der Echtheit der Daten beachtet und andererseits muss eine an den Leistungsbedarf angepasste informationstechnische Infrastruktur aufgebaut werden.

Sind diese Anforderungen formuliert, können im nächsten Schritt die Anforderungsprofile für die Tags, das Lesesystem sowie die Datenbank aufgestellt werden. Abb. 3-8 stellt die Struktur sowie die Vorgehensweise grafisch dar.

3.3 Administrationsinduzierte Anforderungen

Durch die Zertifizierung der Netze bzw. Netzteile soll ihre eindeutige Identifizierung sichergestellt werden. Somit können Informationen wie Datum und Ort der Herstellung, Eigenschaften und Historie der einzelnen Netze im Detail dokumentiert und genau zugeordnet werden. Dabei ist besonders die wesentliche Einschränkung der Möglichkeiten zur Manipulation der Netze das Ziel. Gleichzeitig soll die automatische Identifikation der Fanggeräte die genauere Erfassung des Fangaufwandes ermöglichen und das Erfüllen der Dokumentationspflicht der Fischer erleichtern.

Die Dokumentation des Fanggerätelebenszyklus sollte bei der Einbringung des Transponders in das Netz und der damit verbundenen Zertifizierung beginnen. Sie kann bei jeder weiteren Identifikation des Netzes fortgeführt werden. Mögliche Zeitpunkte der Identifikation des Fanggerätes, abgesehen von der Markierung des Fanggerätes, sind die Kontrollen, evtl. die Erfassung während des Fangprozesses selbst, eventuelle Reparaturen und dessen Entsorgung. Die vorhandenen Daten eines Netzes könnten bei jeder Identifikation abgeglichen und ergänzt werden. Ein solches Vorgehen bedeutet, dass über seine gesamte Lebensdauer hinweg die Identität eines Netzes, z.B. durch eine ihm zugewiesene Nummer, unveränderbar und eindeutig bleiben muss. Eine dauerhafte Zertifizierung setzt somit zunächst eine dauerhafte Applikation der Zertifizierungsmarke, also des Tags, voraus.

3.3.1 Rechtliche Aspekte

Die eindeutige Identifikation jedes gekennzeichneten Netzteils ist die grundlegende Anforderung für das Zertifizierungsmodell. Es ist nicht das Ziel, jedes beliebige Netz, sondern ausschließlich selektionsrelevante Netzteile, wie das Steert oder spezielle Entkommensfenster, zu zertifizieren. Das Kennzeichnungsverfahren muss daher in der Lage sein, eine eindeutige Identifikation auch nach mehrjähriger Nutzung der Netzteile sicher zu stellen. Gleichzeitig ist aber zu bedenken, dass der Einsatz in der Fischerei unter oft sehr schweren Bedingungen erfolgt und die Zerstörung eines auch noch so robusten Identifikationsträgers nicht ausgeschlossen werden kann. Daher ist die Anbringung von mehreren Transpondern mit gleicher Information - also redundanten - Transpondern an einem Fanggerät durchaus sinnvoll - vor allem dann,

wenn während einer längeren Seereise eine Marke zerstört wird und das Fanggerät damit seine Zertifizierung verlieren würde.

Zur Vereinfachung der Analyse und Überwachung von Verstößen gegen geltende Fischereigesetze soll das Zertifizierungssystem zur Dokumentation der Lebenswege der Zertifizierungsobjekte eingesetzt werden. So muss nicht nur bei der Zertifizierung, sondern auch bei jeder Kontrolle sowie bei der Entsorgung der Objekte ein Datensatz angelegt oder fortgeschrieben werden, um eine möglichst vollständige Abbildung des Lebensweges zu erreichen. Die lückenlose Verfügbarkeit der Informationen ist vor allem für die Planung von Kontrolleinsätzen sowie für die Bewertung von bei der Kontrolle vorgefundenen Netzen sehr hilfreich. Zum einen können so Doppelkontrollen innerhalb kurzer Zeit vermieden und zum anderen wiederholte Regelverstöße identifiziert und entsprechend sanktioniert werden. Dazu müssen die verfügbaren Daten jederzeit aktuell und von den Kontrollbooten aus verfügbar sein. Dies kann mittels entsprechend ausgestatteter mobiler Datenerfassungsgeräte sowie einer entsprechenden Synchronisationssoftware realisiert werden.

Es ist sicher zu stellen, dass die verfügbaren Daten jeweils nur berechtigten Nutzern zur Verfügung stehen. Dies gilt sowohl für die auf den Tags abgelegten Daten als auch für den Datenbestand einer zentralen Datenbank. Damit müssen der Missbrauch und die Manipulation der hinterlegten Daten wirksam unterbunden werden. Auf den mobilen Tags kann eine Sicherung der Inhalte durch die Verwendung von Chips mit festen Speichern oder durch die Vergabe von Passwörtern erfolgen.[29]

Neben der Sicherung der Daten muss auch die Verbindung zwischen Tag und Netzteil gesichert sein bzw. muss ein Manipulationsindikator integriert werden. Es existieren verschiedene Lösungen, wobei die verwendete Technologie den Einsatzbedingungen gerecht werden muss und sich nicht negativ auf die Leistungsfähigkeit der Identifikationstechnologie auswirken darf.

Als Schlüsselpunkt kann die Sicherstellung der Richtigkeit der Zertifizierung zu Beginn des Lebenszyklus des Netzes bzw. Netzteiles betrachtet werden. Um eine bewusste oder unbewusste Fehlzertifizierung und damit einen Missbrauch des Systems zu vermeiden, müssen verschiedene Vorkehrungen getroffen werden.

Durch die Festlegung von eindeutigen Zuständigkeiten für die Zertifizierung sowie eine Standardisierung des Zertifizierungsprozesses muss eine ausreichend große Transparenz des Systems geschaffen werden, sodass eine Rückverfolgung der Ursache einer Fehlzertifizierung sehr einfach ist. Damit sinkt die Motivation für derartigen Missbrauch erheblich und kann fast ausgeschlossen werden.

Um einen möglichst hohen Zuverlässigkeitsgrad einer automatischen Fischereiaufwandserfassung zu erreichen, muss die Leistungsfähigkeit der automatischen Identifikationstechnologie sichergestellt bzw. hergestellt werden, womit sich der technische Teil dieser Arbeit in Kap. 4 bis 6 (ab S. 67) beschäftigt.

3.3.2 Informationstechnische Anforderungen

Die Art der benötigten Information unterscheidet sich je nach Nutzer des Systems. Unabhängig davon müssen entsprechende Stamm- und Zustandsdaten der Netzteile erfasst und festgehalten werden:

- Netzhersteller,
- Material,
- Maschengröße bei Herstellung,
- Datum der Zertifizierung durch Netzmacher oder Behörde,
- Garnstärke,
- Fertigungszeitpunkt des Netzes,
- Netznummer,
- Bacomdaten,
- Maschenart, -orientierung,
- Breite und Länge der Maschen,
- Netzgarnmachart (geflochten, geschlagen etc.) und
- Umfang in Anzahl von Maschen.

Die Informationen variieren je nach Netzart (Stell- oder Schleppnetz). Darüber hinaus ist eine Speicherung der Netzhistorie für die Kontrolle sinnvoll. Jede Kontrolle, die an einem Netz erfolgt, wird weiterhin dokumentiert und nun zusätzlich elektronisch

erfasst, sodass die relevanten Daten unmittelbar in das System übertragen werden können und die Historie des Netzes fortgeschrieben werden kann. Folgende Daten kann ein Kontrolldatensatz umfassen:

- Informationen zu durchgeführten Kontrollen (Ort, Datum, Kontrolleur etc.),
- Ergebnisse der Kontrollen (z.B. Bußgelder oder Auflagen) und
- Eigentümerhistorie.

Für die Ermittlung des Fischereiaufwandes sind vor allem die beim Fangvorgang per Satellitenkommunikation zu übertragenden Daten grundlegend relevant. Hier sollte eine Beschränkung auf die wesentlichen Daten erfolgen, um die Übertragungszeit und damit die Kosten einer Übermittlung so gering wie möglich zu halten. Folgende Daten erscheinen sinnvoll und notwendig:

- Bezeichnung, Ort, Kurs und Geschwindigkeit des Schiffes,
- Art und Menge des Fangs,
- Dauer des Fangs und
- Art des Fangnetzes.

Zur Sicherstellung der Handlungsfähigkeit der Kontrollbehörden sowie zur interaktiven Planung der Kontrolltätigkeit muss eine Verfügbarkeit und die Aktualität der Daten auf den Kontrollbooten sichergestellt werden.

Um in Zukunft die Überprüfung von Regelverletzungen und Fangtätigkeiten zu verbessern, sollte das System entsprechende Analysemöglichkeiten zur Verfügung stellen. Dazu müssen die zusätzlich erfassten Informationen in die Dokumentation des Kontrollvorgangs einbezogen werden. Die Auswertung sollte neben der Analyse der Grundgesamtheit an zertifizierten Objekten auch die Lebenszyklusanalyse einzelner Objekte ermöglichen, um die Ursachen auftretender Anomalien untersuchen zu können.

Ein Zertifizierungssystem für Steerte ermöglicht es, Mehrwertdienste für Fischer und Dritte anzubieten, die ohne größeren Aufwand implementiert werden können. Als Beispiele sind die RFID-gestützte Lagerung von Fanggerät, ein Fanggeräteinformationsdienst für Fischer sowie die Unterstützung zur Führung eines elektronischen Logbuches zu nennen.

3.4 Prozessinduzierte Anforderungen

Über die Administration hinaus ergeben sich auch Anforderungen an das Identifikationssystem aus den Fang- und Kontrollprozessen sowie den dabei vorherrschenden Umgebungsbedingungen. Die einzelnen Anforderungen können dabei je nach Fangart voneinander abweichen. Darauf wird jeweils explizit eingegangen.

3.4.1 Anforderungen beim Fangvorgang

Die Belastungen während des Fangs unterscheiden sich je nach Fangart. Bei der Schleppnetzfisherei wird das Netz über/auf dem Meeresboden hinter dem Schiff hergeschleppt, wobei es mit den Sedimenten intensiv in Kontakt kommt. Ein am Netz angebrachter Tag wird hier sehr starken Abrieb erfahren und kann im ungünstigsten Fall verloren gehen. Eine Integration des Tags in das Netz (z.B. in die seitlichen Laschen) würde dieser mechanischen Belastung vorbeugen.

In der stillen Fischerei sind die Anforderungen an die Transponder vergleichsweise gering. Da die Netze hier im Wasser „stehen“, müssen diese nur der Strömung des Wassers standhalten.

Bei beiden Fangarten ist die Beständigkeit gegen Salzwasser sowie die Wasserdichtheit eine Grundvoraussetzung für den Einsatz der Tags.

Das Einholen des Fanggerätes unterscheidet sich je nach Fangart sowie bei der Schleppnetzfisherei je nach verwendetem Schiff (Seiten- oder Heckfänger). Die Anforderungen an den Transponder sind jedoch immer sehr ähnlich. Die mechanische Belastung setzt sich aus Zug, Druck und Biegung zusammen. Durch das Anschlagern der tonnenschweren abgebeutelten Steerte an die Bordwand oder an Deckaufbauten kommt es zu schlagartigen Belastungen. Zudem führt das Ziehen der Netze über die Bordwand zu Knickbelastungen der Transponder. Eine hohe Robustheit der Transponder ist daher erforderlich.

Durch die offene Struktur der Netze können alle kantigen oder mit Überständen versehenen Dinge zu einem Verhaken im Netz und damit zum Verheddern des Netzes führen. Besonders anfällig sind hier die Netze der stillen Fischerei, da das Netzmaterial viel feiner als das der Schleppnetze ist. Es ist also auf eine grat- und überhangfreie Form und Anbringung der Tags zu achten. Bei der stillen Fischerei

kommt erschwerend hinzu, dass beim Fieren der Netze zu lange Tags zum Verkanten vor der Auslassröhre führen können. Diese Röhre hat einen Durchmesser von ca. 14 cm. Wird ein Tag dieser oder größerer Länge an dem Netz befestigt, kann sich dieser aufgrund des nicht homogenen Einführens des Netzes in die Röhre vor der Öffnung quer stellen. Damit wird ein Fortsetzen des Fierens unmöglich, da das Netz die Röhre nicht weiter passieren kann. Es müssen erst die Maschinen gestoppt und der Kutter zurückgesetzt werden, um das Netz zu entspannen und die Blockade aufzuheben. Der Tag sollte demnach eine abgerundete Geometrie und eine Gesamtlänge deutlich unter 14 cm aufweisen.

Für die stationäre Erfassung des Fangeräteinsatzes für die automatische Ermittlung des Fischereiaufwandes ist von größter Bedeutung, dass die Fanggeräte sicher erfasst werden können. Hierzu sind ein entsprechend großes Antennenfeld - mind. 3 x 4 m - sowie der Einsatz leistungsfähiger Tags sowie die Absicherung durch Mehrfachbestückung der Netze sinnvoll.

3.4.2 Kontrollinduzierte Anforderungen

Um die Mobilität der Kontrolleure sicherzustellen und die Transponder zu identifizieren, ist der Einsatz von mobilen Datenerfassungsgeräten notwendig. Diese Geräte müssen über Standardschnittstellen für die Datenübertragung verfügen sowie ein niedriges Gewicht - unter einem Kilogramm - und eine geringe Größe zur einfachen Handhabung aufweisen. Um den Arbeitsprozess der Kontrolleure nicht zu verzögern, sollten sich die Geräte bzw. die Software durch eine einfache Bedienung auszeichnen und für den Einsatz auf See über eine entsprechende Schutzklasse verfügen - mindestens IP 56.

Die Tags sollten so angebracht bzw. gekennzeichnet werden, dass die Kontrolleure diese schnell finden und auslesen können. Das Auffinden und Auslesen darf den Kontrollprozess nicht unnötig verzögern, daher ist für eine Kontrollerfassung eine Lesereichweite von mindestens 10 cm mit dem Handgerät zu realisieren. Günstiger wären jedoch mindestens 100 cm, um eine ergonomische Arbeitsweise zur ermöglichen, da die Netze im Normalfall auf Deck liegen. Außerdem ist eine optische Kennzeichnung der Einbauposition im Netz oder Netzteil bei einer Integration des Tags notwendig.

3.4.3 Umgebungsinduzierte Anforderungen

Die Umgebung auf See ist von Temperaturschwankungen geprägt. So können im Hochsommer bis zu 50°C an bestimmten Stellen auf oder unter Deck herrschen. Im Frühjahr, Herbst oder Winter sind bei Auslagerung an Land hingegen bis zu -30°C möglich. Das System muss über den gesamten Temperaturbereich funktionsfähig sein

Der Tag wird sich im bzw. am Netz oder Netzteilen befinden und ist somit dem Meerwasser ausgesetzt. Weiterhin wird er mit Fischschleim, Fischölen, korrodierten Metallen, Sand, Sedimenten und Salzkrusten jeweils unterschiedlich stark in Berührung kommen. All diesen Belastungen müssen die Gehäuse sowie die Befestigung des Tags im und/oder am Netz über die Lebensdauer des Netzes standhalten. Bei der Materialauswahl für die Gehäuse der Tags sollten jedoch nur die wesentlichsten Belastungen betrachtet werden.

Fischereinetze werden in verschiedenen Tiefen eingesetzt - von wenigen Metern bei der stillen Fischerei in der Ostsee bis zu mehreren tausend Metern Tiefe bei pelagischen Netzen. Bei einer Fangtiefe von 2.000 m unter dem Meeresspiegel sind die Tags bzw. deren Gehäuse einem Druck von ca. 200 bar ausgesetzt.⁹ Auch unter diesen Bedingungen muss das Gehäuse wasserdicht bleiben. Außerdem muss der Tag vor Beschädigungen durch diesen Druck geschützt werden. Datenblätter von markttypischen Transponder-Inlays geben eine Resistenz gegen statischen Druck von < 10 MPa, also < 100 bar, an.[61] [62] Das Gehäuse muss so konstruiert sein, dass Druck auf den Transponder vermieden wird.

3.5 Anforderungen an die Komponenten des Systems

Die bisher beschriebenen Anforderungen haben bereits die Anwendungsumgebung sowie einige spezielle Herausforderungen für die Anbringung der Tags und stationärer Antennen herausgestellt. Im Folgenden werden nun die konkreten Anforderungen an die einzelnen Komponenten

- Tag,
- Datenerfassungsgerät und

⁹ Eine 1 m Wassersäule entspricht einem Druck von 9,80665 kPa = 0,0980665 bar. Gerundet wird dieser Wert häufig auf 0,1 bar je m Wassersäule.

- Informationssystem

präzisiert. Abb. 3-9 stellt die erarbeiteten Anforderungen systematisiert dar. Die Anforderungen an die Systemkomponenten ergeben sich dabei aus den administrativen und prozesstechnischen Anforderungen wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

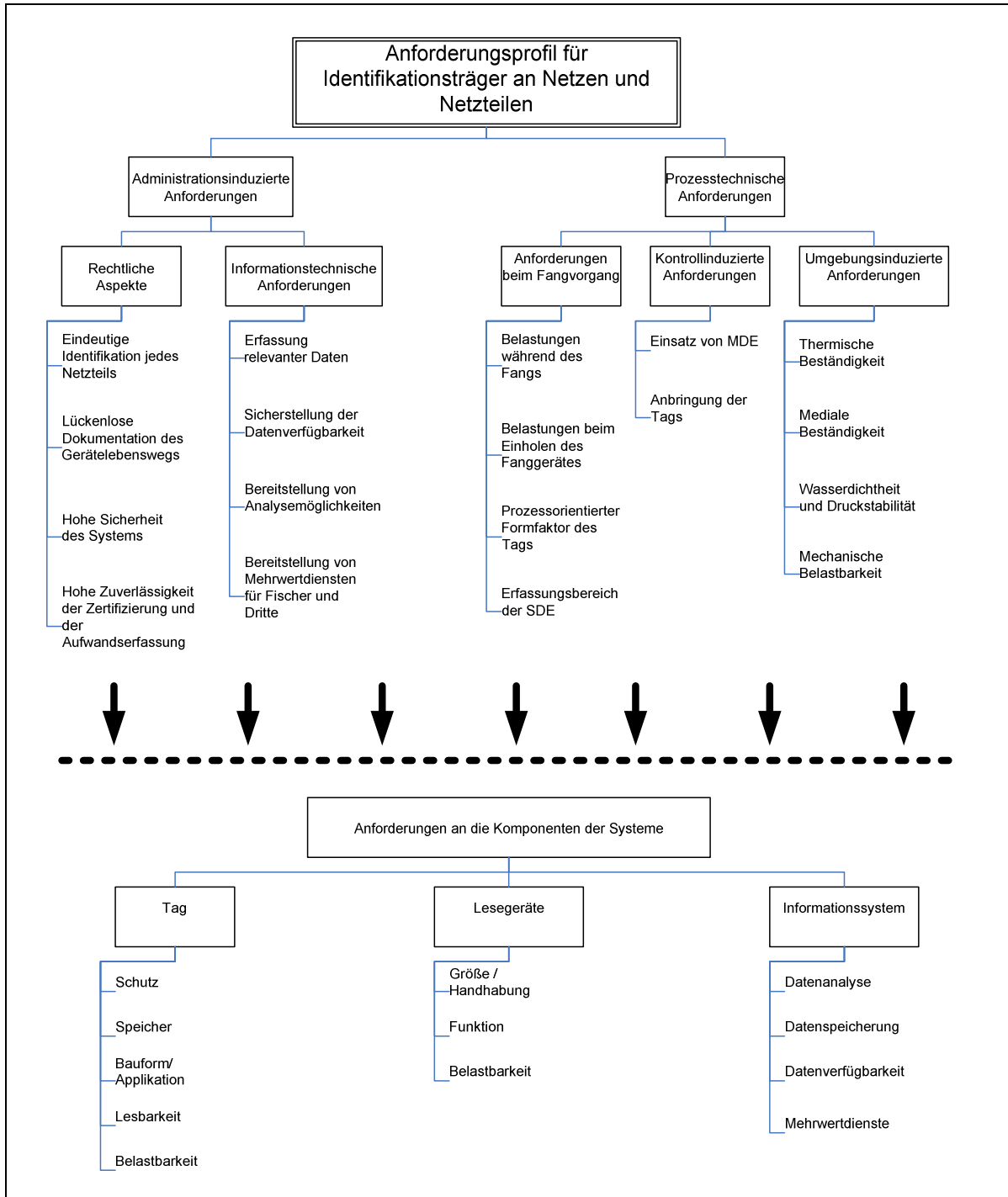


Abb. 3-9: Übersicht über das Anforderungsprofil

Die Anforderungen an den Tag werden in Abb. 3-10 detailliert dargestellt.

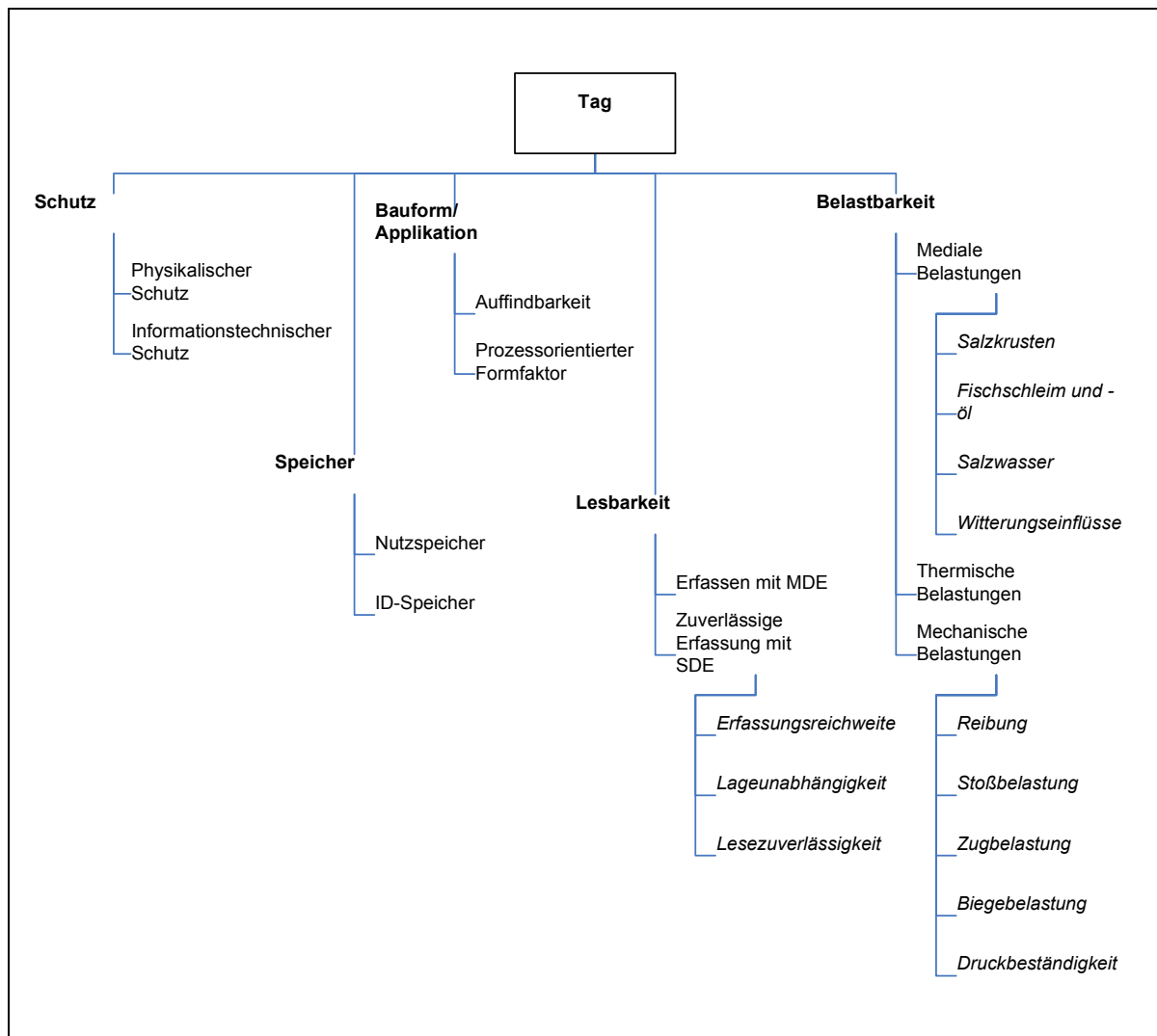


Abb. 3-10: Detaillierte Anforderungen an den Tag

Die aufgeführten Anforderungen an den Tag müssen bei Auswahl der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden. Die Anforderungen und Funktionen der einzelnen Komponenten lassen sich gegenseitig zuordnen. Als wesentliche Komponenten wurden in Kap. 2.1.3.2, S. 14 zum einen der Transponder selbst und zum anderen das Gehäuse des Transponders aufgeführt. Folgende Anforderungen muss das Gehäuse erfüllen:

- Aushalten aller Formen der Belastung,
- Bieten eines physikalischen Schutzes und
- Aufweisen einer prozessgerechten Bauform sowie Applikation.

Das Gehäuse muss den Transponder so gegen oben genannte Belastungen schützen, dass dieser jederzeit arbeitsfähig ist. Die Anforderungen an den Transponder

- Lesbarkeit,
- informationstechnischer Schutz und
- Speicher

können nochmals auf die Bestandteile des Transponders verteilt werden. Die Lesbarkeit ist im Wesentlichen von der Anordnung und der Gestaltung der Antenne des Transponders abhängig. Speicher und informationstechnischer Schutz liegen hingegen in der Funktionalität des Mikrochips begründet.

3.6 Überprüfung am Markt verfügbarer Tags auf die Erfüllung des Anforderungsprofils

Nachdem das Anforderungsprofil erstellt wurde, sollen nun typische, am Markt verfügbare Tags darauf untersucht werden, inwieweit sie die Anforderungen erfüllen und falls nicht, welche konkreten Defizite bestehen. Dazu wurden zum einen Tests auf Erfassungsbereich im Labor durchgeführt. Zum anderen wurden die Tags an Fischereinetze angebracht und im realen Einsatz geprüft. Tab. 3-2 zeigt ermittelte Erfassungsbereiche im Labor. Es zeigt sich eindeutig, dass sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Typen bestehen.

Hersteller / Bezeichnung	Frequenzbereich, Standard	Abmessungen in mm
Sokymat Inline UHF Gen2	UHF ISO 18.000-6 C	15,0 x 230,0 x 15,0
Deister Electronic Hard-tag 1.19	UHF ISO 18.000-6 B	18,0 x 160,0 x 22,0
Smart-Tec Smart-DOME MOM 868	UHF ISO 18.000-6 C	42,0 x 132,0 x 18,0

Tab. 3-2: Zur Überprüfung des Anforderungsprofils herangezogene, serienmäßig hergestellte Tags

Messung mit deister electronic UDL500 mit 2 W Sendeleistung	Erfassungsbereich in cm
Typ-Beschreibung	Ø
Sokymat Inline UHF Gen2	83,75
Deister Electronic Hard-tag 1.19	140,00
Smart-Tec Smart-DOME MOM 868	585,00

Tab. 3-3: Ermittelte Erfassungsbereiche im Labor der serienmäßig hergestellten Tags

Im realen Einsatz zeigten sich neben den teilweise nur sehr kurzen Erfassungsreichweiten noch weitere Probleme im Fischereiprozess. Vor allem die Geometrie und die großen Abmessungen haben zu Problemen geführt. Aufgrund der teilweise sehr kantigen Geometrie kam es häufig zum Verhaken der Tags im Netz. Außerdem hat eine zu große Länge zum Verkanten vor dem Auslassrohr geführt, wie in Abb. 3-11 dargestellt. Daher muss bei der Verwendung der Transponder für die stille Fischerei die Maßvorgabe für die Tags von max. 14 cm eingehalten werden.

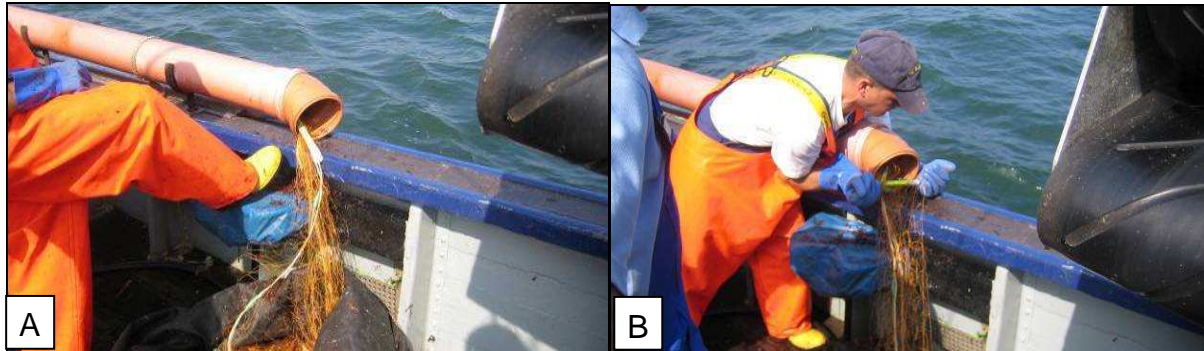


Abb. 3-11: Tag beim Aussetzen (A) und Verkantung vor der Röhre (B)

Außerdem waren alle drei Tagtypen nach dem Einholen der Netze mit Wasser gefüllt, obwohl die Netze in den Versuchen lediglich ca. 20 m unter dem Meeresspiegel gestellt waren, also nur ca. 2 bar Wasserdruck herrschte. All diese Punkte lassen eine Verwendung der verfügbaren Tags nicht zu.

4 Gestaltung anforderungsgerechter Gehäuse

Der Transponder (als Inlay) ist ein mechanisch und medial so gut wie nicht belastbares Bauteil. Er muss deshalb für den Einsatz an oder in Fischereinetzen durch ein Gehäuse vor diesen Einflüssen geschützt werden. Gleichzeitig ist die Funktion des Transponders als Empfänger und Sender von Daten an Lesegeräte sicherzustellen.

Es müssen deshalb Werkstoffe zum Einsatz kommen, die die Funkwellen wenig dämpfen und/oder in ihrer Frequenz verschieben. Die große Gruppe der Metalle fällt mit dieser Bedingung aus. Einige Keramikwerkstoffe sind zwar durchlässig für Funkwellen, aber für die rauen Nutzungsbedingungen aufgrund ihrer Sprödigkeit kaum geeignet.

Eine geeignete Werkstoffgruppe sind die Kunststoffe. Hier gibt es ein großes Spektrum an Arten, die von ihrer Vielfalt an die der metallischen Werkstoffe heranreichen. Kunststoffe weisen mehr oder weniger geringe Dämpfungen und Frequenzverschiebungen von Funkwellen auf.

In Hinblick auf die zu erwartenden mechanischen und medialen Belastungen des Tags müssen durch Vorauswahl und Tests die Kunststoffe ermittelt werden, die Funkwellen wenig beeinflussen, gute mechanische Eigenschaften (besonders bzgl. Zähigkeit, Steifigkeit und Festigkeit) sowie gute Beständigkeit gegen Meerwasser aufweisen.

Die Auswahl der passenden Werkstoffe unterliegt einem Zielkonflikt. Einerseits lohnt es sich nicht, viele Werkstoffe auf ihre Dämpfung der Funkwellen hin zu untersuchen, die dann mit großer Wahrscheinlichkeit die mechanischen und medialen Forderungen nicht erfüllen. Andererseits ist es zu Anfang schwer, konkrete mechanische Eigenschaften wie Festigkeiten, Steifigkeiten und Schlagzähigkeiten für den Tag zu quantifizieren, wenn noch keine Gestaltung bzw. keine Auslegung des Tags erfolgt ist. Dies wäre jedoch nötig, um eine Materialauswahl zu treffen.

Für die Auslegung benötigt man eine sinnvolle Geometrie, Lastfälle und für die Lastfälle zulässige maximale Verformungen (Dehnungen) des Tags. Die Lastfälle sind aufgrund der hohen Zahl an Freiheitsgraden der Netz- und Schiffsbewegungen sowie der Masse des Netzinhaltes nicht quantifizierbar. Es müssen deshalb Annahmen für die Lastfälle getroffen werden.

Die Entwicklung des Tags beginnt demnach bei der Geometriefindung (vgl. dieses Kap.), der Annahme von Lastfällen und maximal zulässigen Verformungen des Tags (vgl. Kap. 5, S. 73) und geht dann über in die Auswahl der Gehäusewerkstoffe (vgl. Kap. 6, S. 78).

Im Folgenden werden verschiedene mögliche Geometrien erarbeitet und diskutiert. Bisher wurden Transponder inklusive Tag weniger in dauerhaft feuchten Medien (z.B. Raumluft, Einwirkung von Schnee bei Ski-Chips, Spritzwasser bei der Kennzeichnung von Außenanlagen) und ohne wesentliche mechanische Belastungen sowie bei einer nur geringen Anforderung an die Lesereichweite (wenige cm) betrieben. Die Kombination aus großer mechanischer und medialer Beanspruchung des Transponders inklusive Tag ist neu. Aus der Literatur sind Transponder und Tags für o.g. Anwendungen nicht bekannt. Die in Kap. 3.6 aufgezeigten verfügbaren Lösungen konnten diese Anforderungen nicht erfüllen.

Bisher liegen nur die Erkenntnisse aus dem oben erwähnten Forschungsprojekt vor.[15]

Für die Geometriefindung des Tags werden anhand der formulierten Anforderungen folgende Randbedingungen/Lastfälle angenommen,:

- Er darf nicht manipulierbar sein.
- Er muss den Transponder vor dessen Zerstörung schützen, d.h. er muss die Belastung beim Einholen des Netzes, welches mit bis zu 20 kN Kraft (Masse des Fangs im hinteren Netze) über die Reling gezogen wird und anschließend straff auf eine Trommel aufgerollt wird, bis zu 5.000 mal ohne Bruch und große Verformungen überstehen.
- Der Tag darf sich aufgrund seiner Größe und seiner Geometrie nicht im Netz verfangen oder das Netz unbrauchbar machen.
- Der Tag muss eine den Anforderungen entsprechende Leistungsfähigkeit aufweisen:
 - Erfassungsreichweite,
 - Lageunabhängigkeit und
 - Lesezuverlässigkeit.

Aus den bisherigen Erkenntnissen sind zylindrische oder ellipsoide Geometrien für den Tag zu bevorzugen. Es werden folgende Vorteile erwartet:

- kein Verfangen im Netz
- höhere mechanische Belastbarkeit durch hohe Eigensteife aufgrund großer Trägheitsmomente
- Lose Lagerung des Transponders im Tag: Dadurch wird es möglich, relativ große Verformungen des Tags zuzulassen, ohne dass der Transponder diese Verformungen mitmachen muss. Denkbar ist hier eine nicht kraft- oder formschlüssige Einbringung des Transponders in das Gehäuse, um eine Verformung des Transponders im Gehäuse auf ein nicht kritisches Minimum zu beschränken. Eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Transponder und Gehäuse würde bei einer regelmäßig dehnenden und stauchenden Belastung des Tags zu einer Zerstörung des Transponders führen. Gegen eine völlig lose Einbringung des Transponders in das Gehäuse spricht jedoch, dass für eine optimale Leistung des RFID-Systems eine korrekte Ausrichtung des Transponders erforderlich ist. Dieser gerichteten Fixierung des Transponders könnte mittels einer teilweise formschlüssigen Verbindung zwischen Transponder und Gehäuse Rechnung getragen werden. Unter Berücksichtigung der Hauptdehnungsrichtung des Tags ist hier eine entsprechende konstruktive Umsetzung denkbar.
- Gestaltung unterschiedlich starker Wanddicken des Tags: d.h. geringere Wanddicken nach außen für die Abstrahlung der Funkwellen

Unter Berücksichtigung der Anforderungen aus Kap. 3, S. 41 sind entsprechende Gehäuse zu entwerfen, die den Prozess- und Leistungsanforderungen gerecht werden.

Neben den mechanischen und medialen Anforderungen müssen auch die Leistungsanforderungen an den Transponder bei der Gestaltung der Gehäuse berücksichtigt werden. Da der am Netz befestigte Tag sehr viele Freiheitsgrade in seiner Bewegung und Ausrichtung beim Passieren des Lesefeldes aufweist, müssen die Art der Einbringung des Transponders und die Gestaltung des Gehäuses zu einer Lageunabhängigkeit des Tags beitragen. Die Gründe für die Lageabhängigkeit der Transponder wurden bereits in den Grundlagen beschrieben (vgl. Kap. 2.2.5, S.

25). Um dieser Lageabhängigkeit entgegenzuwirken, kommen folgende Ansätze in Frage:

- Einsatz mehrerer Transponder in einem Gehäuse sowie
- Mehrdimensionalisierung des Transponders im Gehäuse:
 - als Helix gedreht und
 - gebogen bzw. als Kreis gedreht.

Werden mehrere Transponder mit unterschiedlichen Ausrichtungen in ein Gehäuse eingebracht, können die durch die Freiheitsgrade der Bewegung auftretenden Erkennungslücken geschlossen werden. Jeder Transponder eines Tags erhält die gleiche ID. Da so nicht sichergestellt werden kann, dass sich jeder Transponder durch das Lesefeld bewegt, können Daten auf den Transpondern nicht während mechanisierter Vorgänge verändert werden. Es kann dann nur eine manuelle Veränderung der Daten, z.B. bei einer Kontrolle der Netzteile durch die Behörden, mit Handlesegeräten durchgeführt werden.

Ein Gehäuse muss demnach ausreichend Platz bieten, um einen oder eine Kombination dieser Ansätze umzusetzen. Die Positionierung der Transponder im Gehäuse kann bzw. muss unter Umständen durch weiteres Material unterstützt werden. Dieses Material sollte einen möglichst geringen Einfluss auf den Transponder haben. Gemäß den Anforderungen des Fangprozesses sind ellipsoide und zylindrische Bauformen für das Gehäuse zu bevorzugen. Sie sollten über ein Loch entlang der Mittelachse verfügen, um sie so einfach in die Netzstruktur einbinden zu können. Abb. 4-1 stellt die beiden möglichen Geometrien sowie den jeweils verfügbaren Raum für die Einbringung von Transpondern dar.

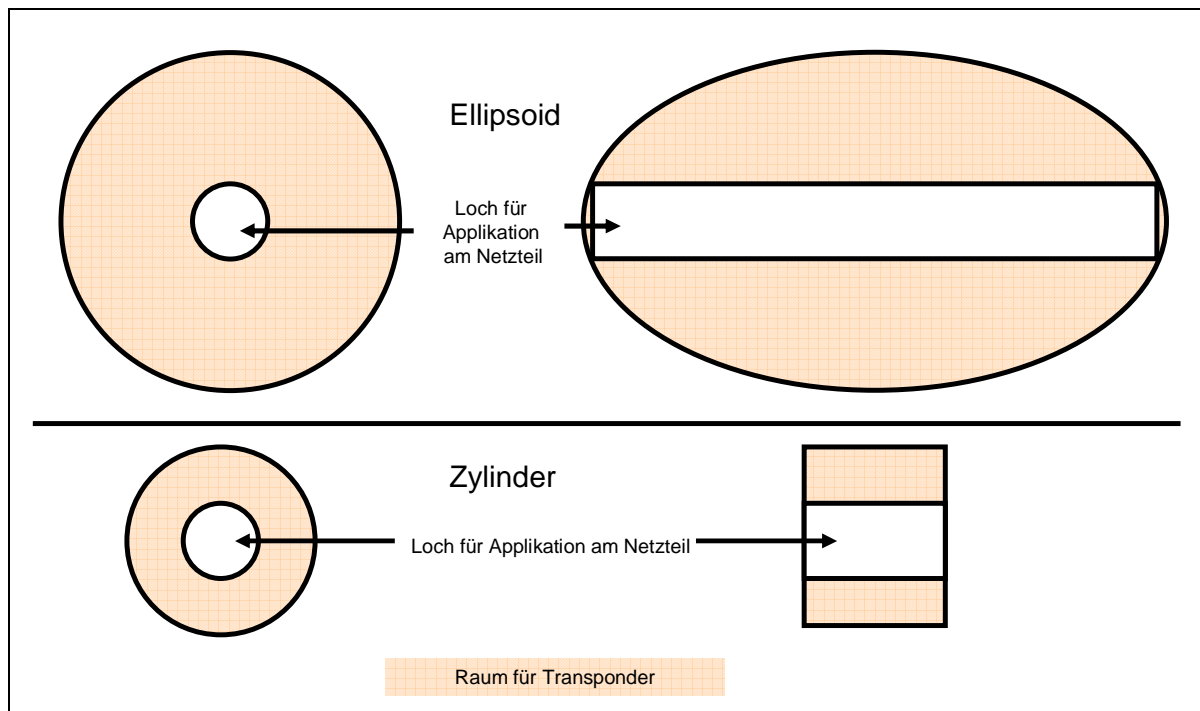


Abb. 4-1: Anforderungsgerechte Gehäusegeometrien

Aufgrund der eckigeren Form des zylindrischen Gehäuses in axialer Richtung muss der Gesamtdurchmesser geringer - ca. halb so groß - als beim Ellipsoid sein, um einem Verfangen im Netz und damit der Behinderung des Fangvorganges vorzubeugen.

Abb. 4-2 stellt drei Möglichkeiten dar, Transponder in ein ellipsoides Gehäuse einzubringen:

- grün: mehrere Transponder mit verschiedener Ausrichtung,
- blau: zwei gebogene Transponder und
- rot: Helixform eines Transponders um den Kern des Gehäuses.

Abb. 4-3 zeigt diese Möglichkeit für das zylindrische Gehäuse, wobei hier lediglich die zu einem Kreis gebogene Einbringung des Transponders möglich ist.

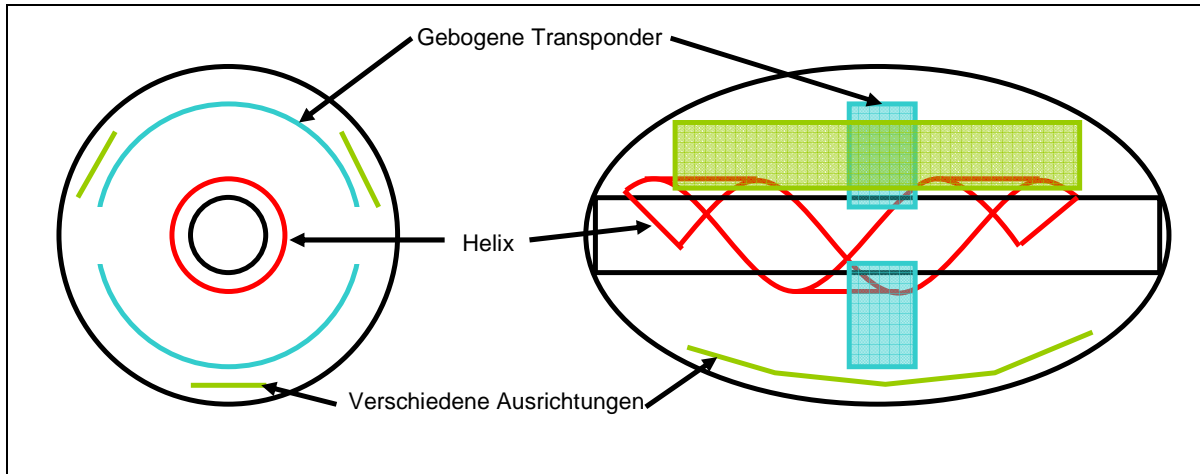


Abb. 4-2: Drei mögliche Einbringungsformen von Transpondern in ein elliptisches Gehäuse

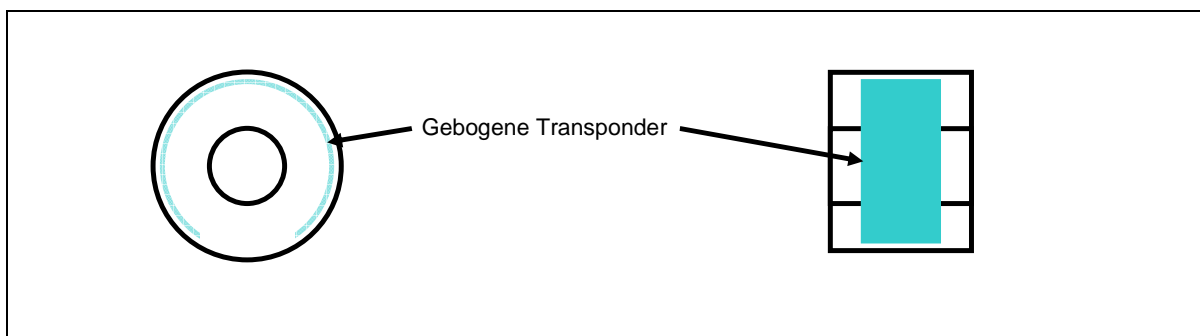


Abb. 4-3: Mögliche Einbringungsform eines Transponder in ein zylindrisches Gehäuse

Diese beiden Gehäusebauformen stellen die Grundlage für die Entwicklung der Lastfälle und damit für die Ableitung prüfbarer Messgrößen im folgenden Kapitel dar.

5 Ableitung von prüfbaren Messgrößen und -verfahren für Tags

Die Anforderungsgruppen Schutz, Speicher sowie Bauform/Applikation (vgl. Abb. 3-10, S. 64) stellen einfach ablesbare Eigenschaften der Tags dar, weshalb dafür keine Messgrößen abgeleitet werden müssen. Die Anforderungen im Bereich Lesbarkeit und Belastbarkeit hingegen sind keine per Definition erzielbaren Eigenschaften, die daher einer versuchstechnischen Überprüfung und damit einer Festlegung von Messgrößen für die einzelnen Eigenschaften bedürfen.

5.1 Messgrößen der Lesbarkeit

Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der zu entwickelnden Tags ergeben sich aus ihrer Erfassung in den verschiedenen Identifikationsprozessen.

5.1.1 Erfassungsreichweite

Das Funktionsprinzip von passiven RFID-Systemen wurde bereits in Kap. 2.1.3, S. 11 ausführlich beschrieben. Für die Erfassungsreichweite (auch Lesereichweite) ist vor allem relevant, dass das Lesegerät eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweist, um auch noch schwache Signale von weit entfernten Transpondern exakt zu erfassen. Gleichzeitig muss der Transponder in der Lage sein, einen möglichst großen Anteil der empfangenen Energie für den Betrieb des Mikrochips sowie zum Senden des Antwortsignals umzusetzen. Diese Eigenschaft wird auch als Sensitivität bezeichnet.[63] Je größer die Sensitivität ist, desto größer kann also auch die maximale Lesereichweite sein.

Für die Aufnahme der Lesereichweite der Tags soll ein standardisierter Aufbau verwendet werden. In folgenden Normen und Richtlinien sind Versuchsaufbauten für die Aufnahme der Lesereichweite festgehalten:

- ISO/IEC 18046, [64]
- ISO/IEC 18046, Teile 1, 2 und 3, [65], [66], [67]
- ISO/IEC 18047, Teile 2, 3, 4, 6 und 7, [68], [69], [70], [71], [72] und
- VDI 4472 Blatt 10, [73].

Die aufgeführten Normen und Richtlinien beschreiben unterschiedliche Verfahren zur Überprüfung einzelner Parameter von Transpondern, Schreib-/Lesegeräten sowie ganzer RFID-Systeme. Die anwendungsnahe Richtlinie VDI 4472 Blatt 10 wurde unter Einbezug der aufgeführten ISO/IEC-Normen konzipiert und beschreibt ein sehr ausführliches Verfahren zur Vermessung des gesamten Kommunikationsbereiches eines RFID-Systems sowie einen vereinfachten Test zur Bestimmung der Lesereichweite. Letzterer lässt bereits die Ermittlung von eindeutigen Aussagen über die Leistungsfähigkeit von verschiedenen Transpondern zu, wodurch er sich für die vorliegende Untersuchung qualifiziert: je größer die erzielbare Distanz, desto größer die Leistungsfähigkeit.

Dabei wird die maximal mögliche Distanz zwischen der Antenne des Schreib-/Lesegerätes und dem mittig sowie parallel dazu ausgerichteten Transponder ermittelt. Bei dem Versuchsaufbau muss ebenfalls der entsprechende Anbringungsuntergrund sowie die Ausrichtung der zu untersuchenden Tags berücksichtigt werden. Der Versuchsaufbau wird in Kap. 6.2.2, S. 80 beschrieben und abgebildet.

5.1.2 Lageunabhängigkeit

Je nach Erfassungsszenario müssen auch die potenziellen Ausrichtungen des Tags zu den Antennen der Schreib-/Lesegeräte berücksichtigt werden. Grund dafür ist die bereits in Kap. 2.2.3, S. 22 erläuterte Lageabhängigkeit von Dipoltranspondern. Dieser Aspekt ist bei der Gestaltung eines anforderungsgerechten Gehäuses für den Transponder in Kap. 4, S. 67 berücksichtigt worden.

Abb. 5-1 zeigt das Koordinatensystem, das für die vorliegenden Untersuchungen herangezogen wird.

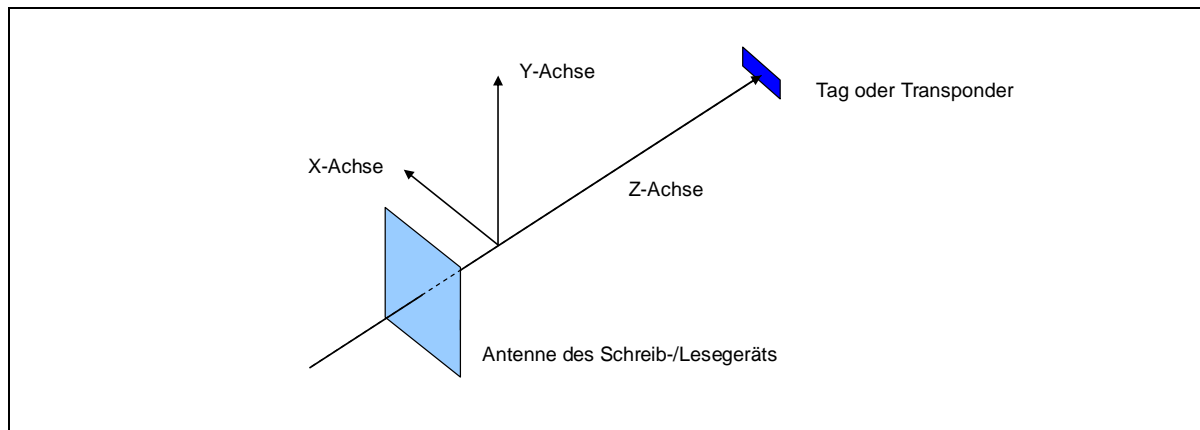


Abb. 5-1: Bezugskordinatensystem

5.1.3 Lesezuverlässigkeit

Die Lesezuverlässigkeit beschreibt die Sicherheit, mit der ein Tag bei einem Erfassungsvorgang erkannt wird. Sie kann nur anhand von realen Erfassungsvorgängen ermittelt werden. Dazu werden Tags an Netzteilen, die anschließend in der Fischereipraxis eingesetzt werden, angebracht. Bei jedem Einsatz der Netze wird versucht die Tags auszulesen. Das Verhältnis der erfolgreichen Erfassungen zu den durchgeführten Erfassungsversuchen entspricht dann der Lesezuverlässigkeit in Prozent [%]. Folgende Szenarien kommen in Frage:

- stationäre Erfassung eines Schleppnetzes auf einem Hecktrawler und
- stationäre Erfassung eines Stellnetzes am Holer.

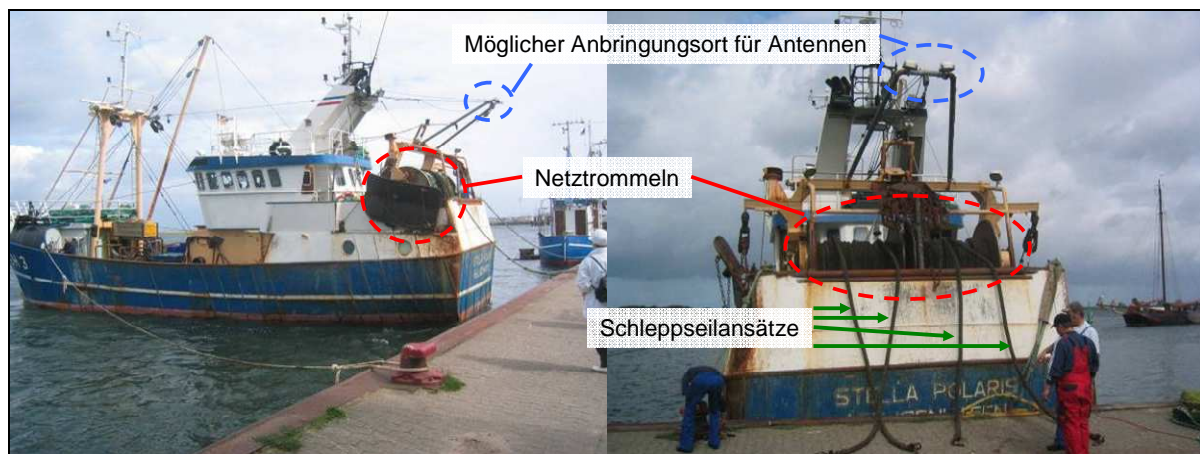


Abb. 5-2: Heckfänger von der Seite und von hinten mit Schleppseilansätzen

Die manuellen Erfassungen mit einem Handgerät sind grundsätzlich als zuverlässig zu betrachten, da der Kontrolleur so lange erfassen wird, bis ein

Identifikationsereignis eintritt. Ein Misserfolg kann auf einen fehlenden bzw. zerstörten Tag hinweisen.

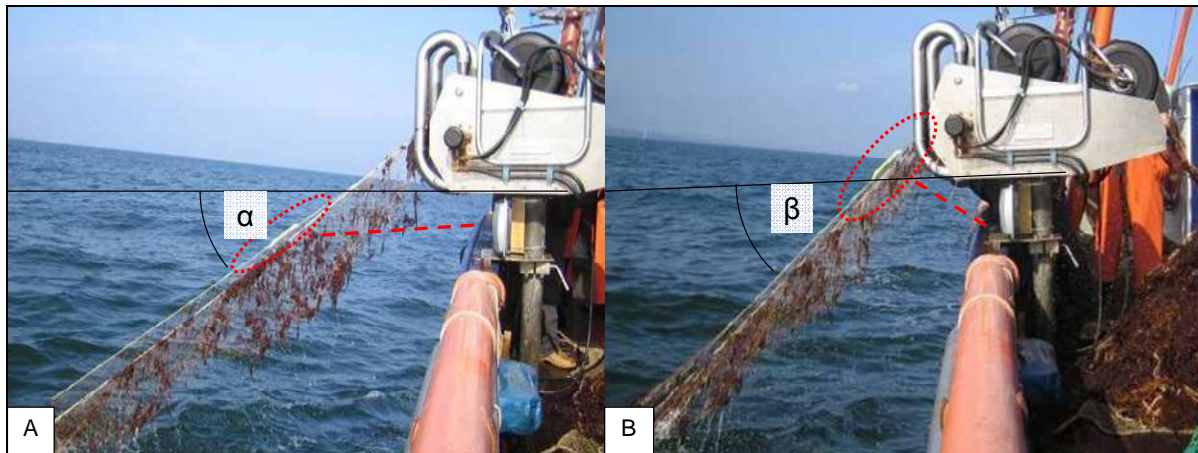


Abb. 5-3: Stationäre Erfassung eines Stellnetzes am Holer mit unterschiedlichen Antennenpositionen, unter dem Holer

A: α ist klein, daher größere Distanz und flacher Winkel zu Lesegerät

B: β ist größere, daher geringere Distanz und steiler Winkel zu Lesegerät

5.2 Messgrößen der Belastbarkeit

Mit fortschreitender Bearbeitung dieses Projektes hat sich deutlich gezeigt, dass konventionelle statische Materialkennwerte, wie Festigkeiten und Steifigkeiten, für die Auswahl des Tagwerkstoffes nicht vernachlässigbar sind, aber keine K.O.-Kriterien sind. Wesentlich wichtiger bei der Werkstoffauswahl sind die werkstoffabhängigen Messgrößen unter Kap. 5.1.

Deshalb wurden selbst keine statischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte von Kunststoffen ermittelt, sondern nur aus Datenbanken entnommen.

Für die spezielle Anwendung als Tag im Meerwasser werden aber für ausgewählte Kunststoffe die thermische und mediale Beständigkeit nach entsprechenden Prüfvorschriften oder in Anlehnung an solche ermittelt.

Zur Absicherung der Meerwasserbeständigkeit und gleichzeitig der Beständigkeit gegen hohe Temperaturen wird das Gehäuse bzw. das Material einem Alterungstest unterzogen. Hierzu wird es für 3 x 8 Stunden mit jeweils 12 Stunden Zwischenlagerung bei Raumtemperatur in einer 3 % igen Salzlösung bei 100°C gekocht. Diese Prüfungsmethode wurde in Anlehnung an internationale Normen zur Prüfung der Beständigkeit von Kunststoffen erarbeitet.[74] Die optischen und

elektromagnetischen Eigenschaften werden vorher und nachher auf Veränderungen hin untersucht. Die mechanischen Eigenschaften sollten jeweils an unbehandelten und behandelten Materialproben ermittelt werden. Ein Material ist dann beständig, wenn es bei keinem der Tests gravierende Eigenschaftsveränderungen - wie z.B. Versprödung, Verformung oder Farbveränderungen - zeigt. Verschleiß durch Abrasion und die UV-Beständigkeit an den ausgewählten Kunststoffen werden nicht untersucht, da hierzu nicht ausreichende Randbedingungen, wie Korngrößen, Kornhärte und andere tribologische Randbedingungen sowie die qualitative und quantitative UV-Belastung ermittelt werden konnten.

6 Auswahl der Werkstoffe für das Gehäuse

Die Diskussion der Eigenschaften elektromagnetischer Wellen in Kap. 2.2 sowie der Werkstoffeigenschaften in Kap. 2.1 hat gezeigt, dass eine direkte Abhängigkeit zwischen den elektromagnetischen Wellen, die einen UHF-Transponder erreichen sollen - und von ihm wieder reflektiert werden - und den ihn umgebenden Materialien besteht. Als besonders relevant haben sich die folgenden Werkstoffkennwerte ergeben:

- die Dielektrizitätskonstante (vgl. Kap. 2.3.2.4) und
- der dielektrische Verlustfaktor des Werkstoffs (vgl. Kap. 2.3.2.5).

Erste Untersuchungen zum Verhalten von UHF-Transpondern mit verschiedenen Materialien wurden bereits durchgeführt, aber genauere Zusammenhänge mit den Werkstoffen konnten daraus noch nicht abgeleitet werden.[75] [76] Zum Stand der Technik wurde dargelegt, dass für die Herstellung eines Gehäuses von Transpondern bevorzugt Kunststoffe mit sehr geringer Dielektrizität sowie einem möglichst geringen dielektrischen Verlustfaktor herangezogen werden sollten. Gleichzeitig müssen diese Transponder auch entsprechende mechanische Belastungen aushalten und einen für die Fangvorgänge günstigen Formfaktor aufweisen. Um all diese Faktoren berücksichtigen zu können, werden in einem ersten Schritt der Werkstoffauswahl potenzielle Kunststoffe anhand der Ergebnisse der Anforderungsanalyse und der ermittelten Messgrößen vorselektiert.

Anschließend wird mithilfe detaillierter Untersuchungen das Zusammenspiel dieser Kunststoffe mit UHF-Transpondern analysiert. Hierzu wird ein Untersuchungsprogramm entwickelt, das die Abhängigkeiten der Leistungseigenschaften der Transponder von den verwendeten Kunststoffen aufdecken soll. Es wird so möglich, die optimale Kombination von Transponder und Kunststoff zu ermitteln. Um die Auswirkungen der Werkstoffwahl bewerten zu können, müssen neben den verhältnismäßig leicht messbaren Leistungseigenschaften auch die physikalischen Zusammenhänge zwischen Transponder und Kunststoff ermittelt werden. Diese bilden sich im Frequenzspektrum der Transponder der verschiedenen Kunststoff-Transponder-Kombinationen ab.

6.1 Werkstoffauswahl anhand von Werkstoffkennwerten

Die bisherige Analyse zeigt, dass folgende Faktoren eines Werkstoffes für die Eingrenzung relevant sind:

- der Dielektrizitätswert der Kunststoffe sollte möglichst klein sein,
- der dielektrische Verlustfaktor sollte ebenfalls möglichst klein sein,
- die Steifigkeit der Kunststoffe sollte möglichst groß sein und wird anhand des E-Moduls in folgende drei Gruppen eingeteilt:
 - ca. 35 GPa und größer für Hochleistungsfaserverbunde (z.B. Kohlefaserverbundstoffe),
 - mindestens 1 GPa für unverstärkte Kunststoffe (z.B. ABS) und
 - unter 1 GPa für Elastomere,
- der Kunststoff muss beständig gegen Meerwasser,
- beständig gegen UV-Licht und
- genügend widerstandsfähig gegen Abrasion sein.

Letztlich ist das Material am besten geeignet, das bei einer aus belastungstechnischer Sicht optimalen Materialstärke die beste Ausprägung der Leistungsparameter erzielt.

Für die stille Fischerei kann dies durchaus ein flexibles Material aus dem Bereich der Elastomere (Steifigkeit unter 1 GPa) sein, wobei aber auch ein steifer Kunststoff (Steifigkeit über 1 GPa) in prozessorientierter Form (z.B. ein Schwimmer) denkbar ist.

6.2 Vorbereitung von Untersuchungen Frequenz- und Leistungseigenschaften

Grundsätzlich sind zwei Parameter des Frequenzspektrums eines Transponders interessant. Das sind einerseits die Mittel- oder auch Resonanzfrequenz der Tags sowie andererseits der Signalpegel in definierter Entfernung zum Tag. Beide Parameter unterliegen jedoch wiederum sehr unterschiedlichen Abhängigkeiten, die bisher nicht untersucht wurden. Die theoretischen Grundlagen für das Verhalten von

elektromagnetischen Wellen in dem hier zu betrachtenden Fall wurden bereits in Kap. 2.3.2 dargelegt und werden daher nicht noch einmal beleuchtet.

6.2.1 Ziel der Versuche

Mithilfe der folgenden Untersuchungen von Material-Transponder-Kombinationen sollen die Zusammenhänge zwischen Materialien, den Leistungseigenschaften von Tags sowie den Spektralparametern der Transponder ermittelt werden. Die erzielten Messwerte werden auf Korrelation in folgender Kombination untersucht:

- Materialstärke zu Leistungseigenschaften
- Materialstärke zu Spektralparametern
- Leistungseigenschaften zu Spektralparametern

Die ausgewählten Materialien werden mit am Markt ausgewählten Transpondern in verschiedenen Schichtdicken vor und hinter dem Transponder auf die erzielbare Lesereichweite sowie ihr Frequenzverhalten getestet.

6.2.2 Versuchsaufbauten

Zur Ermittlung der Spektralparameter und der Leistungsparameter ist jeweils ein separater Versuchsaufbau notwendig.

Die Ermittlung der Spektralparameter soll Zusammenhänge zwischen den elektromagnetischen Parametern und Materialparametern aufzeigen. Dazu müssen die oben beschriebenen Parameter des Transpondersignals erfasst werden. Eine relativ einfache Möglichkeit stellt die Verwendung eines Signalgenerators gekoppelt mit einem Spektrumanalysator dar (vgl. Abb. 6-1). Über eine Messsonde wird das vom Signalgenerator erzeugte Signal in den sich auf der Sonde befindlichen Transponder eingekoppelt. Der Transponder reflektiert das eingekoppelte Signal, welches über die Messsonde vom Spektrumanalysator erfasst und angezeigt wird. Das Frequenzspektrum des Transponders kann so aufgezeichnet und folgende Werte u.a. ermittelt werden:

- die Mittelfrequenz,
- der Signalpegel der Mittelfrequenz,
- die Bandbreite und

- der Signalpegel bei 868 MHz.

Die Sonde unterscheidet sich aufgrund ihrer Funktion als Messsonde in Aufbau und Reichweite von Antennen, die für Schreib-/Lesegeräte eingesetzt werden. Daher weichen die mit der Messsonde ermittelten Werte von den Werten, die bei der realen Kommunikation mit einem Schreib-/Lesegerät auftreten, ab. Da aber alle Versuche mit der gleichen Messsonde durchgeführt werden, sind die erzielten Werte vergleichbar und können für die Auswertung herangezogen werden.

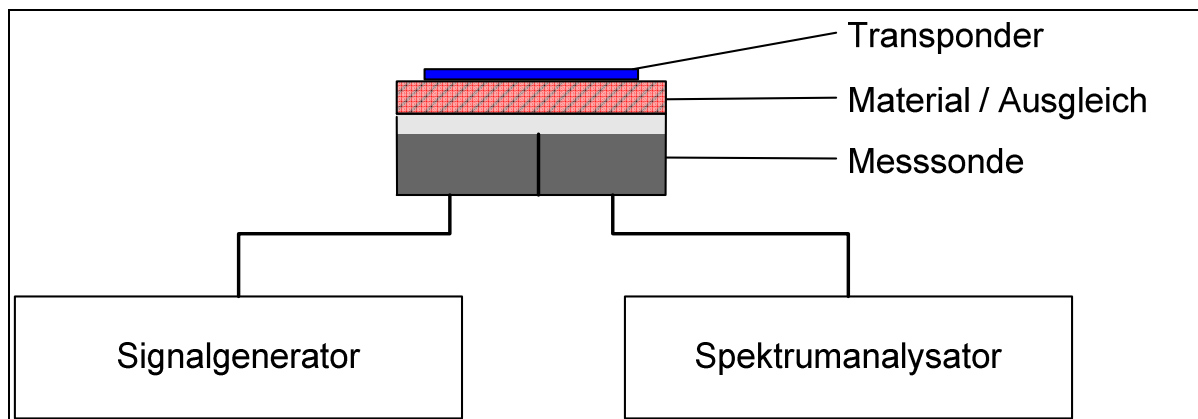


Abb. 6-1: Versuchsaufbau zur Spektralanalyse

Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Transpondern und Material-Transponder-Kombinationen sicherzustellen, musste eine übereinstimmende Positionierung der Transponder relativ zur Messsonde gewährleistet werden. Den Grund dafür zeigt Abb. 6-2. Durch eine stufenweise Entfernung des Transponders von der Messsonde wurden die abgebildeten Veränderungen im Signalpegel sowie der Mittelfrequenz gemessen, ohne dass weitere Modifikationen vorgenommen wurden. Daher ist eine möglichst identische Lage der Transponder zur Messsonde erforderlich.

Dazu wurden auf der Oberfläche Markierungen zur Ausrichtung der Transponder und Materialien in der horizontalen Ebene angebracht. Um die vertikale Distanz zwischen Messsonde und Transponder auch bei verschiedenen Materialkonstellationen konstant zu halten, wurde die Differenz zwischen der maximalen Distanz und der für den Messwert eingesetzten Materialstärke durch ein möglichst frequenzspektrumneutrales Material ersetzt. In einer entsprechenden Testreihe hat sich PE-Schaumstoff (DIM PE RO 2) als besonders günstig erwiesen. Abb. 6-2 zeigt die Messwerte der Distanzmessung mit PE-Schaum als Distanzmaterial. Es zeigt sich, dass es durchaus vertretbar ist, auf die sehr aufwendige Lösung eines

neutralen Greifsystems zu verzichten und stattdessen den aufgeführten PE-Schaumstoff als Distanzmaterial zu nutzen.

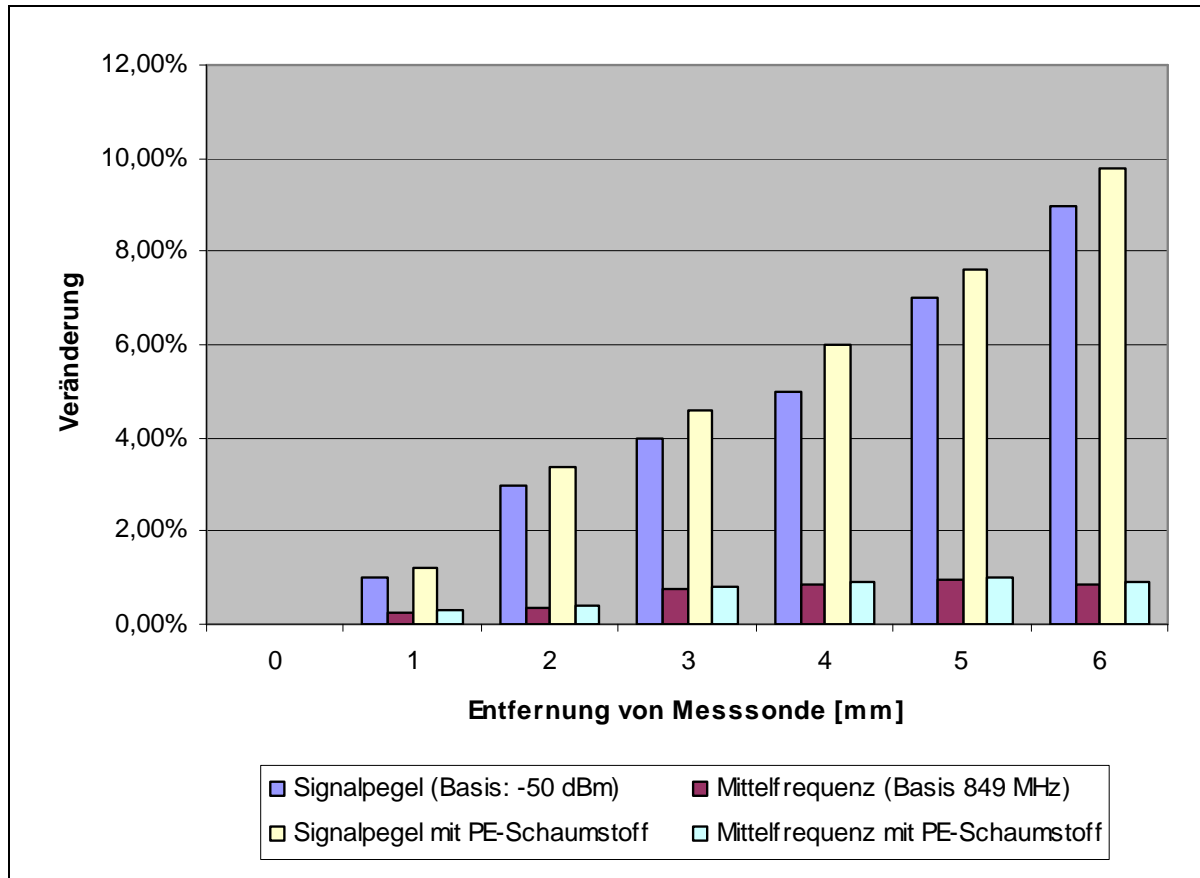


Abb. 6-2: Vergleich materialfreie Distanz zu PE-Schaum-Distanz

Nicht nur die Materialart, sondern auch die Einbringung des Transponders in bzw. an das Material ergeben einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Folgende Szenarien werden untersucht:

- Das Material befindet sich nur vor dem Transponder.
- Das Material befindet sich nur hinter dem Transponder.
- Das Material befindet sich sowohl vor als auch hinter dem Transponder, wobei hierbei folgendes unterschieden wird:
 - Beide Materialschichten sind gleich stark.
 - Die stärkere Materialschicht ist vor dem Transponder.
 - Die stärkere Materialschicht ist hinter dem Transponder.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte erhält man die in Abb. 6-3 dargestellten Versuchsanordnungen. Die abgebildeten Materialstärken dienen nur der

Veranschaulichung und stellen nicht die einzigen verwendeten Stärken dar. Grundsätzlich ist es für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wichtig, gleiche Dicken und Abmessungen der Materialproben zu verwenden. Dies hat sich aber - bezogen auf die Dicken - aufgrund der Materialverfügbarkeit als sehr schwierig und nicht umsetzbar herausgestellt.

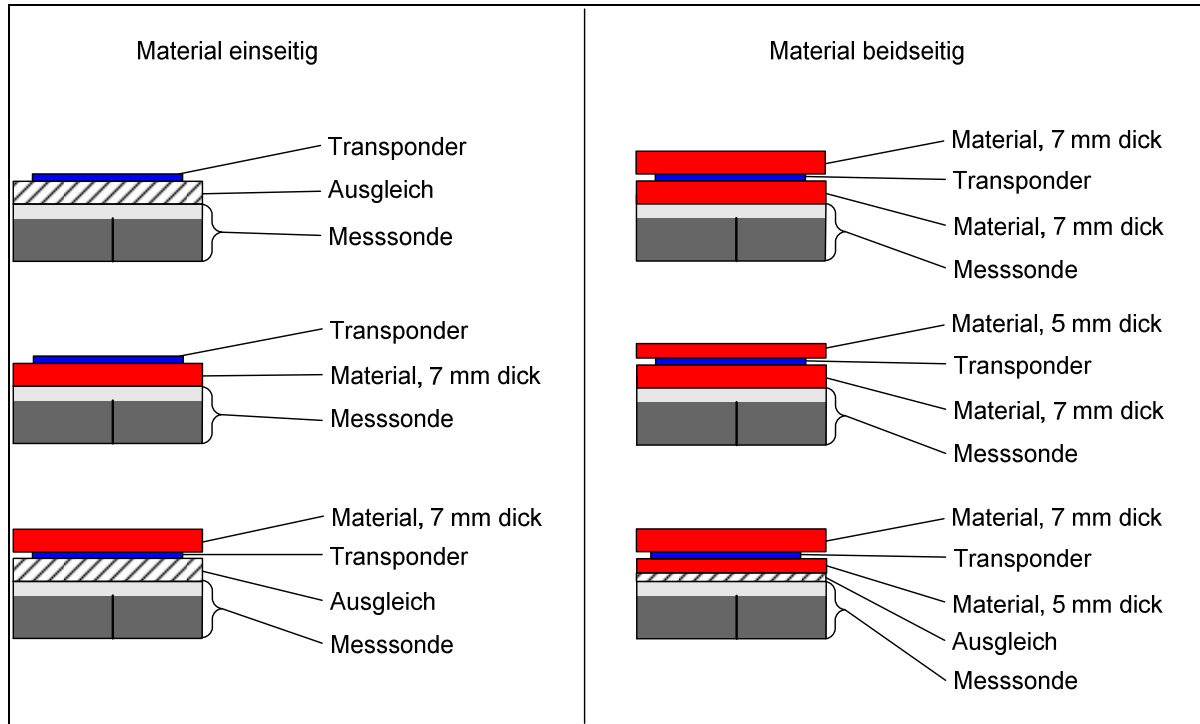


Abb. 6-3: Versuchsaufbau auf Messsonde unter Berücksichtigung verschiedener Materialstärken

Um weiterhin eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen verschiedenen Testreihen sicherzustellen, werden nicht nur regelmäßig Kalibrierungen der Geräte durchgeführt, sondern auch ein Referenztransponder eingesetzt, um die Messgenauigkeit zu verifizieren.

Die bisher beschriebene Spektralanalyse gibt Aufschluss über das Spektralverhalten der Transponder im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Materialien. Wie sich dieses Verhalten auf die Leistungsfähigkeit des Transponders auswirkt, kann damit aber nicht ermittelt werden.

Hierfür muss für die gleichen Kombinationen von Transpondern und Werkstoffen die jeweils maximal erzielbare Lesereichweite ermittelt werden. Auch hier ist es wichtig, möglichst vergleichbare Werte zu erhalten. Daher wird ebenfalls ein definierter Versuchsaufbau eingesetzt. Dieser Versuchsaufbau wurde in einem

elektromagnetisch abgeschlossenen Raum - einer Absorberkammer - umgesetzt, um eine Verfälschung der Versuchsergebnisse durch externe Störeinflüsse auszuschließen.

Eine Absorberkammer (vgl. Abb. 6-4) ist vollständig mit Metall umhüllt und verhindert so, dass elektromagnetische Wellen von außen eindringen können. Das Innere der Absorberkammer besteht aus Pyramidenabsorbern, die aus in Kohlenstoff getränktem Polyurethanschaum bestehen.

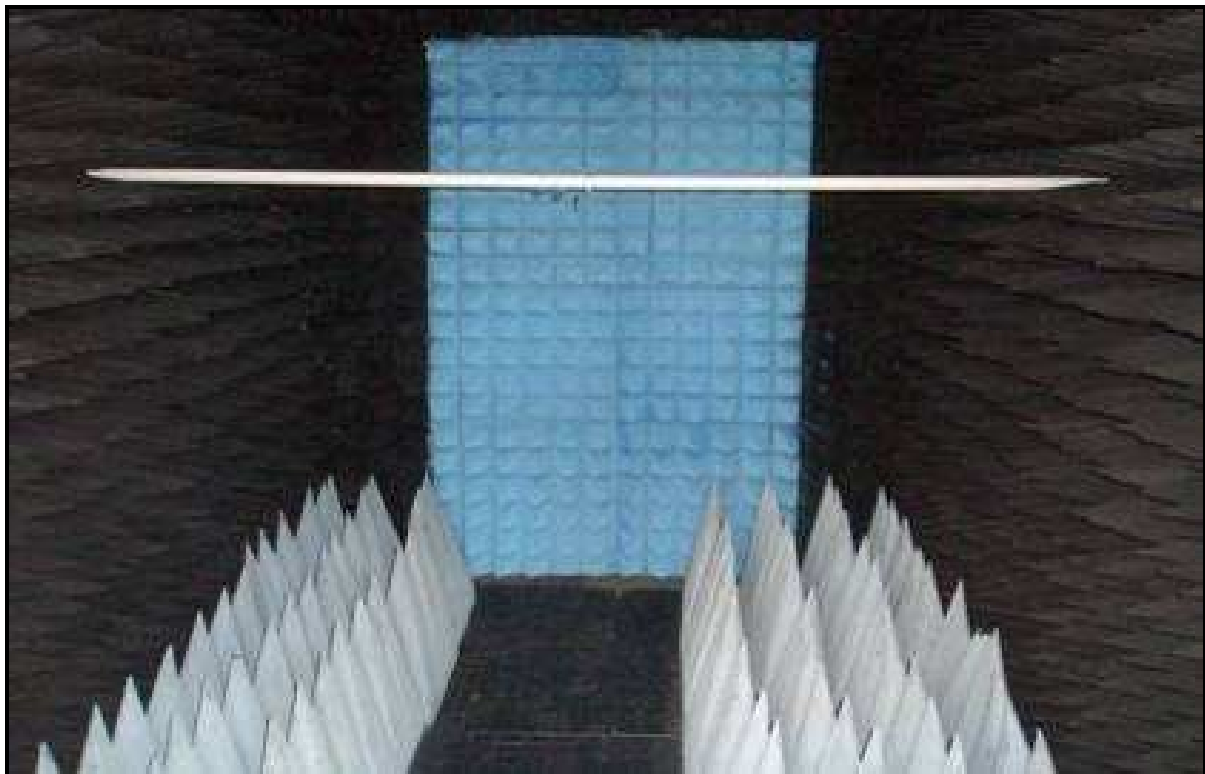


Abb. 6-4: Absorberkammer

Die Behandlung des Polyurethanschaums mit Kohlenstoff macht ihn elektrisch leitfähig und ermöglicht, dass die in der Kammer entstehenden elektromagnetischen Wellen absorbiert und nicht reflektiert werden (vgl. Abb. 6-5). Damit werden zufällige Auslesungen durch reflektierte Wellen ausgeschlossen und die Messwerte werden eindeutig.

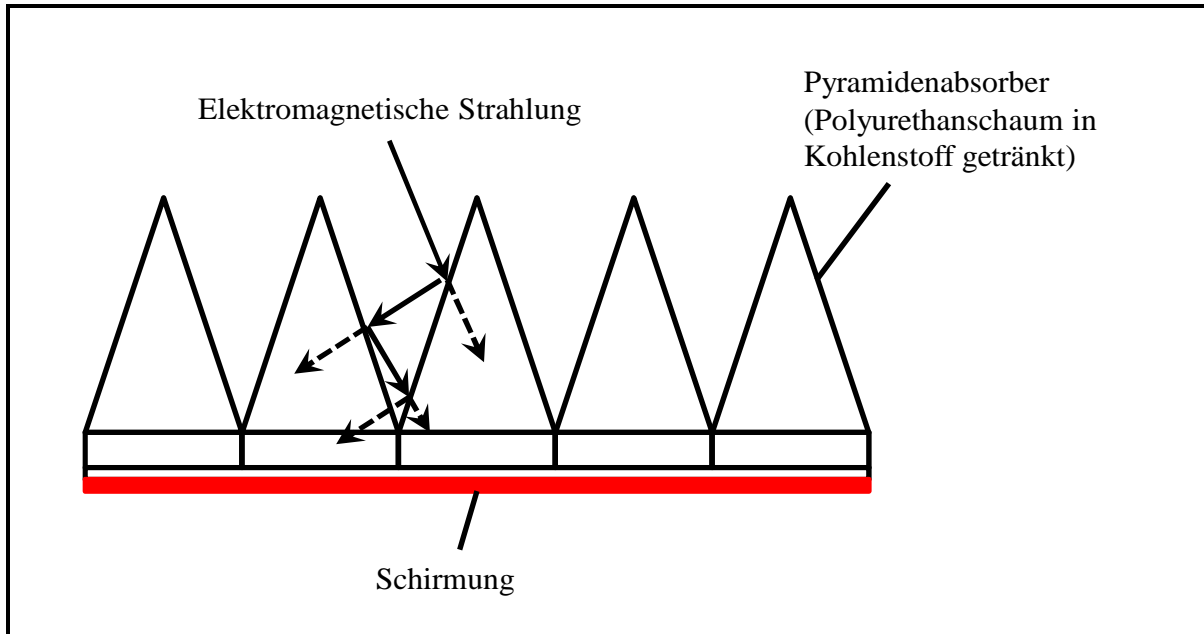


Abb. 6-5: Pyramidenabsorber

Der Transponder (bzw. die Kombination aus Transponder und Material) wird fix im Raum befestigt. Die Antenne des Lesegerätes ist auf einem Verschiebewagen montiert und wird langsam auf den Transponder zubewegt. Dabei ist die Antenne durchgängig exakt auf den Transponder ausgerichtet. Im Gegensatz zu Versuchen unter nicht optimalen Bedingungen ist der Grenzbereich zwischen „nicht-lesen“ und „durchgängig lesen“ in einer Absorberkammer sehr klein. Daher wird hier je Material-Transponder-Kombination nur ein Messwert aufgenommen. Im freien Feld würde zusätzlich der Wert der ersten Erfassung zum Wert der durchgehenden Erfassung dokumentiert.

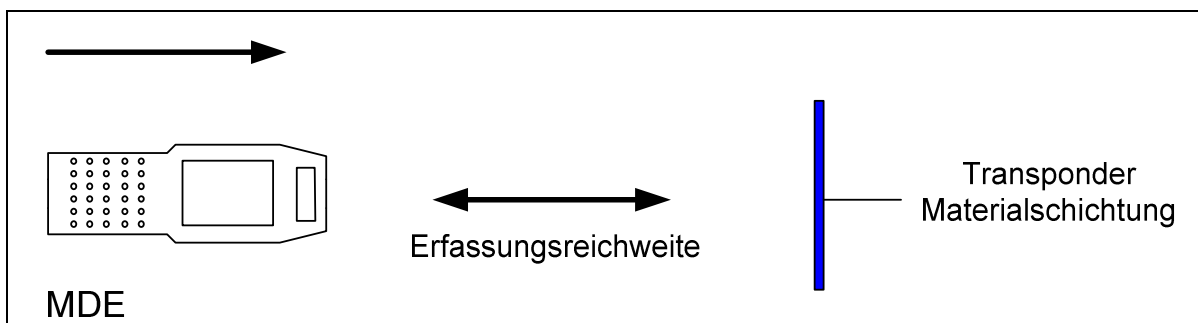


Abb. 6-6: Versuchsaufbau Erfassungreichweite

Für die Ermittlung der Erfassungreichweite in Kap. 6.3 wird ausschließlich ein Handgerät mit einem integrierten Schreib-/Lesegerät mit 50 mW Sendeleistung sowie einer integrierten linear polarisierten Antenne eingesetzt. Diese geringe Leistung im Vergleich zu der zugelassenen Leistung von 2.000 mW ist erforderlich,

um die Reichweiten auf eine innerhalb des elektromagnetisch abgeschlossenen Raums umsetzbare Entfernung zu beschränken.

Die für die Versuche herangezogenen Transponder können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Schmäler Dipol:
 - T1, T5 – T10
- Breiter Dipol:
 - T2 – T4

Weitere Kategorien wie

- ausrichtungsunabhängige Transponder und
- kleinflächige Dipoltransponder

sind für die Anwendung nicht relevant, da beide Gruppen über eine wesentlich geringere Leistungsfähigkeit verfügen.¹⁰ Grund dafür sind die jeweils speziellen Ausprägungen der Antennendesigns, die zwar Spezialanwendungen ermöglichen, für die gesuchte maximale Reichweite jedoch nicht ausgelegt sind.

Alle hier aufgeführten Transpondertypen arbeiten mit der nach ISO 18000-6 Part C standardisierten Luftschnittstelle, auch Gen2 genannt. Die einzelnen Transpondertypen waren über den Versuchszeitraum von Mitte 2006 bis Ende 2007 erst nach und nach verfügbar, sodass die jeweiligen Untersuchungen sukzessive mit den einzelnen Transpondern durchgeführt wurden.

6.2.3 Frequenzspektrum der Transponder

Bei der Aufzeichnung des Frequenzspektrums der Transponder können verschiedene Parameter ermittelt werden. Die Problematik der Frequenzverschiebung liegt in der geringen Breite der Frequenzbänder, die für den Betrieb von RFID-Geräten vorgesehen sind. Verschiebt sich die Frequenz der Signale eines Transponders so weit, dass das Signal außerhalb des vorgesehenen

¹⁰ Dies wurde in separaten Untersuchungen nachgewiesen, die aufgrund des Umfangs hier nicht explizit dokumentiert werden.

Frequenzbereiches liegt, werden die dadurch schwächeren Signale von den Datenerfassungsgeräten nicht mehr erfasst, der Transponder sendet ins „Leere“.

In der Literatur sind vereinzelt Hinweise, teilweise sogar mit Untersuchungen zum Verhalten der Resonanzfrequenz und zu Transpondern in verschiedenen Anwendungen zu finden.[75] [78] [79] Hier wurden jedoch nur ganz spezifische Anwendungen berücksichtigt und keine systematischen Untersuchungen vorgenommen. Es kann bisher kein einheitliches Bild des Verhaltens der Resonanzfrequenz auf bestimmte Umgebungsbedingungen abgeleitet werden. Eigene Untersuchungen im Vorfeld dieser Arbeit haben sehr stark materialabhängige Ergebnisse erbracht, wobei die Verschiebungen der Frequenz sehr deutlich waren und den Frequenzbereich für UHF-RFID-Systeme in Europa zwischen 865 und 868 MHz deutlich verlassen haben. Abb. 6-7 zeigt eine typische Resonanzkurve eines UHF-Transponders sowie die Grenzen des UHF-Arbeitsbereiches. Dieses Arbeitsspektrum von 3 MHz erlaubt somit eine theoretische Abweichung von ca. 0,35 % der Resonanzfrequenz, um eine optimale Leistung zu erzielen. Transponder sind jedoch in der Lage, auch neben der gewünschten Resonanzfrequenz zu arbeiten, was aufgrund des globalen Einsatzes der Transponder notwendig ist (vgl. Kap. 2.2.7).

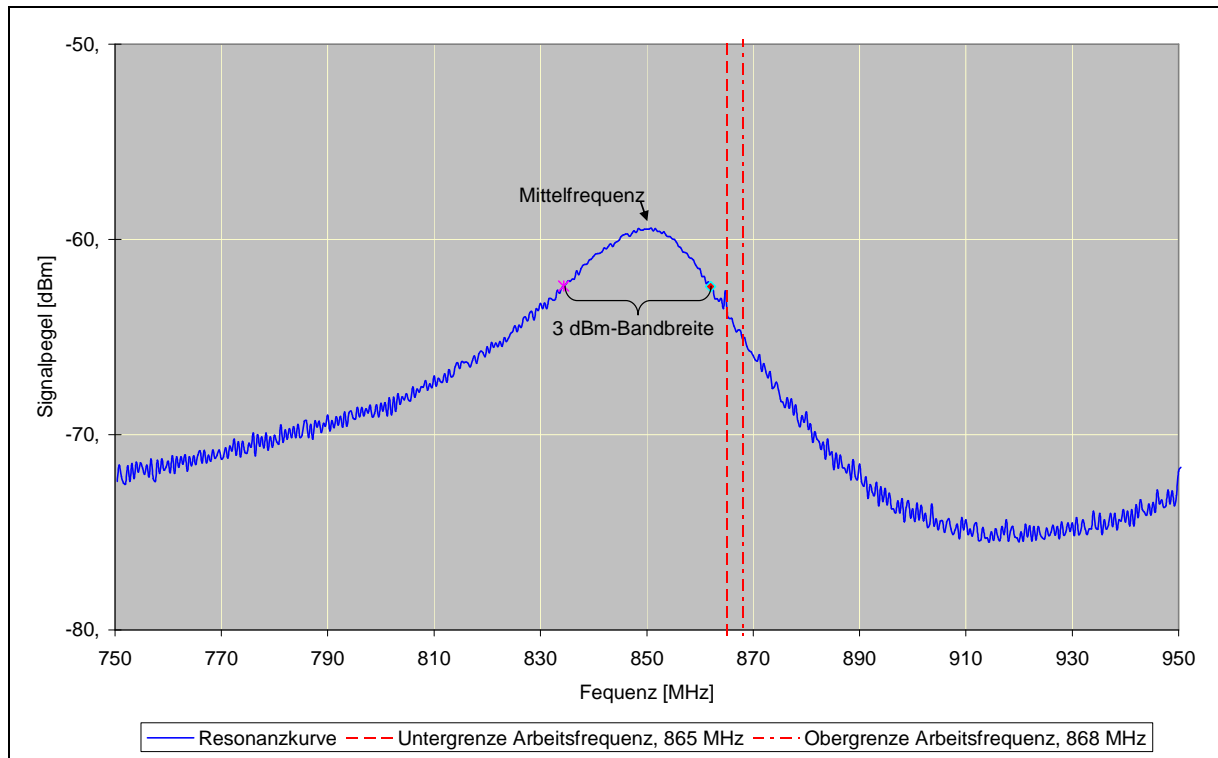


Abb. 6-7: Typische Resonanzkurve eines UHF-Transponders mit markierter Bandbreite sowie eingetragener Arbeitsfrequenz des UHF-Bereiches

6.3 Untersuchungen zum Verhalten von Transpondern ohne umgebendes Material

6.3.1 Erfassungreichweite von Transpondern ohne umgebendes Material

Zu Beginn der Untersuchung werden die Erfassungreichweiten der verschiedenen Transpondertypen gemessen, um die in den späteren Schritten ermittelten Reichweiten vergleichen und bewerten zu können. Die Ergebnisse mit 50 mW Sendeleistung reichen, abgesehen von einem Ausreißer mit 8 cm, von 46 bis 94 cm. Dabei muss an dieser Stelle angeführt werden, dass der T5 ein speziell auf Glas abgestimmter Transponder ist, der hier nur als Vergleichswert herangezogen wird, um später auf die Abstimmungsproblematik verweisen zu können.

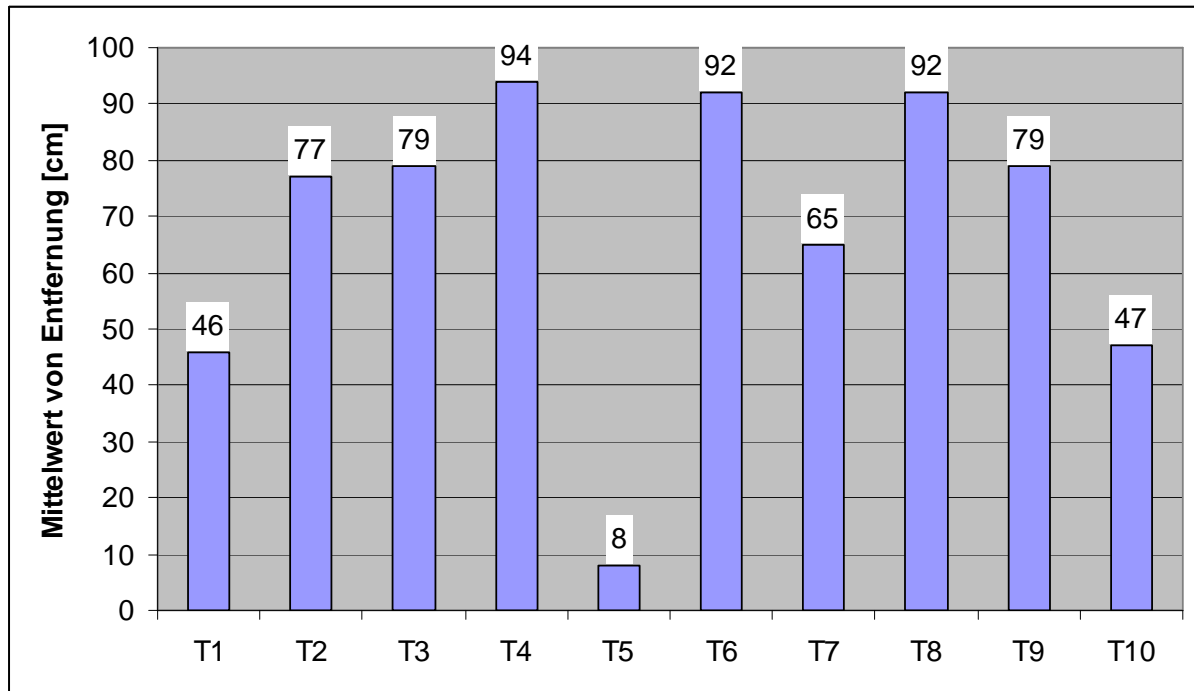


Abb. 6-8: Erfassungsreichweiten der nicht modifizierten Transponder (in der Absorberkammer mit 50 mW Sendeleistung)

Es zeigt sich, dass die hier dargestellten Transpondertypen sehr große Unterschiede aufweisen, solange sie ohne jegliches Untergrundmaterial untersucht werden. Im nächsten Schritt werden die Spektralparameter der Transponder in diesem Zustand ermittelt, um diese auf Zusammenhänge mit der Erfassungsreichweite zu prüfen.

6.3.2 Frequenzspektrum von Transpondern ohne Untergrundmaterial

Wie bei der Erfassungsreichweite wurden für die Spektralparameter die Ausgangslevel ohne umgebendes Material gemäß Versuchsaufbau Abb. 6-1, S. 81, ermittelt und in Tab. 6-1 aufgeführt. Die Mittelfrequenzen der einzelnen Transponder weisen bereits eine weite Streuung von 829 bis 991 MHz auf. Auch die Signalpegel differieren um insgesamt 13 dBm. In Anbetracht der Tatsache, dass der Verlust von 3 dBm einer Halbierung der Leistung entspricht, ist dies ein sehr deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Transpondertypen. Noch größer ist der Unterschied bei den Bandbreiten, die eine Spanne von 30 MHz aufweisen, was fast dem dreifachen der kleinsten Bandbreite entspricht. Da keiner der Transponder mit der Mittelfrequenz direkt im für Europa designierten Arbeitsbereich von 865 bis 868 MHz liegt, wird auch die Differenz zwischen dem Pegel der Mittelfrequenz und dem

Pegel im Arbeitsbereich aufgenommen. Es ergeben sich Signalpegeldifferenzen von bis zu 13 dBm.

6.3.3 Gegenüberstellung von Erfassungsreichweite und Frequenzspektrum der Transponder ohne Untergrundmaterial

Die ermittelten Werte für Reichweite und Frequenz können nun miteinander in Beziehung gesetzt werden, um Zusammenhänge zu ermitteln.

Transponder	Mittelfrequenz f(M) [MHz]	Delta f(M) zu f(868) [MHz]	Signalpegel P(f(M)) [dBm]	Bandbreite B (3) [MHz]	Signalpegel bei 868 MHz P(f(868)) [dBm]	Delta P(f(M)) zu P(f(868)) [dBm]	Erfassungsreichweite [cm]
T1	876	8	-63	13	-66	-3	46
T2	782	-86	-58	34	-71	-13	77
T3	913	45	-63	25	-71	-8	79
T4	853	-15	-53	30	-56	-3	94
T5	991	123	-66	20	-72	-6	8
T6	852	-16	-59	26	-65	-6	92
T7	871	3	-60	36	-60	0	65
T8	840	-28	-61	23	-72	-11	92
T9	829	-39	-58	30	-70	-12	79
T10	924	56	-53	43	-62	-9	47

Tab. 6-1: Kennwerte der Transponder und Erfassungsreichweiten ohne Material

Die in Tab. 6-1 abgebildeten Wertereihen der einzelnen Transponder lassen keinen genauen Schluss einzelner Kennwerte auf die erzielten Erfassungsreichweiten zu.

Bei keinem der Transponder liegt die Mittelfrequenz exakt im Arbeitsbereich. Daher wird geprüft, wie groß die Differenz zwischen der Mittelfrequenz des Transponders und dem Arbeitsbereich ist. Auch hier zeigt sich kein einheitliches Bild. Die Differenzen variieren von 3 bis 123 MHz und sowohl Transponder mit besonders großen als auch mit kleinen Differenzen erzielen nur kurze Reichweiten. Es lässt sich kein direkter Zusammenhang ablesen, da die Transpondertypen deutliche Unterschiede sowohl in der Erfassungsreichweite als auch im Frequenzspektrum aufweisen.

6.4 Verhalten von Transpondern in Kombination mit HDPE

6.4.1 Erfassungsreichweite von Transpondern mit HDPE

Zur Untersuchung der Reaktion der Transponder auf potenzielle Gehäusematerialien werden unterschiedlich starke Materialschichten vor und hinter dem Transponder platziert und jeweils die maximale Erfassungsreichweite ermittelt. Als Material wird an dieser Stelle hochdichtes HDPE (auch PE-HD) verwendet, welches eine gute Chemikalienresistenz, eine Dauertemperaturbelastungsresistenz von 100°C, einen niedrigen Dielektrizitätswert (bei 1 MHz) von ca. 2,4 sowie einen dielektrischen

Verlustfaktor (bei 1 MHz) von 0,0002 hat. Damit ist der Kunststoff grundsätzlich als Gehäusematerial für Transponder geeignet. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 6-1, S. 81 dargestellt.

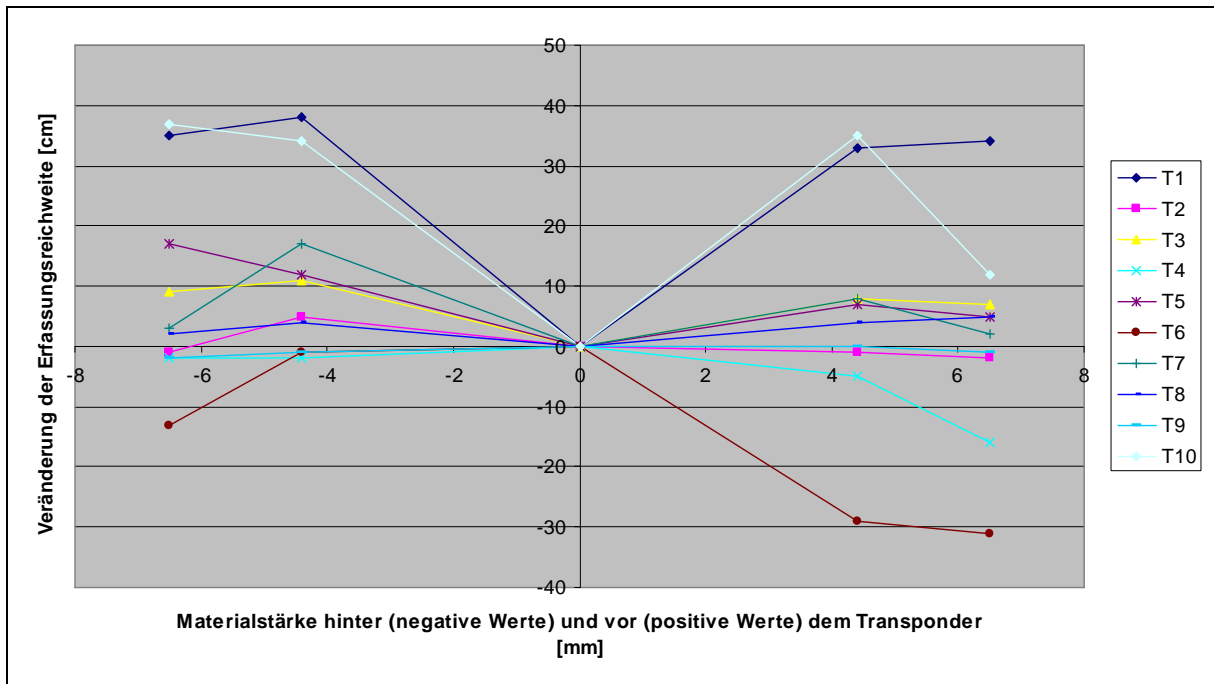


Abb. 6-9: Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder

Transponder	Veränderung der Entfernung [cm]	Materialstärke [mm]				
		6,5 dahinter	4,4 dahinter	4,4 davor	6,5 davor	
T1		35	38	0	33	34
T2		-1	5	0	-1	-2
T3		9	11	0	8	7
T4		-2	-2	0	-5	-16
T5		17	12	0	7	5
T6		-13	-1	0	-29	-31
T7		3	17	0	8	2
T8		2	4	0	4	5
T9		-2	-1	0	0	-1
T10		37	34	0	35	12

Tab. 6-2: Wertetabelle zur Veränderung der Erfassungsreichweite

Folgende Aussagen können getroffen werden:

1. Bei einigen Transpondern erhöht, bei den anderen verringert sich die Lesereichweite bei direktem Kontakt mit einem Gehäusewerkstoff. Die Transponder reagieren somit unterschiedlich auf das Material.

2. Die Erfassungsreichweite eines Transponders verändert sich in die gleiche Richtung, egal ob sich das Material vor oder hinter dem Transponder befindet.
3. Die Erfassungsreichweite hängt von der Stärke des Materials ab: unabhängig davon, ob sich das Material vor oder hinter dem Transponder befindet. Dabei führt die zunehmende Stärke meist zu einer gleichbleibenden oder sich verringernden Erfassungsreichweite.

Erweitert man diesen Test auf die Kombination von Material vor und hinter dem Transponder und vergleicht die Erfassungsreichweite mit der gesamten Materialstärke um den Transponder, ohne Rücksicht auf die Verteilung vor und dahinter, ergibt sich der in Abb. 6-10 dargestellte Verlauf der Erfassungsreichweite.

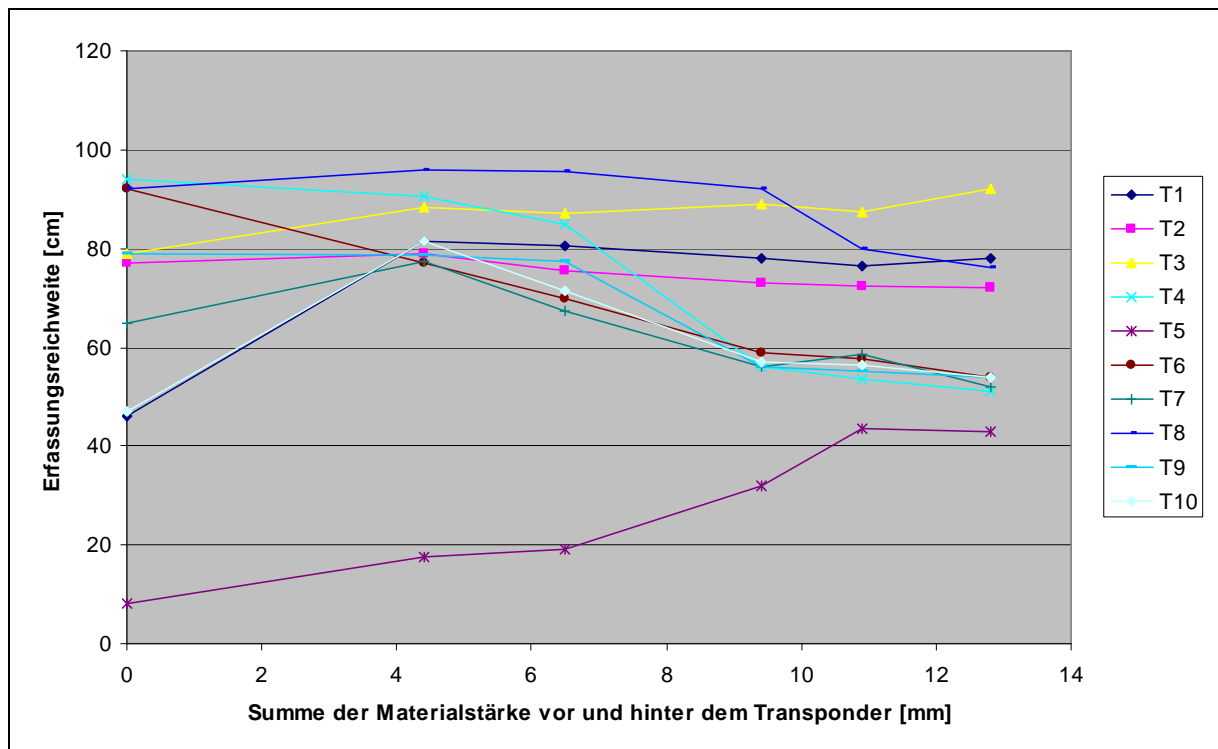


Abb. 6-10: Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von der Gesamtmaterialstärke

Transponder		Summe der Materialstärke [mm]					
		0	4,4	6,5	9,4	10,9	12,8
T1	Veränderung der Entfernung [cm]	46	81,5	80,5	78	76,5	78
T2		77	79	75,5	73	72,5	72
T3		79	88,5	87	89	87,5	92
T4		94	90,5	85	56	53,5	51
T5		8	17,5	19	32	43,5	43
T6		92	77	70	59	57,5	54
T7		65	77,5	67,5	56	58,5	52
T8		92	96	95,5	92	80	76
T9		79	78,5	77,5	56	55	54
T10		47	81,5	71,5	57	56,5	54

Tab. 6-3: Wertetabelle zur Veränderung der Erfassungsreichweite in Abhängigkeit von der Gesamtmaterialstärke HDPE

Es zeigt sich, dass die meisten Transponder mit zunehmender Gesamtmaterialstärke an Reichweite verlieren. In Kombination mit den Erkenntnissen aus Tab. 6-3 zeigt sich, dass diese Reduktion auch unabhängig vom Materialaufbau zu sein scheint. Es ist nun mithilfe der Spektralanalyse zu untersuchen, wie es möglich ist, dass ein Material zwischen Transponder und Leseantenne keine wesentlich stärker verkürzende Wirkung auf die Erfassungsreichweite als die Materialschicht hinter dem Transponder hat.

6.4.2 Frequenzspektrum von Transpondern mit HDPE

Zur Ermittlung der Frequenzspektren werden die identischen Material-Transponder-Kombinationen aus Kap. 6.4 mit dem oben beschriebenen Versuchsaufbau am Spektrumanalysator untersucht. Unterschiedlich starke Materialschichten werden vor und hinter dem Transponder platziert, das Frequenzspektrum aufgenommen und anschließend ausgewertet. Im Folgenden werden die einzelnen Parameter des Frequenzspektrums auf ihr Verhalten hin geprüft. Das Verhalten der Mittelfrequenz über die verschiedenen Materialstärken vor und hinter dem Transponder wird in Abb. 6-11, Tab. 6-4, Abb. 6-12 und Tab. 6-5 dargestellt.

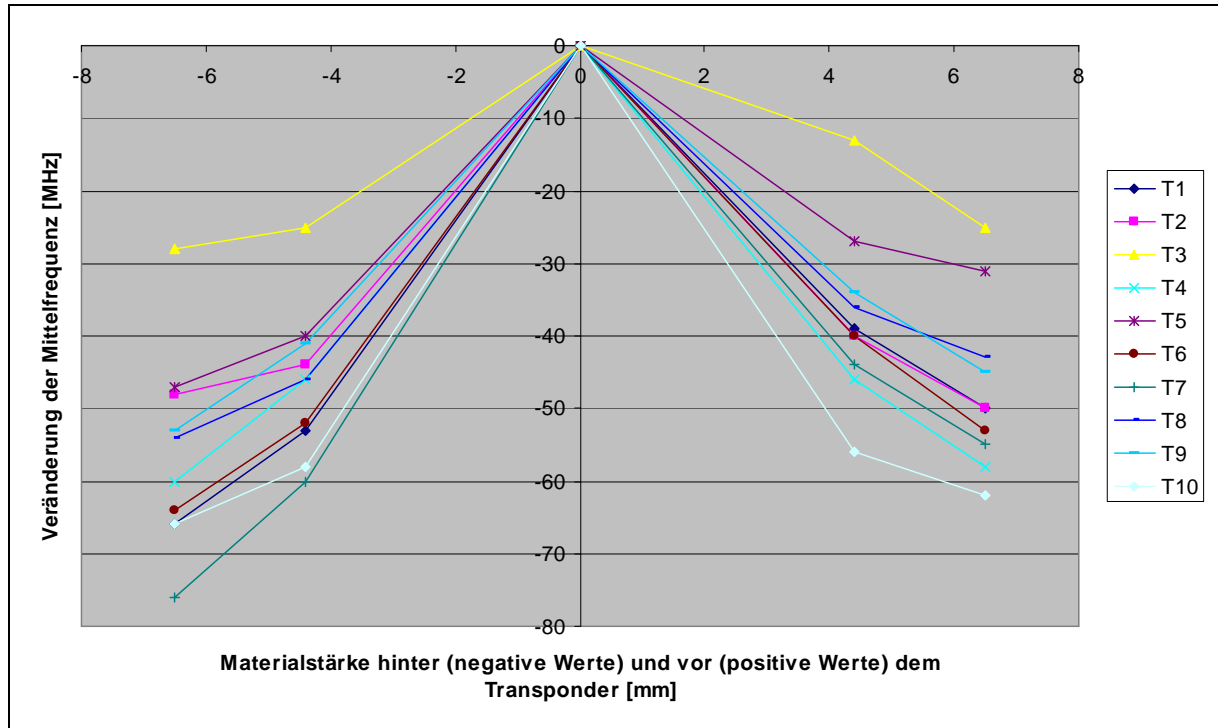


Abb. 6-11: Abhängigkeit der Mittelfrequenzänderung von der HDPE-Materialstärke vor und hinter dem Transponder

Transponder	Veränderung der Mittelfrequenz [MHz]	Materialstärke [mm]				
		6,5 dahinter	4,4 dahinter	4,4 davor	6,5 davor	
T1		-66	-53	0	-39	-50
T2		-48	-44	0	-40	-50
T3		-28	-25	0	-13	-25
T4		-60	-46	0	-46	-58
T5		-47	-40	0	-27	-31
T6		-64	-52	0	-40	-53
T7		-76	-60	0	-44	-55
T8		-54	-46	0	-36	-43
T9		-53	-41	0	-34	-45
T10		-66	-58	0	-56	-62

Tab. 6-4: Wertetabelle zur Veränderung der Mittelfrequenz von der HDPE-Materialstärke vor und hinter dem Transponder

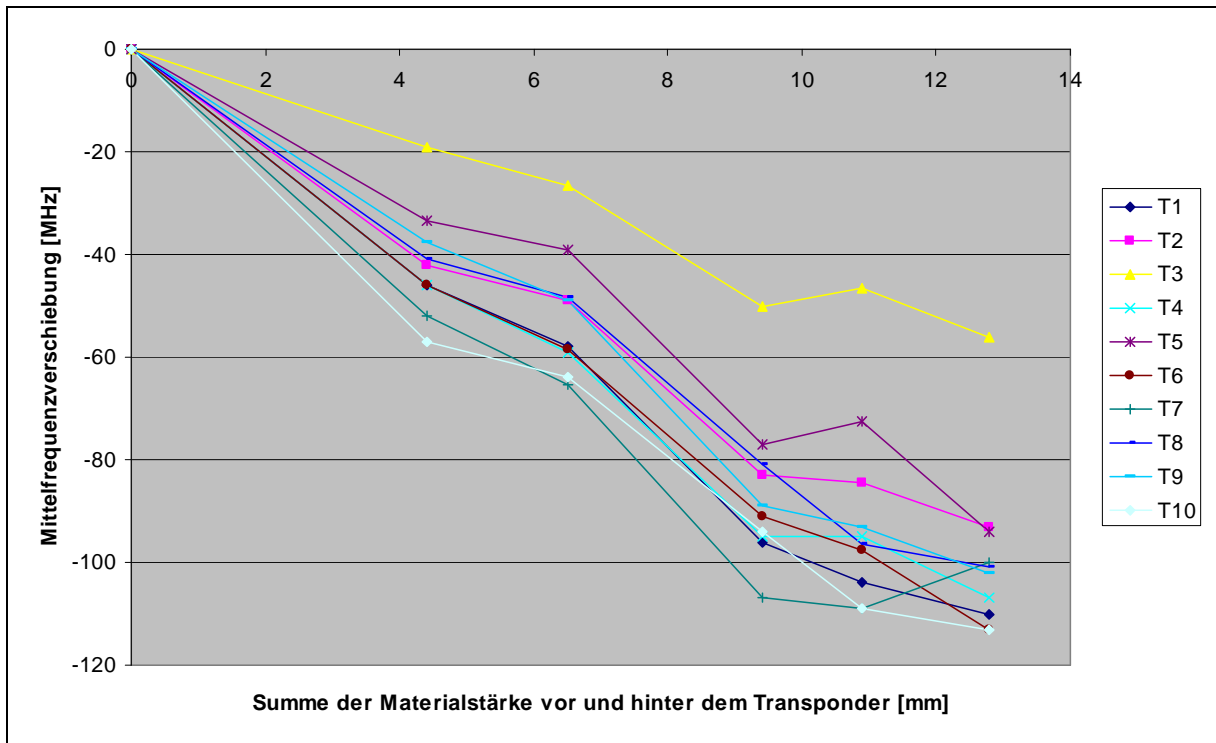


Abb. 6-12: Abhängigkeit der Mittelfrequenzänderung von der Summe der HDPE-Materialstärke

Transponder		Summe der Materialstärke [mm]					
		0	4,4	6,5	9,4	10,9	12,8
Veränderung der Mittelfrequenz [MHz]	T1	0	-46	-58	-96	-104	-110
	T2	0	-42	-49	-83	-84,5	-93
	T3	0	-19	-26,5	-50	-46,5	-56
	T4	0	-46	-59	-95	-95	-107
	T5	0	-33,5	-39	-77	-72,5	-94
	T6	0	-46	-58,5	-91	-97,5	-113
	T7	0	-52	-65,5	-107	-109	-100
	T8	0	-41	-48,5	-81	-96,5	-101
	T9	0	-37,5	-49	-89	-93	-102
	T10	0	-57	-64	-94	-109	-113

Tab. 6-5: Wertetabelle zur Veränderung der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von der Summe der HDPE-Materialstärken

Für die Mittelfrequenz können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Der Kontakt zu HDPE verringert die Mittelfrequenz aller untersuchten Transponder.
2. Sowohl die Anbringung vor als auch hinter dem Transponder ruft eine Reduzierung der Mittelfrequenz hervor.
3. Material, das vor dem Transponder angebracht wird, hat eine etwas geringere Auswirkung als das gleiche Material, das hinter dem Transponder angebracht wird.

4. Vergleicht man das Verhalten der einzelnen Transponder für die Erfassungsreichweite und die Mittelfrequenz, zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang, da sich die Mittelfrequenz bei allen verringert, die Erfassungsreichweite aber teilweise ansteigt oder abnimmt. Die Veränderung der Mittelfrequenz ist somit nicht allein ausschlaggebend für die Veränderung der Erfassungsreichweite.
5. Über die untersuchten Materialstärken vor und hinter dem Transponder verändert sich die Mittelfrequenz annähernd linear, was die Unabhängigkeit der Richtung des Materialauftrages unterstreicht.

Dieses Verhalten verdeutlicht, dass nicht ausschließlich die Mittelfrequenz die Erfassungsreichweite beeinflusst. Außerdem hat sich gezeigt, dass Material vor dem Transponder die Mittelfrequenz weniger stark beeinflusst als das dahinterliegende Material.

Das Verhalten des Signalpegels der Mittelfrequenz wird in Abb. 6-13, Tab. 6-6, Abb. 6-14 und Tab. 6-7 dargestellt.

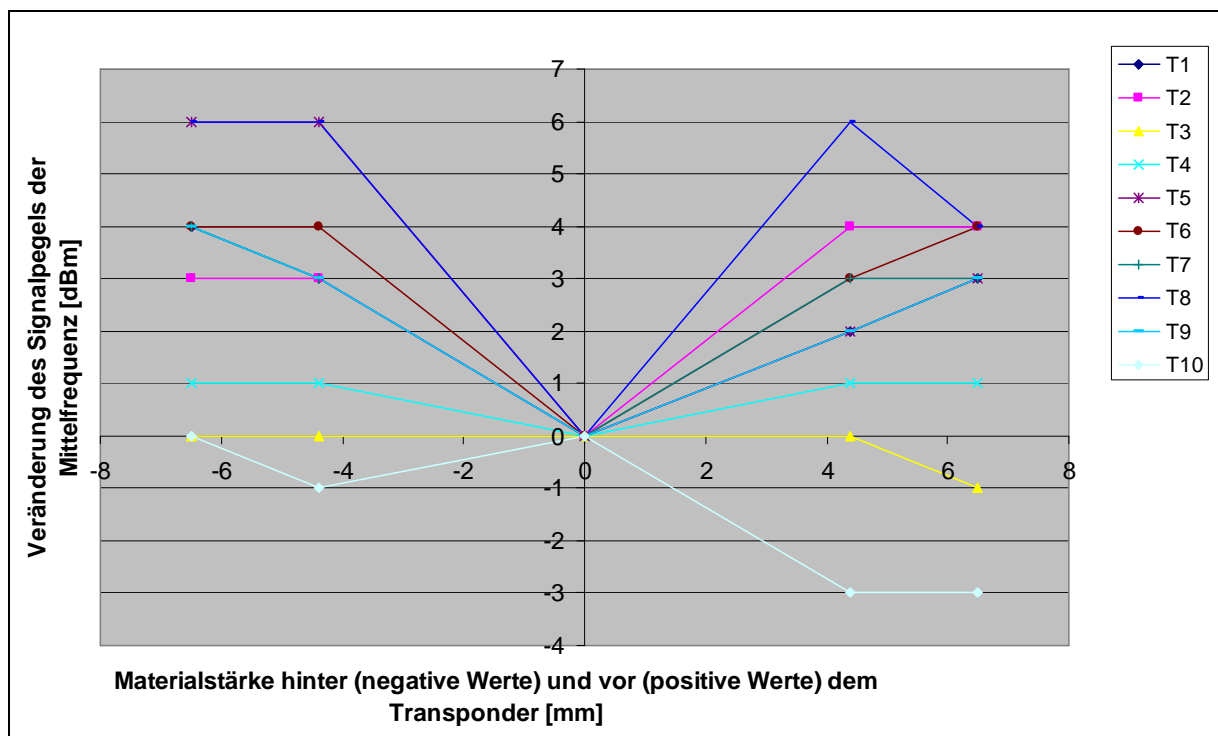


Abb. 6-13: Abhängigkeit der Signalpegeländerung der Mittelfrequenz von den HDPE Materialstärken vor und hinter dem Transponder

Transponder	Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz [dBm]	Materialstärke [mm]				
		6,5 dahinter	4,4 dahinter	0	4,4 davor	6,5 davor
T1		4	3	0	2	3
T2		3	3	0	4	4
T3		0	0	0	0	-1
T4		1	1	0	1	1
T5		6	6	0	2	3
T6		4	4	0	3	4
T7		4	3	0	3	3
T8		6	6	0	6	4
T9		4	3	0	2	3
T10		0	-1	0	-3	-3

Tab. 6-6: Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder

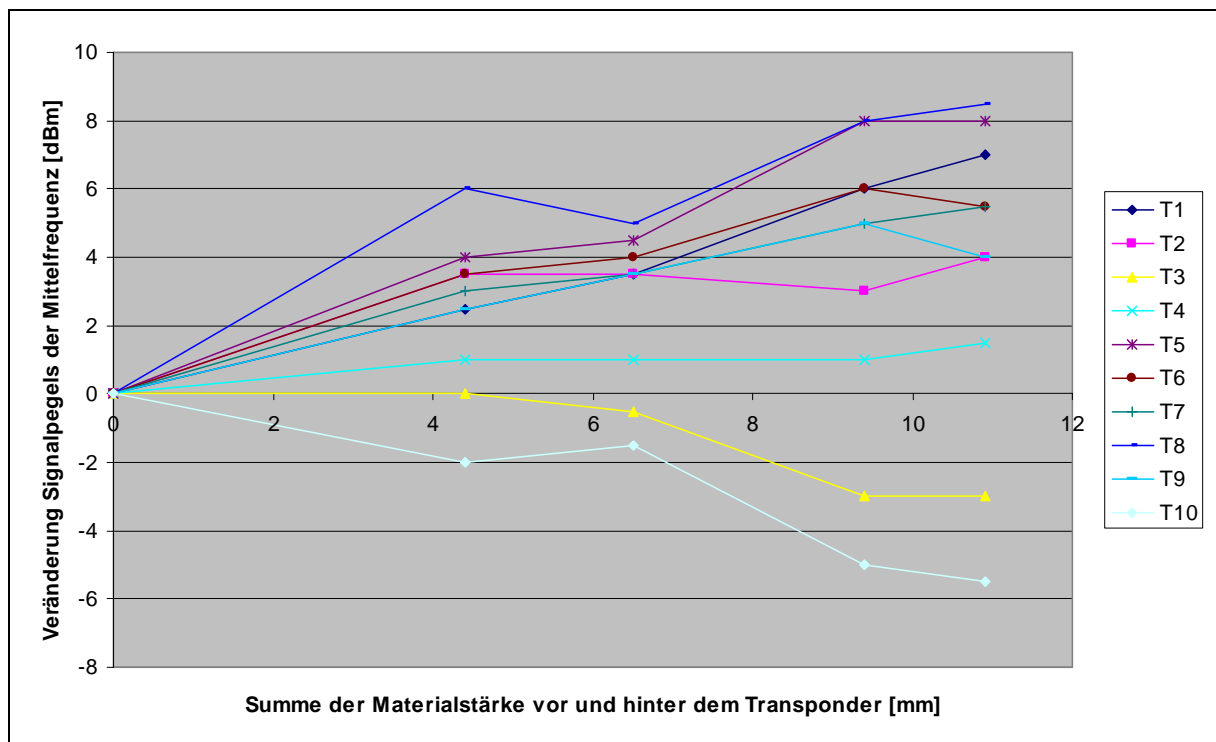


Abb. 6-14: Abhängigkeit der Signalpegeländerung der Mittelfrequenz von den summierten HDPE-Materialstärken

Transponder	Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz [dBm]	Summe der Materialstärke [mm]					
		0	4,4	6,5	9,4	10,9	12,8
T1		0	2,5	3,5	6	7	6
T2		0	3,5	3,5	3	4	3
T3		0	0	-0,5	-3	-3	-2
T4		0	1	1	1	1,5	2
T5		0	4	4,5	8	8	9
T6		0	3,5	4	6	5,5	5
T7		0	3	3,5	5	5,5	6
T8		0	6	5	8	8,5	8
T9		0	2,5	3,5	5	4	4
T10		0	-2	-1,5	-5	-5,5	-6

Tab. 6-7: Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von den summierten HDPE-Materialstärken

Für den Signalpegel der Mittelfrequenz können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Das Verhalten der Transponder ist nicht einheitlich.
2. Es kommt sowohl zu einer Verstärkung als auch zu einer Abschwächung des Signals, von stark reduzierend (z.B. T10) bis stark zunehmend (z.B. T8).
3. Die Reaktion eines Transponders ist bei der Aufbringung des Materials sowohl vor als auch hinter dem Transponder gleichgerichtet und ähnlich stark ausgeprägt.

Die festgestellte breite Streuung der Veränderung des Signalpegels begründet sich in der Möglichkeit, Transponder unterschiedlich auszulegen. Je nach Antennendesign sind unterschiedliche Eigenschaften erreichbar, wie bereits an anderer Stelle untersucht wurde.[75] [78] [79] Dabei wurden jedoch die Einflüsse von umgebenden Materialien nicht berücksichtigt.

Aufgrund der deutlichen Veränderung der Mittelfrequenz und ihres Signalpegels ist auch von einer Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz, also der Arbeitsfrequenz, auszugehen (vgl. Abb. 6-15 und Tab. 6-8).

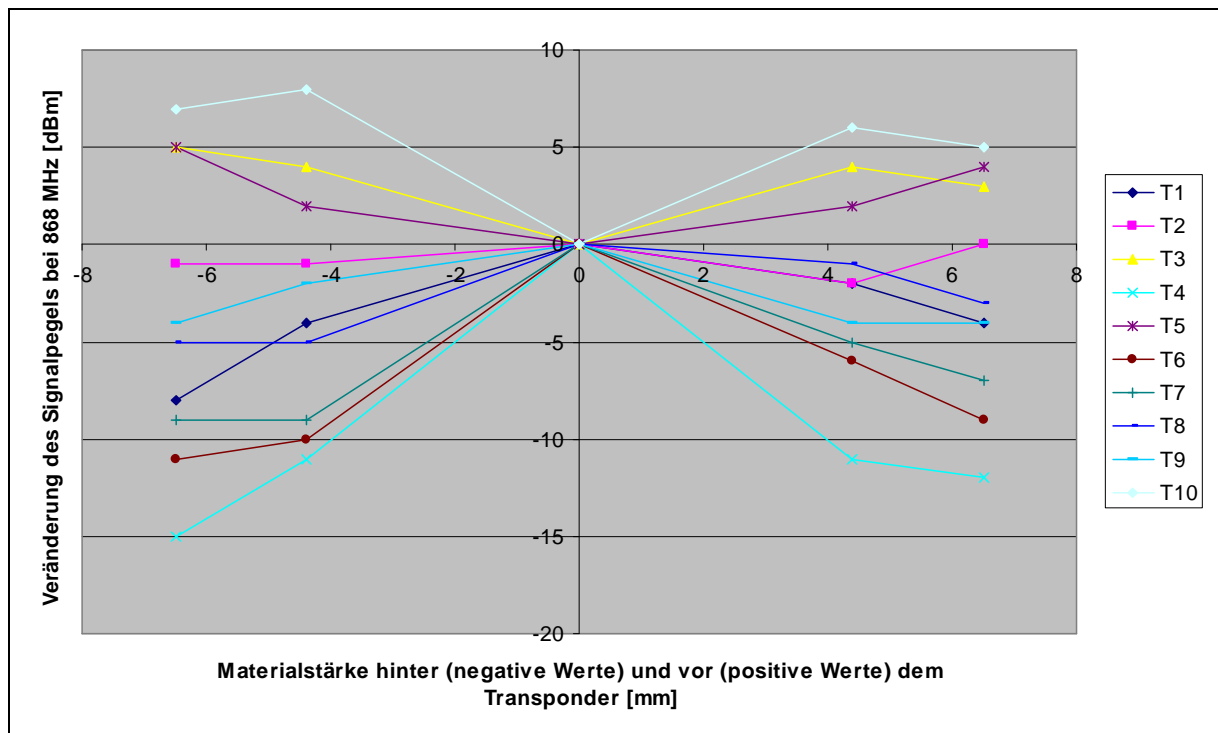


Abb. 6-15: Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder

Transponder		Materialstärke [mm]				
		6,5 dahinter	4,4 dahinter	0	4,4 davor	6,5 davor
T1	Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz [dBm]	-8	-4	0	-2	-4
T2		-1	-1	0	-2	0
T3		5	4	0	4	3
T4		-15	-11	0	-11	-12
T5		5	2	0	2	4
T6		-11	-10	0	-6	-9
T7		-9	-9	0	-5	-7
T8		-5	-5	0	-1	-3
T9		-4	-2	0	-4	-4
T10		7	8	0	6	5

Tab. 6-8: Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder

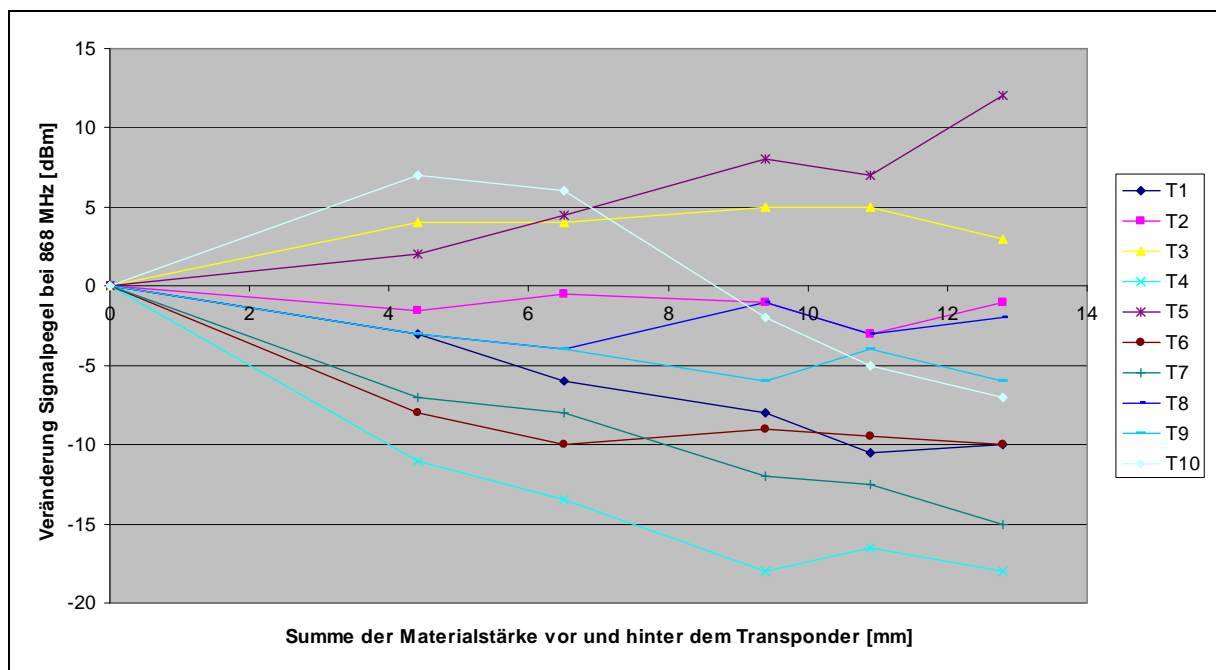


Abb. 6-16: Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den summierten HDPE Materialstärken

Transponder		Summe der Materialstärke [mm]					
		0	4,4	6,5	9,4	10,9	12,8
T1	Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz [dBm]	0	-3	-6	-8	-10,5	-10
T2		0	-1,5	-0,5	-1	-3	-1
T3		0	4	4	5	5	3
T4		0	-11	-13,5	-18	-16,5	-18
T5		0	2	4,5	8	7	12
T6		0	-8	-10	-9	-9,5	-10
T7		0	-7	-8	-12	-12,5	-15
T8		0	-3	-4	-1	-3	-2
T9		0	-3	-4	-6	-4	-6
T10		0	7	6	-2	-5	-7

Tab. 6-9: Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den summierten HDPE-Materialstärken

Für den Signalpegel bei 868 MHz können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Das Verhalten der Transponder ist nicht einheitlich.
2. Es kann sowohl zu einer Verstärkung als auch zu einer Abschwächung des Signals kommen, von stark reduzierend (z.B. T4) bis zunehmend (z.B. T3).
3. Die Reaktion eines Transponders ist bei der Aufbringung des Materials sowohl vor als auch hinter dem Transponder gleichgerichtet und ähnlich stark ausgeprägt.
4. Bei einem Transponder (T10) nimmt der Signalpegel erst zu, bevor er dann stark abnimmt.

Der Signalpegel bei 868 MHz ist von verschiedenen Parametern abhängig. Als besonders relevant kann der Verlauf der Resonanzkurve gelten. Je nachdem wie stark die Kurve steigt oder fällt und wie groß die Differenz von Mittelfrequenz und Arbeitsfrequenz (868 MHz) ist, verändert sich der Signalpegel bei 868 MHz entsprechend. Ein weiterer Parameter ist damit die Stärke der Verschiebung der Mittelfrequenz. Je mehr diese verschoben wird, desto stärker verändert sich der Signalpegel bei 868 MHz.

Wie bereits in Kap. 2.2.7 näher erläutert, hat die 3 dBm-Bandbreite keine praktische Relevanz für die Erfassungsreichweite. Daher wird dieser Wert nicht separat analysiert.

6.4.3 Ableitung von Zusammenhängen zwischen Erfassungsreichweite und den Kennwerten der Frequenzspektren von Transpondern

Die bisherigen Betrachtungen haben gezeigt, dass die Transponder teilweise sehr unterschiedlich auf identische Materialkonstellationen reagieren. In diesem Kapitel werden die Einzelergebnisse zusammengefasst und es wird versucht, Zusammenhänge zwischen der Materialstärke, dem Leistungsparameter Erfassungsreichweite und den drei Spektralparametern Mittelfrequenz, Signalpegel der Mittelfrequenz und Signalpegel bei 868 MHz abzuleiten. Dementsprechend wurden die vorliegenden Messreihen mit HDPE (450 Messwerte) nach den in Tab. 6-10 dargestellten Mustern ausgewertet.

Korrelation von Materialstärke zu				
	Erfassungreichweite	Mittelfrequenz	Signalpegel der Mittelfrequenz	Signalpegel bei 868 MHz
T1	0,68	-0,99	0,96	-0,98
T2	-0,86	-0,99	0,70	-0,55
T3	0,85	-0,98	-0,82	0,67
T4	-0,93	-0,99	0,94	-0,94
T5	0,96	-0,98	0,98	0,96
T6	-0,99	-1,00	0,90	-0,83
T7	-0,70	-0,95	0,99	-0,99
T8	-0,73	-0,99	0,92	-0,34
T9	-0,89	-0,99	0,88	-0,91
T10	-0,10	-0,99	-0,96	-0,64
Mittelwert	-0,27	-0,98	0,55	-0,45
Mittelwert vom Betrag	0,77	0,98	0,90	0,78

Tab. 6-10: Korrelation der Leistungs- und Spektralparameter zur summierten Materialstärke

Demnach wurde die vor und hinter dem Transponder angebrachte Materialstärke mit den vier Parametern der einzelnen Transpondertypen auf Korrelation untersucht und die dargestellten Korrelationskoeffizienten ermittelt. Der Mittelwert vom Betrag zeigt, dass die Materialstärke auf alle vier Parameter einen starken Einfluss ausübt. Der Mittelwert zeigt jedoch, dass nur die Mittelfrequenz bei allen Transpondern eine gleich starke und zusätzlich gleich gerichtete Abhängigkeit zur Materialstärke aufweist. Je mehr HDPE sich um die Transponder befindet, desto mehr verringert sich die Mittelfrequenz der Transponder.

Die Erfassungreichweite vergrößert sich bei einigen Transpondern, bei anderen verringert sie sich jedoch. Einzige Ausnahme stellt der T10 dar, dessen Erfassungreichweite sich nicht eindeutig mit zunehmender Materialstärke verbessert oder verschlechtert.

Der Signalpegel der Mittelfrequenz zeigt einen starken Zusammenhang mit der Materialstärke bei allen Transpondern auf, wobei diese sich bei einigen erhöht und bei anderen verringert.

Der Signalpegel bei 868 MHz weist bei allen Transpondern einen weniger starken Zusammenhang mit der Materialstärke auf. Dies kann vorrangig auf die verschiedenen Verläufe der Resonanzkurven zurückgeführt werden. Je flacher der

Abfall der Kurve ist, desto geringer ist die Veränderung der Pegel bei einer Frequenzverschiebung.

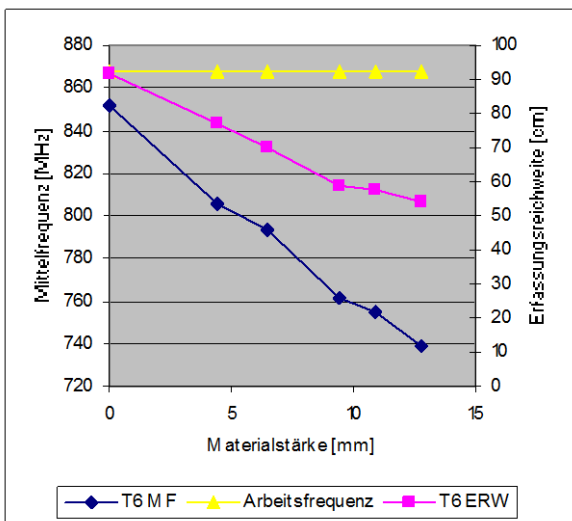
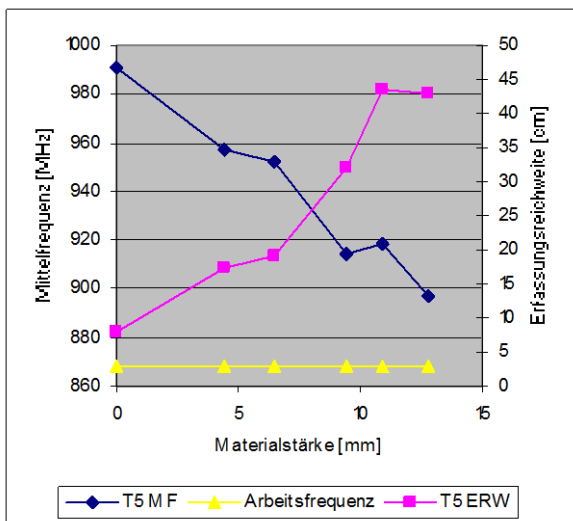
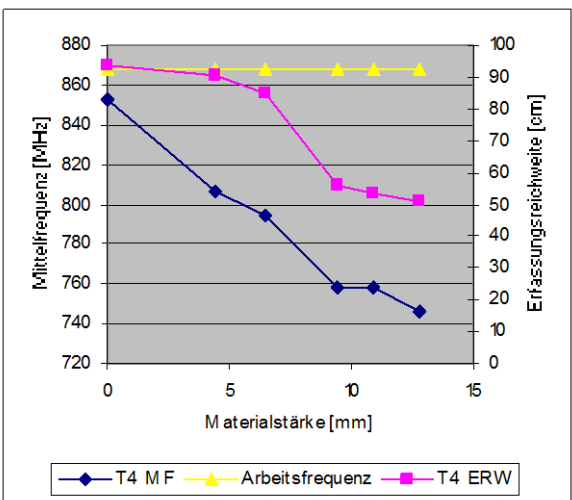
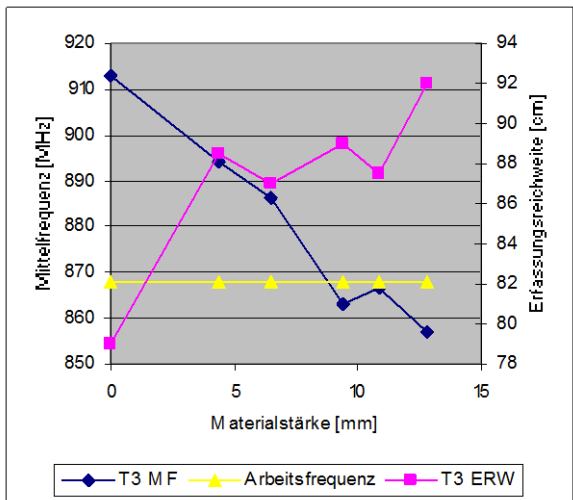
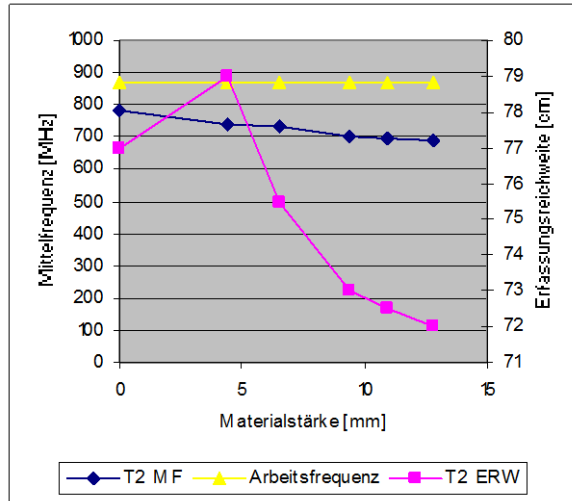
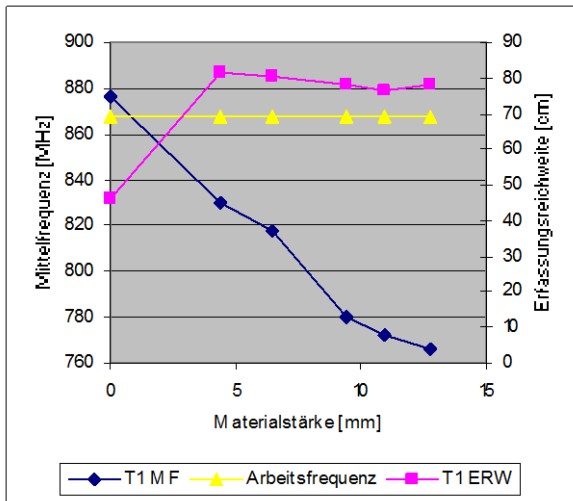
Für die Ermittlung der Einflüsse der Spektralparameter auf die Erfassungsreichweite wurden deren Korrelationen in Tab. 6-11 errechnet und nach der erzielten Erfassungsreichweite bei 4,4 mm Material aufsteigend sortiert. Für die Mittelfrequenz zeigt sich, dass die Transponder, deren Mittelfrequenz ohne Material größer als die Arbeitsfrequenz von 868 MHz ist, eine negative Korrelation aufweisen. Deren Erfassungsreichweite erhöht sich also mit zunehmender Materialschicht bei gleichzeitiger Verringerung der Mittelfrequenz.

Korrelation von Erfassungsreichweite zu	Erfassungsreichweite bei 4,4 mm Material [cm]			
	Mittelfrequenz	Signalpegel der Mittelfrequenz	Signalpegel bei 868 MHz	
T5	-0,95	0,95	0,90	17,50
T6	1,00	-0,94	0,86	77,00
T7	0,60	-0,60	0,63	77,50
T9	0,92	-0,74	0,76	78,50
T2	0,82	-0,32	0,35	79,00
T1	-0,71	0,67	-0,65	81,50
T10	-0,03	0,22	0,79	81,50
T3	-0,85	-0,52	0,73	88,50
T4	0,93	-0,78	0,82	90,50
T8	0,72	-0,50	-0,04	96,00
Mittelwert	0,25	-0,25	0,51	
Mittelwert vom Betrag	0,75	0,62	0,65	

Tab. 6-11: Korrelation der Spektralparameter zum Leistungsparameter Erfassungsreichweite (sortiert nach zunehmender Erfassungsreichweite)

Die Diagramme in Abb. 6-17 stellen den Zusammenhang der einzelnen Transponder zwischen Erfassungsreichweite und der Mittelfrequenz der einzelnen Transponder dar. Es zeigt sich, dass, wenn die Mittelfrequenz der Transponder im Bereich der Arbeitsfrequenz liegt, überwiegend bessere Erfassungsreichweiten erreicht werden. Teilweise liegt der optimale Bereich aber auch unter der Mittelfrequenz. Sicher ist: Je näher die Mittelfrequenz an die Arbeitsfrequenz herankommt, desto besser wird die Erfassungsreichweite. Eine Ausnahme stellt dabei die Erfassung ohne Material dar,

die oft geringere Reichweiten erreicht. In diesen Fällen sind die Transponder auf die Anbringung auf Material ausgelegt.



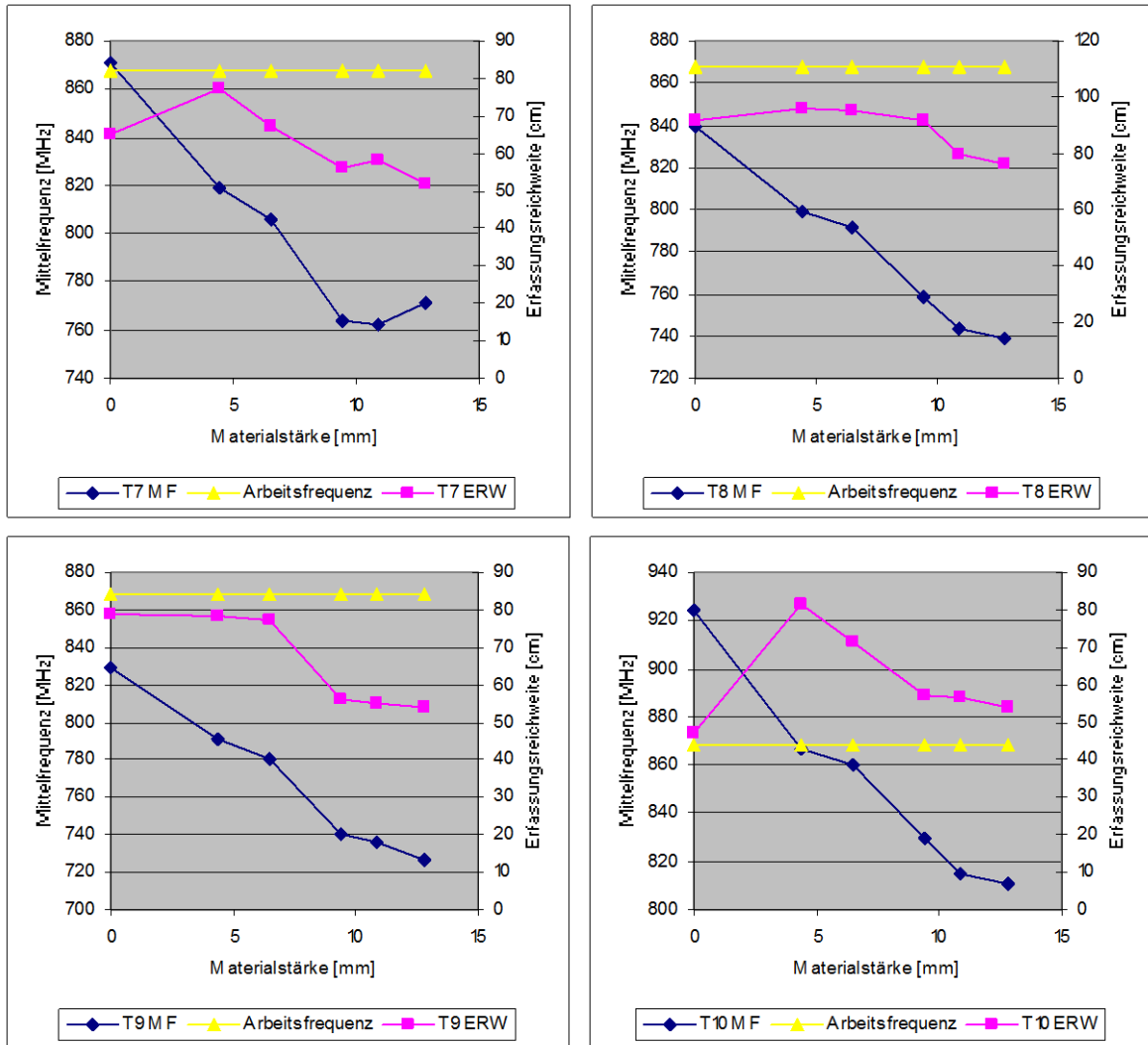


Abb. 6-17: Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von der Mittelfrequenz der Transponder über die Materialstärke (MF: Mittelfrequenz, ERW: Erfassungsreichweite)

Die Lage der Mittelfrequenz zur Arbeitsfrequenz stellt damit einen wesentlichen Parameter für die Erzielung hoher Erfassungsreichweiten dar.

Die anderen Spektralparameter - der Signalpegel der Mittelfrequenz sowie der Signalpegel bei 868 MHz - zeigen nur einen schwachen Zusammenhang mit der Erfassungsreichweite. Der Grund für dieses Ergebnis ist, dass einige Transponder durch den Kontakt mit dem Material einen höheren Signalpegel erzielten, andere wiederum eine Dämpfung des Signals erfuhren. Auch in diesem Punkt kann davon ausgegangen werden, dass dies mit der speziellen Auslegung des Antennendesigns zusammenhängt. Es kann daher keine generelle Aussage über das Verhalten der Signalpegel von Transpondern in Verbindung mit Materialien getroffen werden.

6.5 Auswirkung verschiedener Materialien auf die Erfassungsreichweite und das Frequenzspektrum eines Transponders

Für diese Untersuchung wurde ein Transponder (T6) mit unterschiedlichen Materialien umhüllt, wobei die Materialstärke variierte. So wurde die Veränderung der Eigenschaften Mittelfrequenz, Signalpegel und Erfassungsreichweite in Abhängigkeit der Dicke der Materialschicht ermittelt. Bei diesem Versuch wurde von der in Kap. 6.2.2, S. 80 beschriebenen Methode zur Distanzerhaltung zwischen dem Transponder und der Messsonde abgewichen, um den Effekt der Distanz näher zu beschreiben.

Es wurden folgende Materialien untersucht und aufgrund der Übersichtlichkeit in zwei Gruppen eingeteilt, wobei der PE-Schaum zum Vergleich in die erste Gruppe mit aufgenommen wurde:

- Kunststoffe für das Gehäuseaußenmaterial und PE-Schaum:
 - PE-Schaum, Rohdichte 20 kg/m³ (DIM PE RO 2)
 - Teflon (PTFE)
 - Polyurethanmasse (UR 5048)
 - Transparentes Silikon (Elastosil M 4641 A/B)
 - Blau eingefärbtes Silikon (Silikon blau eingefärbt)
- Verschiedene Schaumstoffe zur Fütterung des Gehäuses für die Positionierung des Transponders:
 - PP-Schaum, Rohdichte 40 kg/m³ (DIM 40/130, RG 40 (grau))
 - Vernetzter PE-Schaum, Rohdichte 33 kg/m³ (DIM Z PE 33 (blau))
 - Vernetzter PE-Schaum, Rohdichte 45 kg/m³, Stauchhärte 90 kPa (DIM Z PE 45 (rot))
 - Vernetzter PE-Schaum, Rohdichte 45 kg/m³, Stauchhärte 60 kPa (DIM ZE PE 45 (schwarz))

Abb. 6-18 zeigt die Veränderung der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von der Materialstärke. Die Kurven der Kunststoffe weisen einen ähnlichen Verlauf auf. Die Reduzierung der Mittelfrequenz bei jeder zusätzlichen Materialschicht verläuft degressiv. Jedes Material erzeugt eine unterschiedlich starke Verschiebung der

Frequenz. So verringert sich die Mittelfrequenz bei einer 6 mm dicken Schicht von eingefärbtem Silikon um 100 MHz, wohingegen bei PTFE lediglich eine Verschiebung um 55 MHz auftritt.

Wie hier ersichtlich wird, hat PE-Schaum einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Mittelfrequenz des Transponders¹¹. Dies zeigt sich auch in Abb. 6-19, wo unterschiedliche Schäume in noch größeren Stärken vor und hinter dem Transponder befestigt wurden. Die Wertetabellen der folgenden Abbildungen befinden sich aus Platzgründen im Anhang B.

Der Grund für den geringen Einfluss der Schäume auf die Mittelfrequenz liegt in der geringen Dichte des Materials. Der offenporige Stoff enthält zu einem großen Teil Luft und somit wenig Material, das einen Einfluss auf die elektromagnetischen Wellen hat.

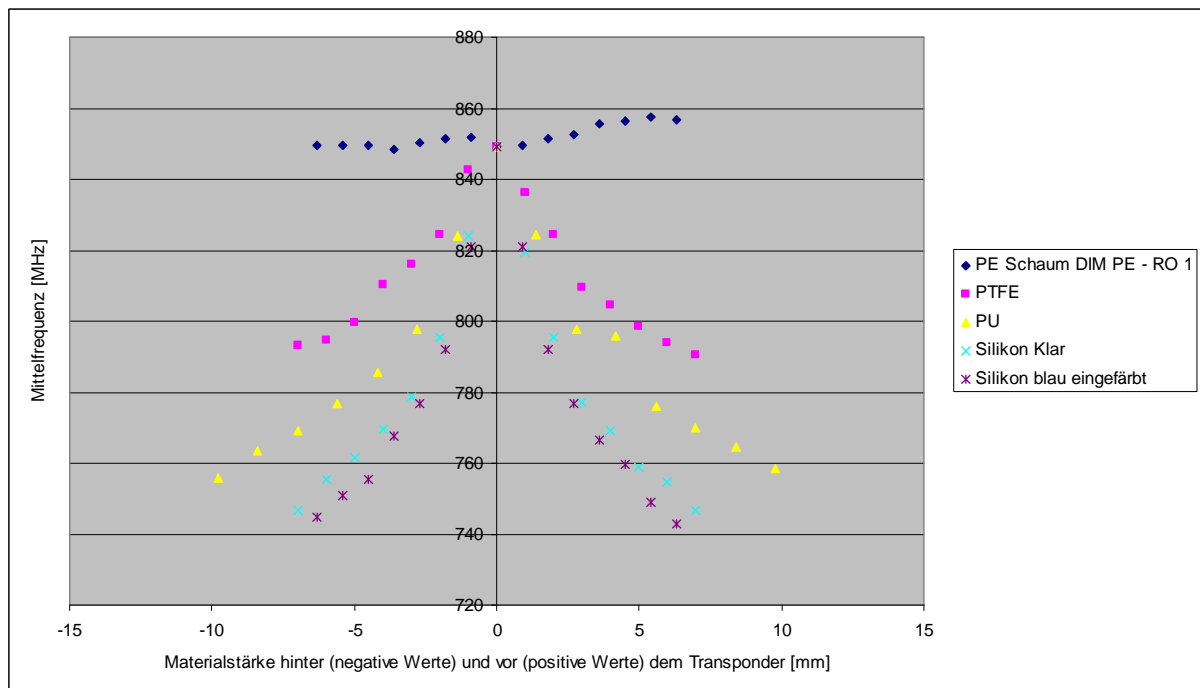


Abb. 6-18: Abhängigkeit der Mittelfrequenz von verschiedenen Materialien und Materialdicken

¹¹ Vgl. auch die Einführung zu diesem Kapitel.

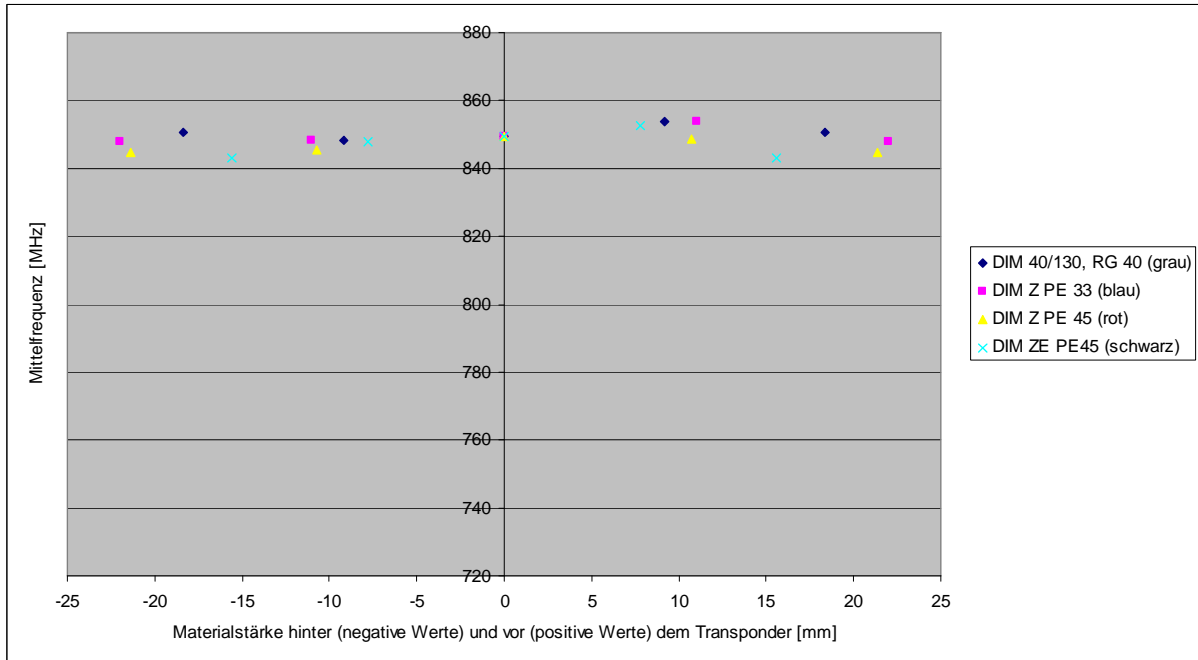


Abb. 6-19: Abhängigkeit der Mittelfrequenz von verschiedenen Schäumen und Schaumdicken

Auch der Einfluss auf den Signalpegel weist bei sämtlichen Kunststoffen einen vergleichbaren Verlauf auf. So erhöht sich zunächst der Signalpegel durch das Hinzufügen von Material. Wird mehr Material aufgelegt, verringert sich der Signalpegel wieder. Da bei der Messung des Signalpegels die Entfernung des Transponders zum Messgerät direkten Einfluss hat, verringert sich dieser je mehr Material sich dazwischen befindet.

Wird PE-Schaum hinter dem Transponder positioniert, so hat dieser, wie oben beschrieben, lediglich marginalen Einfluss auf den Signalpegel. Daraus kann man folgern, dass die Verringerung des Signalpegels, wenn sich der Schaum vor dem Transponder befindet, ausschließlich auf die vergrößerte Entfernung zurückzuführen ist. Hierbei ist interessant, dass die anderen Materialien diese Veränderung wieder aufheben und teilweise überkompensieren. Sie wirken also signalverstärkend.

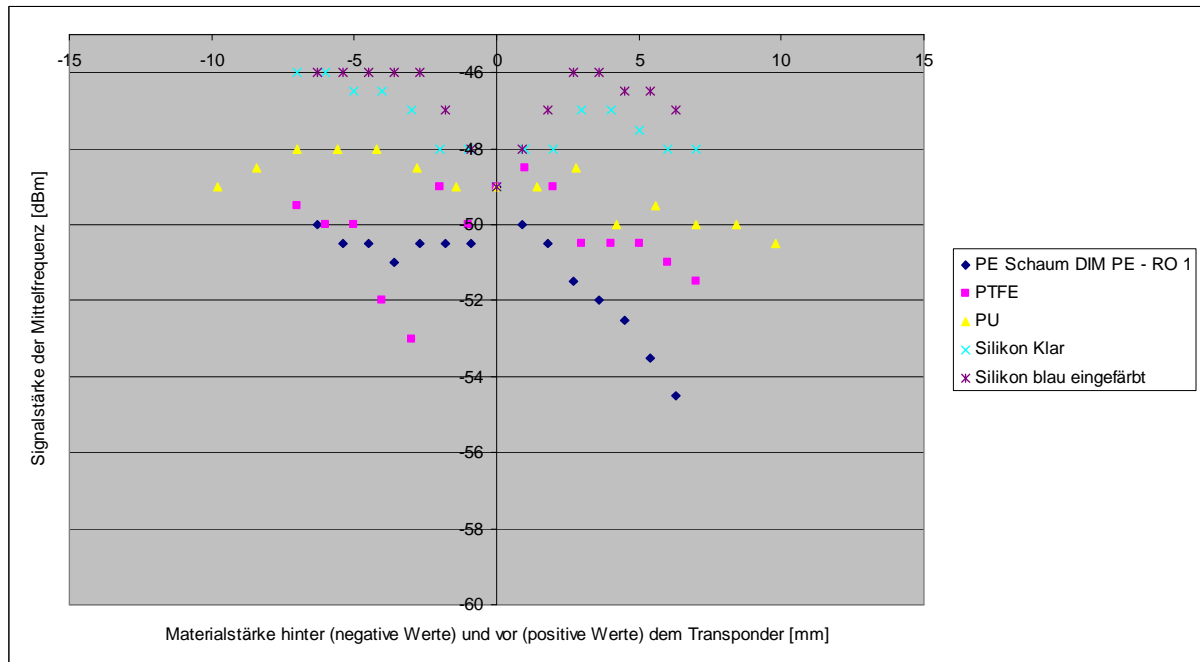


Abb. 6-20: Abhängigkeit des Mittelfrequenz-Signalpegels von verschiedenen Materialien

In Abb. 6-20 wird deutlich, dass die Distanz zwischen Transponder und Messsonde einen entscheidenden Einfluss auf den Signalpegel hat. Wird Schaum vor dem Transponder eingefügt, so sinkt der Signalpegel um bis zu 11 dBm. Wie aus der Grafik deutlich wird, hat dabei die Art des Materials einen größeren Einfluss als die Materialstärke. Befinden sich die Schäume hinter dem Transponder, so ist bei einer Dicke von 10 mm eine kleine Schwächung des Signalpegels zu verzeichnen. Wird die Dicke des Materials verdoppelt, ergibt sich hingegen eine starke Abschwächung, vergleichbar zu jener, die bei Material vor dem Transponder auftritt.

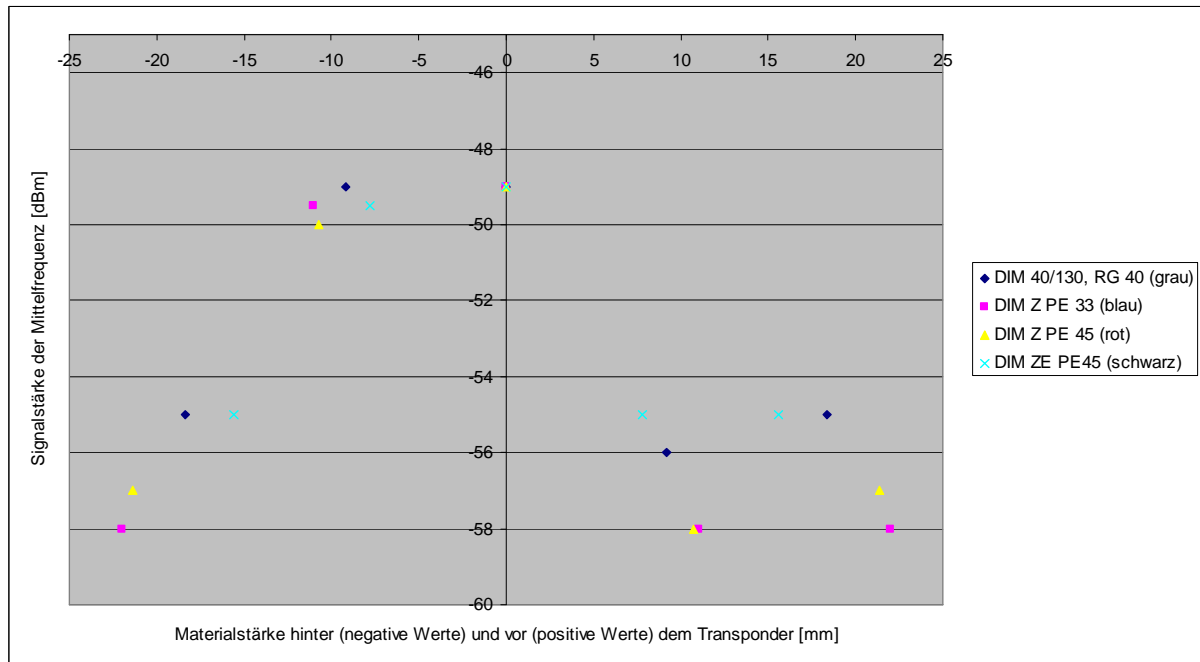


Abb. 6-21: Abhängigkeit des Mittelfrequenz-Signalpegels verschiedener Schäume und Schaumdicken

Die in Abb. 6-22 dargestellten Erfassungsradien in Abhängigkeit der Materialstärke weisen einen ähnlichen Verlauf auf wie die der Mittelfrequenz. So ist die Sensitivität der Reichweite bei den ersten Materialschichten vergleichsweise hoch und verringert diese um bis zu 44 cm. Bei zusätzlichem Material verringert sich die Reichweite dann fast linear.

Die Sensitivität der Erfassungsradien der unterschiedlichen Materialien ist vergleichbar mit den Ergebnissen bei der Veränderung der Mittelfrequenz. So ist auch hier die Veränderung bei PTFE am geringsten, bei Silikon am stärksten. Es bestätigt sich also auch bei der Betrachtung verschiedener Materialien die Erkenntnis aus dem vorangegangenen Kapitel, dass die Erfassungsradien direkt von der Mittelfrequenz abhängig ist.

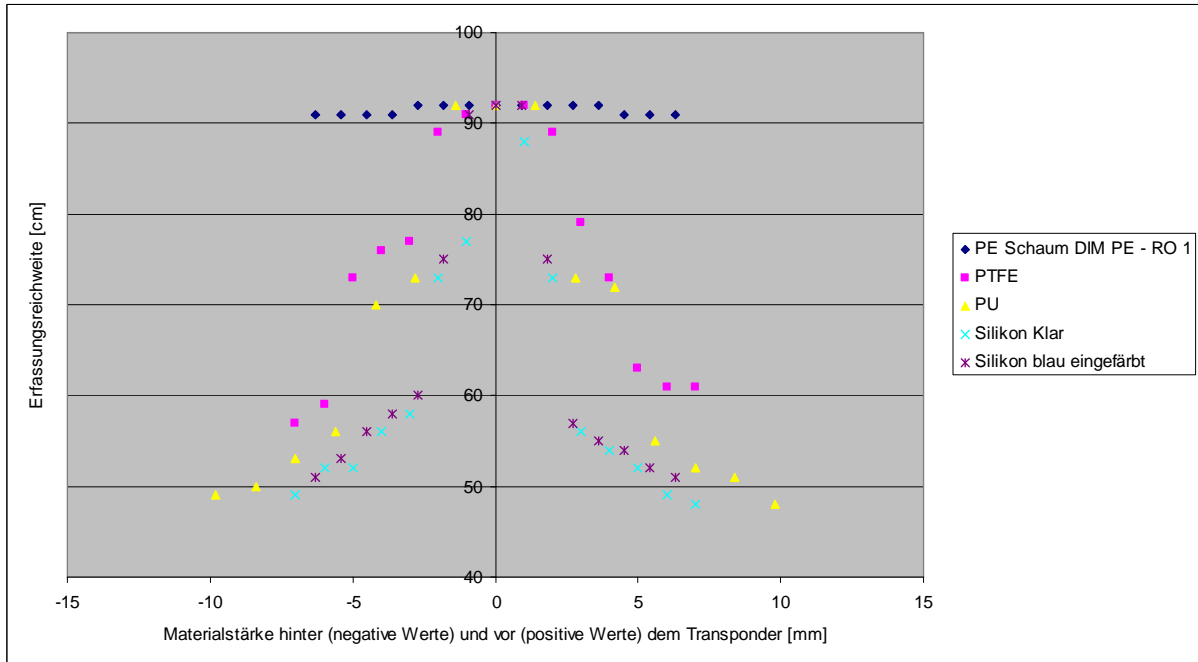


Abb. 6-22: Abhängigkeit der Erfassungsreichweite verschiedener Materialien und Materialdicken

Wie der PE-Schaum in Abb. 6-22 haben auch sämtliche Schäume, deren Ergebnisse in Abb. 6-23 abgebildet werden, keinen Einfluss auf die Erfassungsreichweite.

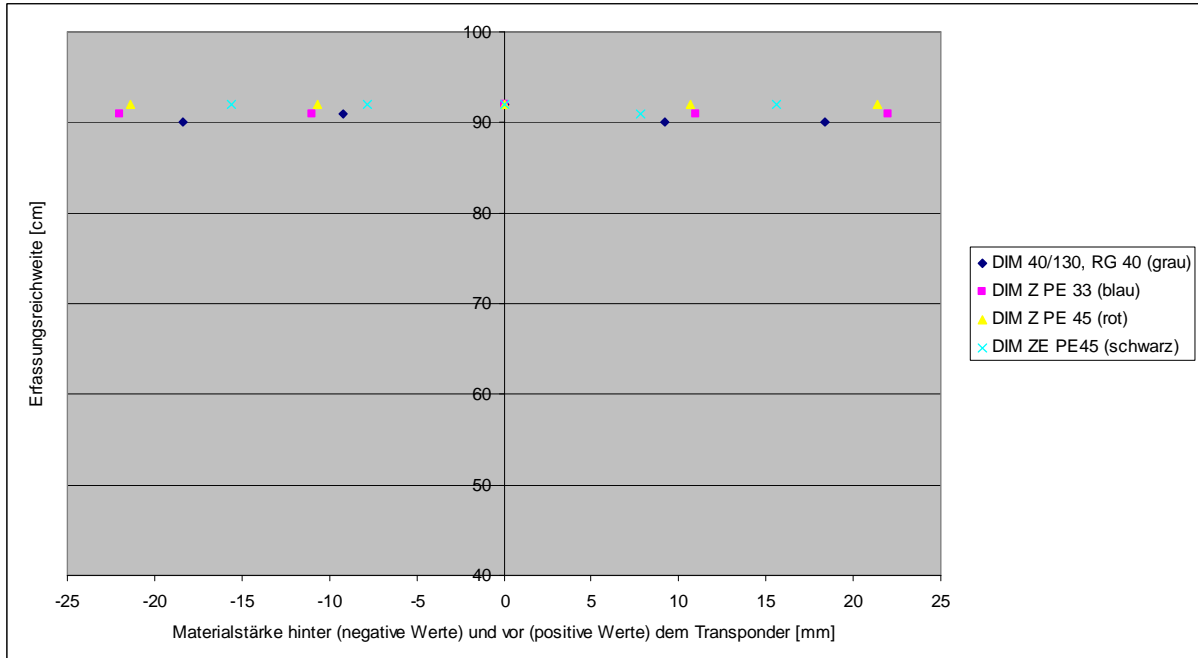


Abb. 6-23: Einfluss der Materialien (Schäume) auf die Erfassungsreichweite

Es kann abschließend geschlussfolgert werden, dass die kompakten Kunststoffe die Mittelfrequenz immer verringern, diese Verringerung jedoch in Abhängigkeit vom Material unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

Außerdem wirken die Kunststoffe in unterschiedlichem Maße verstärkend auf den Signalpegel des T6, wie auch schon in Kap. 6.4 mit HDPE dargestellt. Die Elastomere unter den Kunststoffen eignen sich unter Umständen auch für eine flexible Anbringung an weniger belasteten Netzteilen, z.B. in der stillen Fischerei. Praxisversuche mit einem selbst entwickelten flexiblen Tag aus PU haben gezeigt, dass die Belastungen in der Schleppnetzfischerei zu einer sofortigen Zerstörung der Transponder führen. In der stillen Fischerei hingegen konnten beim Holprozess 79 % der Tags automatisch von einem stationären Schreib-/Lesegerät erfasst werden.[15] Ziel dieser Untersuchung ist es jedoch, eine 100%ige Lesezuverlässigkeit zu erreichen. Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung (Sommer 2006) war der dafür eingesetzte Transponder (T6) der leistungsfähigste Transpondertyp. Andere Transpondertypen, die in den hier vorliegenden Untersuchungen teilweise bessere Leistung erzielen, waren erst im Laufe des Jahres 2007 verfügbar und wurden sukzessive in die Betrachtungen einbezogen.

Die Schaumstoffe haben keine nennenswerte Auswirkung sowohl auf die Mittelfrequenz als auch auf die Signalpegel und wirken demnach weder verstärkend noch dämpfend. Diese Erkenntnis ist vor allem für den Fall interessant, dass die Schaumstoffe zur Positionierung oder Polsterung von Inlays in Gehäusen eingesetzt werden sollen.

6.6 Untersuchung eines Schwimmermaterials

Das Material des Netzschwimmers stellt mit seinen mechanischen und thermischen Kennwerten ein robustes Gehäusematerial dar. Insbesondere hat es aufgrund seines Einsatzes als Schwimmermaterial seine Eignung für den vorliegenden Anwendungsfall bereits nachgewiesen. Zusätzlich stellen die Dielektrizitätskonstante (bei 1 MHz) von 2,9 und der dielektrische Verlustfaktor (bei 1 MHz) von 0,009 gute Voraussetzungen dar, auch wenn die Werte höher liegen als bei HDPE (vgl. Kap. 6.4, S. 90).¹²

Um den Untersuchungsaufwand zu verringern, wird im ersten Schritt der Bestimmung der Erfassungreichweite bereits eine Selektion der Transponder

¹² Klassischer ABS-Kunststoff hat eine Dielektrizitätskonstante von 2,9 und einen dielektrischen Verlustfaktor von 0,013. Das Material des Schwimmers ist also besser geeignet als klassischer ABS-Kunststoff.

vorgenommen. Es werden nur die drei besten Transponder für die anschließende Untersuchung der Spektralparameter herangezogen. Bei der Ermittlung der Erfassungsreichweite wurden bereits unterschiedliche Einbringungsmöglichkeiten berücksichtigt, die in Kap. 6.9, S. 118 näher untersucht wurden.

Abb. 6-24 zeigt die Erfassungsreichweiten der verschiedenen Transpondertypen mit und ohne neutraler Zwischenschicht (PE-Schaum) zum Untergrund. Bei einigen Typen (T4, T7 und T8) führt dies zu einer Erhöhung und bei einigen (T1, T6 und T10) zu einer Verringerung der Reichweite. Unabhängig vom Untergrund erreichen T8, T1 und T7 die höchsten Reichweiten. Daher werden diese für die Untersuchung der Spektralparameter herangezogen.

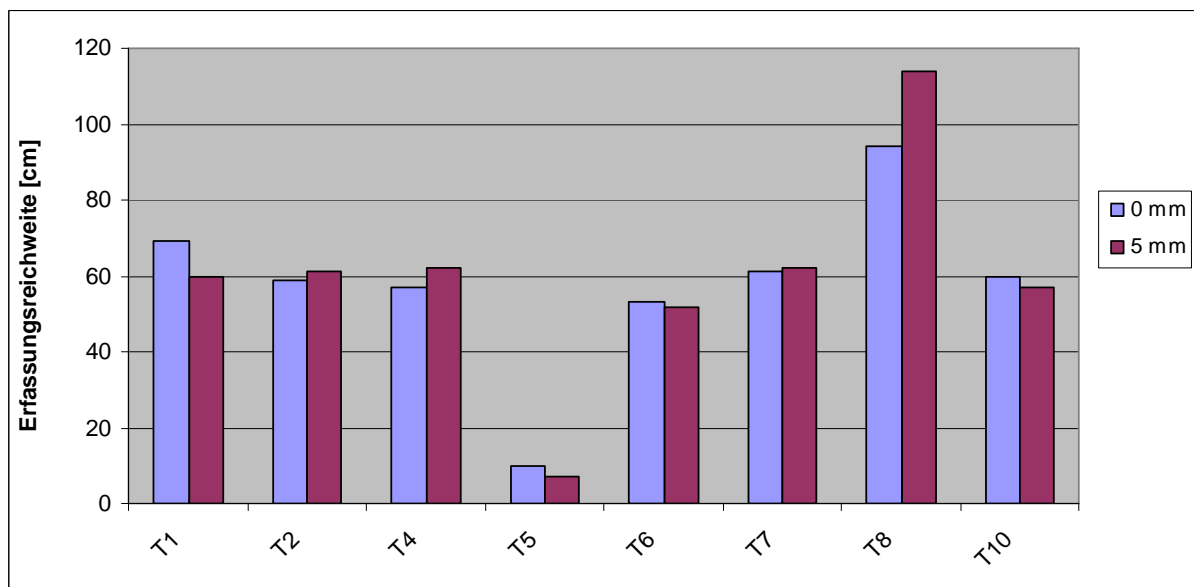


Abb. 6-24: Erfassungsreichweiten ohne und mit Abstand (5 mm) zum Gehäusematerial

Für die Spektralparameter zeigt sich, dass die Transpondertypen ohne Material die gleichen Werte für den Signalpegel bei 868 MHz und den Signalpegel der Mittelfrequenz leisten. Der Grund liegt darin, dass die Mittelfrequenz der Transponder dann auch jeweils sehr nah an 868 MHz liegt und damit der Abfall des Signalpegels nur sehr gering ist.

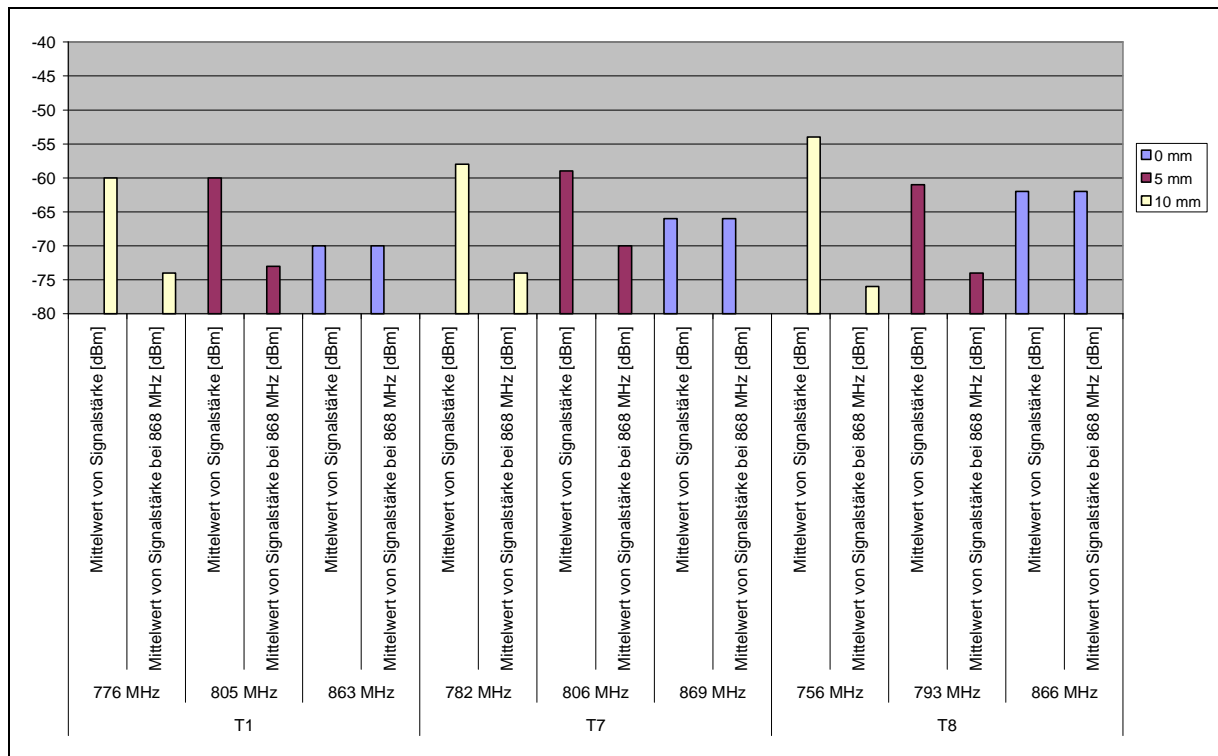


Abb. 6-25: Veränderung der Spektralparameter über die Stärke des Schwimmermaterials vor dem Transponder

Es ist eindeutig zu erkennen, dass der T8 ohne Material sowie mit davor aufgebrachtem 10 mm dicken Material die höchsten Signalpegel der Mittelfrequenz erreicht. Außerdem nimmt bei allen Transpondertypen der Signalpegel mit Material gegenüber den Werten ohne Material zu. In Kap. 6.9, S. 118 wird untersucht, inwieweit der Abstand zwischen Material und Transponder zu einer Veränderung der Spektralparameter führt.

6.7 Auswirkungen des Aushärtungsgrads eines Materials auf das Frequenzspektrum

Neben den Unterschieden zwischen den verschiedenen Materialien, kann sich auch jedes Material über die Lebensdauer hinweg verändern, womit u.U. auch Auswirkungen auf das Frequenzspektrum verbunden sein können. Um dies zu überprüfen, wird anhand der Variation des Aushärtungsgrads eines typischer Weise für die Herstellung von Faserverbundwerkstoffen eingesetzten Epoxidharzes (EP-Harz) die Veränderungen des Frequenzspektrums eines Transponders untersucht. Die Aushärtung des Kunststoffes erfolgt i.d.R. bei der Herstellung, kann aber auch nachträglich durch Prozessparameter wie z.B. Temperatur erfolgen. Es wird nun untersucht, in wie weit nachträgliches Aushärten einen Einfluss auf das

Frequenzspektrum der Tags hat. Für diesen Zweck wurden Platten aus dem EP-Harz R1 hergestellt.¹³ Diese Platten weisen eine Stärke von 1 mm auf und härteten eine Stunde bei 80°C aus (V2). Eine Hälfte der Platte aus R1 wurde anschließend bei 60°C über 8 Stunden nachgehärtet (V1).¹⁴

Abb. 6-26 zeigt, dass eine Nachhärtung, wie sie auch über lange Zeit im normalen Einsatz eines Epoxidharzes auftritt, zu einer Verringerung der Veränderung der Mittelfrequenz führt. D.h. eine Alterungserscheinung durch nachträgliches Härten verringert den Einfluss des Materials auf die Mittelfrequenz. Im Gegensatz dazu erhöht sich jedoch die Dämpfung des Signalpegels.

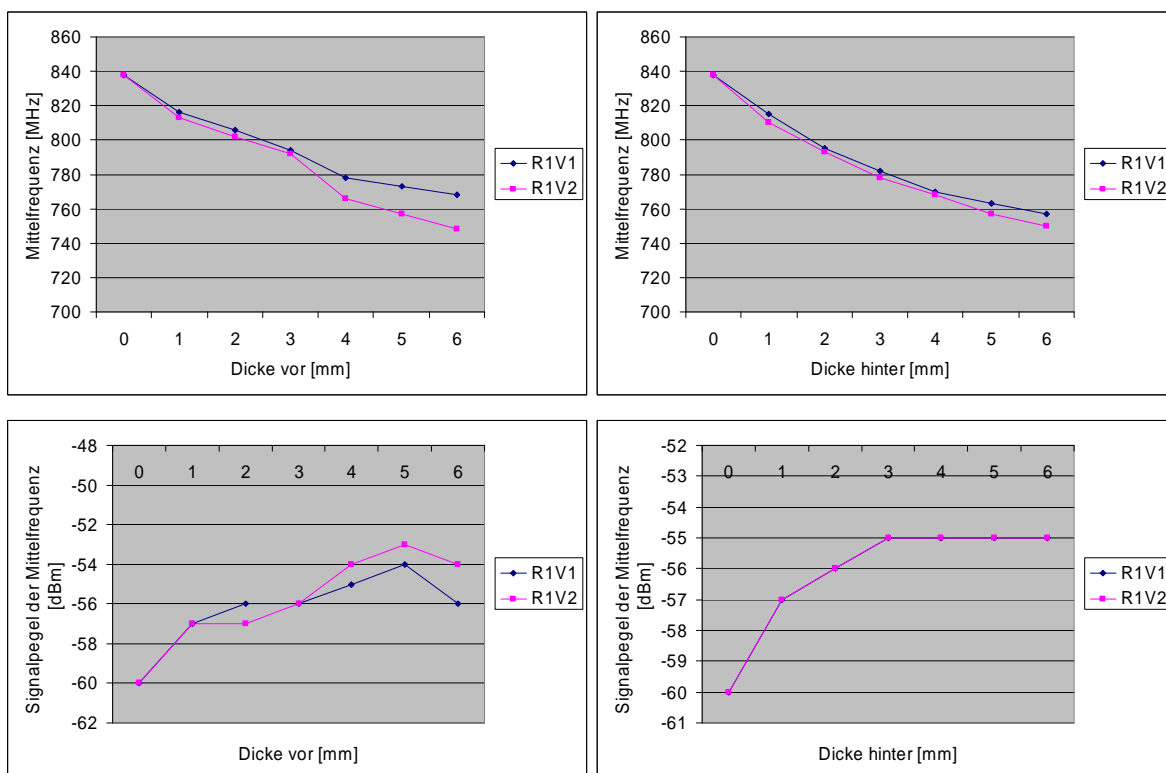


Abb. 6-26: Einfluss des Aushärtungsgrades von R1 auf das Frequenzspektrum

Bei einem Einsatz von nachhärtenden Kunststoffen müssen die nachgewiesenen nachträglichen Veränderungen bereits bei der Auswahl der Transpondertypen berücksichtigt werden. Um darüber hinaus eine konstante Leistung des im oder am Epoxidharz liegenden Transponders über die gesamte Lebensdauer zu

¹³ R1 ist EPR 0496/1 von Bakelite mit Härter EPH 04988 im Verhältnis 199:21

¹⁴ Die angegebenen Temperaturen und Zeiten sind Erfahrungswerte aus der Herstellung von Faser-verbundwerkstoffen mit dem EP-Harz R1.

gewährleisten, sollte die Aushärtung bereits bei der Herstellung zu einem möglichst hohen Grad erfolgen.

6.7.1 Auswirkungen von Salzwassereinwirkung auf das Frequenzspektrum

Eine Möglichkeit das Verhalten der Werkstoffe im Alterungsprozess sowie die damit verbundenen Auswirkungen auf das Frequenzspektrum der Tags zu untersuchen, ist der in Kap. 5.2, S. 76 beschriebene Prüfvorgang für mediale Beständigkeit mittels „Kochen“ der Materialproben in einer Salzlösung. Entsprechende Prüfplatten aus EP-Harz (vgl. vorheriges Kapitel) wurden diesem Alterungstest unterzogen. Anschließend zeigten die Halbzeuge deutliche Alterungserscheinungen, z.B. ein milchiges Aussehen.

Zur Ermittlung der Frequenzspektren wurden die Halbzeuge hinter bzw. vor dem Transponder gemäß dem Versuchsaufbau nach Kap. 6.2.2, S.80 aufgebaut und jeweils die Messparameter dokumentiert.

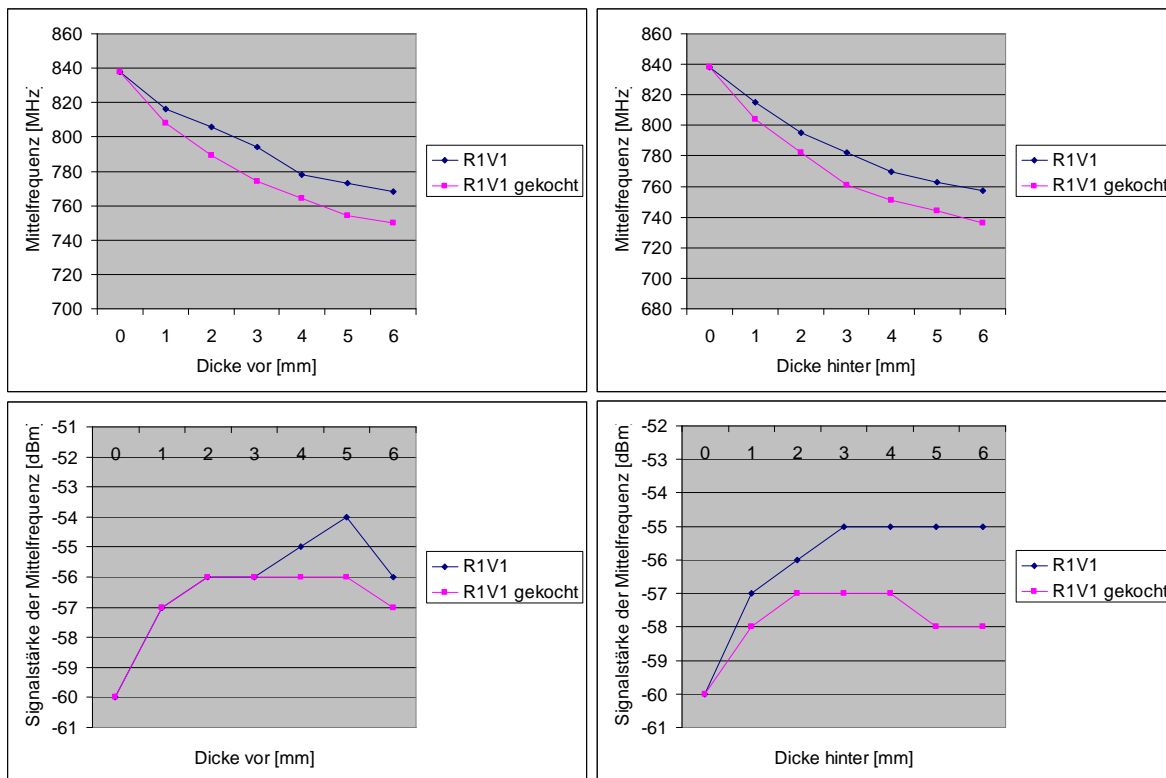


Abb. 6-27: Abhängigkeit der Mittelfrequenz und des Signalpegels der Mittelfrequenz von „gekochten und ungekochten“ Prüfplatten

Die Versuche zeigen, dass die Salzwassereinwirkung auf das Material einen deutlichen Einfluss auf die Mittelfrequenz sowie auf den Signalpegel der

Mittelfrequenz hat. Dabei nimmt die Mittelfrequenz beim „gekochten“ Material mit zunehmender Materialstärke stärker ab, der Signalpegel nimmt mit zunehmender Materialstärke hingegen weniger zu.

Beide Effekte führen somit zu einer Verschlechterung der Parametersituation und damit zu einer Reduzierung der Leistungsparameter eines Tags. Aus diesem Grund kommen Faserverbundwerkstoffe, die meist Epoxidharze als Matrix enthalten, nicht für den geplanten Einsatz in Frage.

Thermoplaste hingegen, wie das Material der oben untersuchten Schwimmer, sind grundsätzlich unempfindlicher in diesem Bereich. Eine exakte Untersuchung des Verhaltens dieses Materials war aufgrund der Verformung bei der Behandlung der sehr dünnen Halbzeuge aus ABS leider nicht möglich. Durch die Verformung konnten die Proben nicht korrekt auf der Messsonde platziert werden.

Die Wasseraufnahme der ABS-Proben lag nach dem „Kochtest“ bei 2 % und damit ca. 50 % unter dem Wert des EP-Harzes.

6.8 Untersuchung der Lageabhängigkeit

Bei der Beschreibung anforderungsgerechter Gehäuse in Kap. 4, S. 67 wurde die Notwendigkeit der Lageunabhängigkeit für die Lesbarkeit des Transponders erklärt. Es wurden folgende Lösungsmöglichkeiten angesprochen:

- Einsatz mehrerer Transponder in einem Gehäuse sowie
- Mehrdimensionalisierung des Transponders im Gehäuse:
 - als Helix gedreht und
 - gebogen bzw. als Kreis gedreht.

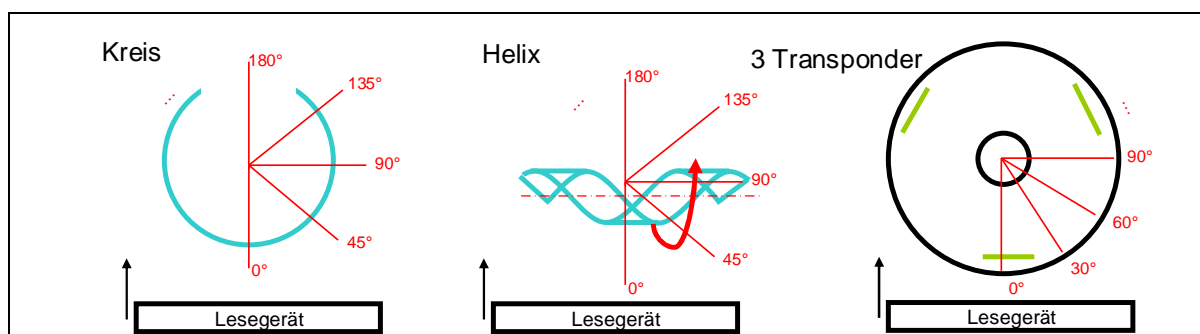


Abb. 6-28: Versuchsanordnung zur Ermittlung der Erfassungsreichweite von Transpondern in Abhängigkeit von ihrer Lage

Abb. 6-29 zeigt das rotative Erfassungsfeld für den Einsatz mehrerer Transponder in einem Tag. Dazu wurde für die labortechnische Untersuchung eine wenig beeinflussende Konstruktion aus Karton hergestellt, auf der drei Transponder parallel zur Mittelachse auf einem Radius von 50 mm und in einem Winkel von 120° zueinander angeordnet wurden. Der Versuch wurde mit drei Transpondertypen (T3, T7, T8) durchgeführt, die sich bereits in den vorangegangenen Versuchen bewährt haben. Es zeigt sich, dass so ein nahezu kreisförmiger Erfassungsbereich sichergestellt werden kann. Somit kann diese Methode zur Verringerung der Lageabhängigkeit eingesetzt werden.

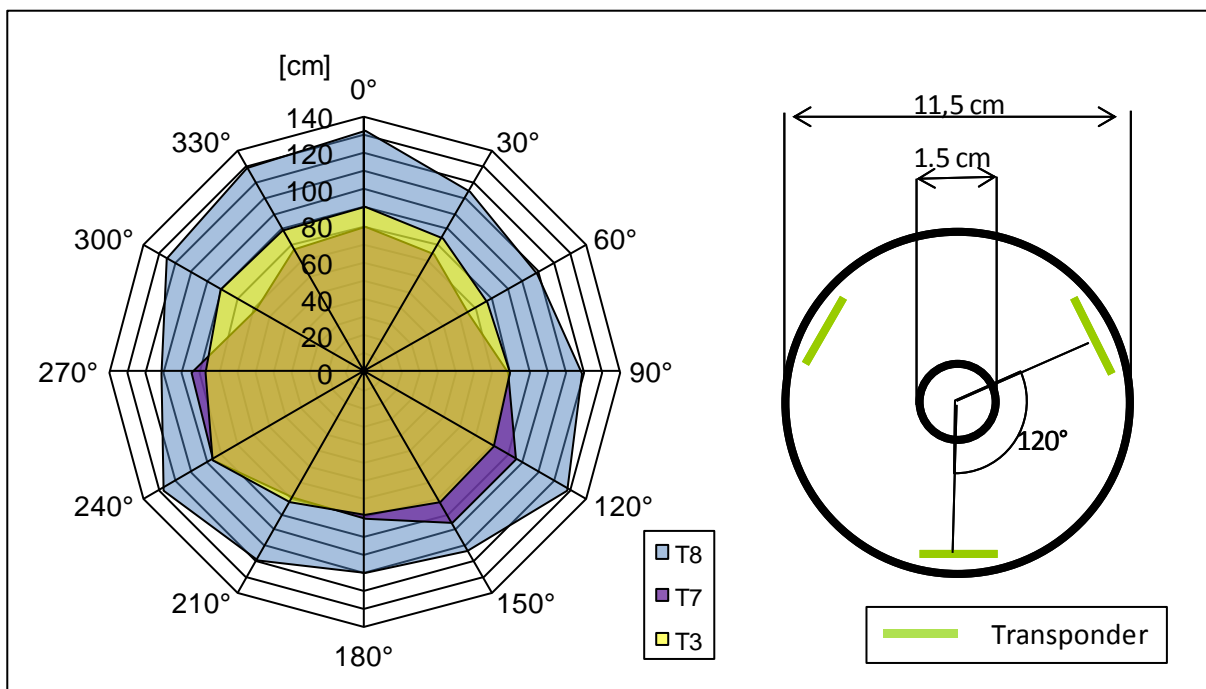


Abb. 6-29: Polare Darstellung der Erfassungsreichweite von drei Transpondern

Im nächsten Schritt wird die Mehrdimensionalisierung eines Transponders untersucht. Dazu wurde jeweils ein Transponder zu einem Kreis gebogen und ein Transponder zu einer Helix gedreht. Diese wurden dann um ihre Biege- bzw. Drehachse gedreht und in 45°-Schritten die Erfassungsreichweiten aufgenommen, sodass sich die in Abb. 6-30 dargestellten Erfassungsbereiche ergaben. Die Helixbauform weist eine sehr gleichmäßige Reichweite über die gesamte Rotation auf, wohingegen die Kreisform nur dann gute Reichweiten erzielt, wenn der Chip (Mitte des Transponders) senkrecht auf das Lesegerät ausgerichtet ist.

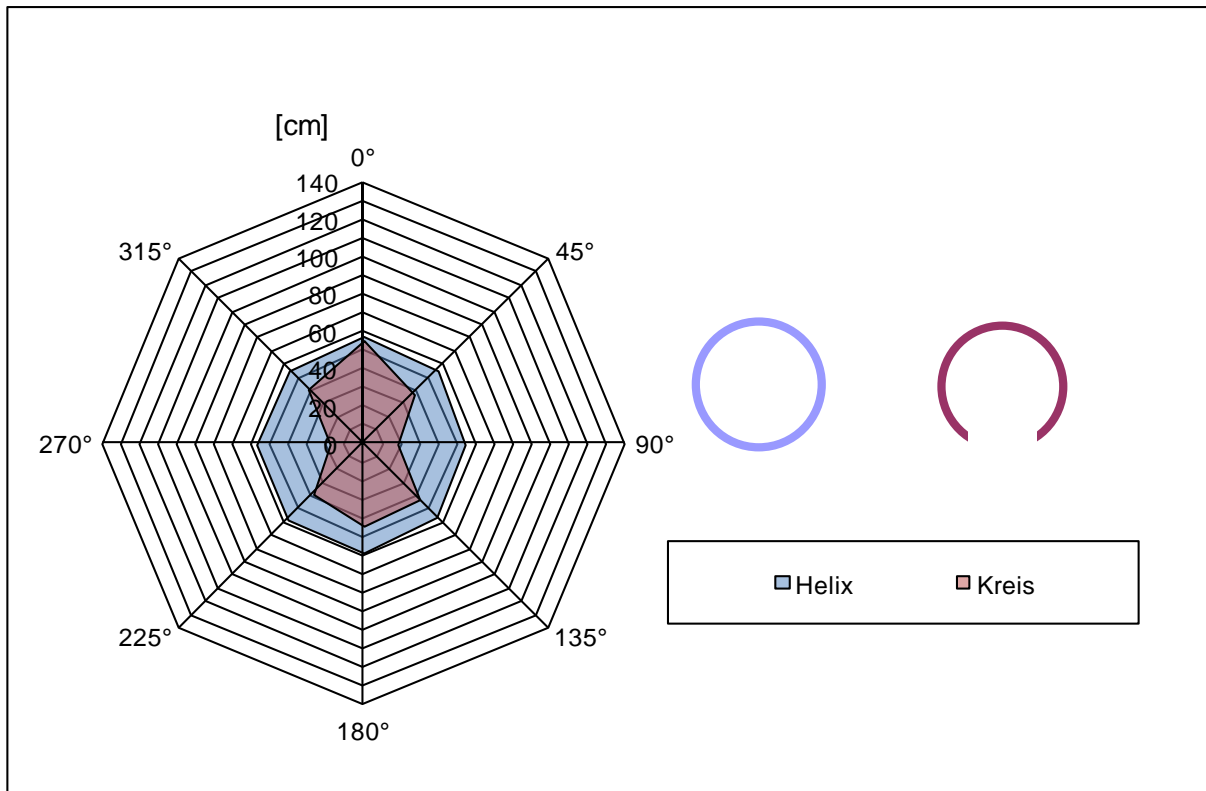


Abb. 6-30: Polare Darstellung der Erfassungsreichweite von mehrdimensionalen Transpondern

Insgesamt zeigt sich, dass durch die Integration mehrerer Transponder weitaus größere Reichweiten erzielt werden können. Daher wird dieses Verfahren für die weitere Umsetzung bevorzugt.

6.9 Untersuchung verschiedener Einbringungsmöglichkeiten in das Gehäuse

Das vorangegangene Kapitel zeigte verschiedene Möglichkeiten der Einbringung von Transpondern in ein Gehäuse zur Reduzierung der Lageabhängigkeit auf. Dabei wurde die Einbringung von mehreren Transpondern für diesen Anwendungszweck als günstig ermittelt. Nun muss untersucht werden, wie die Transponder im Gehäuse zu positionieren sind. Grundsätzlich bietet sich die Anbringung parallel zur Gehäuseoberfläche an, da so für die gesamte Antennenfläche die gleichen Bedingungen und Abstände gelten und das Lesegerät immer auf die Gehäuseoberfläche ausgerichtet ist. Die vorhergehenden Kapitel (6.4 bis 6.8) zeigten, dass Transponder auf den Kontakt mit Materialien mit einer Veränderung der Erfassungsreichweite - meist einer Verringerung - reagieren. Es stellt sich nun die Frage, wie sich ein gewisser Abstand zwischen Transponder und

Gehäuseaußenwand auf die Erfassungsreichweite sowie die Spektralparameter auswirkt.

Zur Ermittlung der Spektralparameter wurde eine aus dem Schwimmer hergestellte Materialprobe auf der Messsonde des Spektrumanalysators positioniert und der Transponder in fünf Schritten von je 1 mm von der Materialprobe entfernt, wobei ein Ausgleich zwischen Material und Messsonde vorgenommen wurde, um den Transponder immer auf gleicher Distanz zur Messsonde zu halten.

Zur Ermittlung der Erfassungsreichweite wurde diese ohne Abstand der Materialprobe vom Transponder und mit 5 mm Abstand ermittelt. Die Materialprobe liegt jeweils in Richtung des Erfassungsinstruments. In Abb. 6-31 werden die besonders relevanten Spektralparameter dargestellt. Es ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Abstand und Parametern zu erkennen. Mit zunehmendem Abstand des Transponders zur Innenseite der Gehäuseaußenwand steigt die Mittelfrequenz und nähert sich bei den drei getesteten Transpondertypen der Arbeitsfrequenz von 868 MHz asymptotisch an.

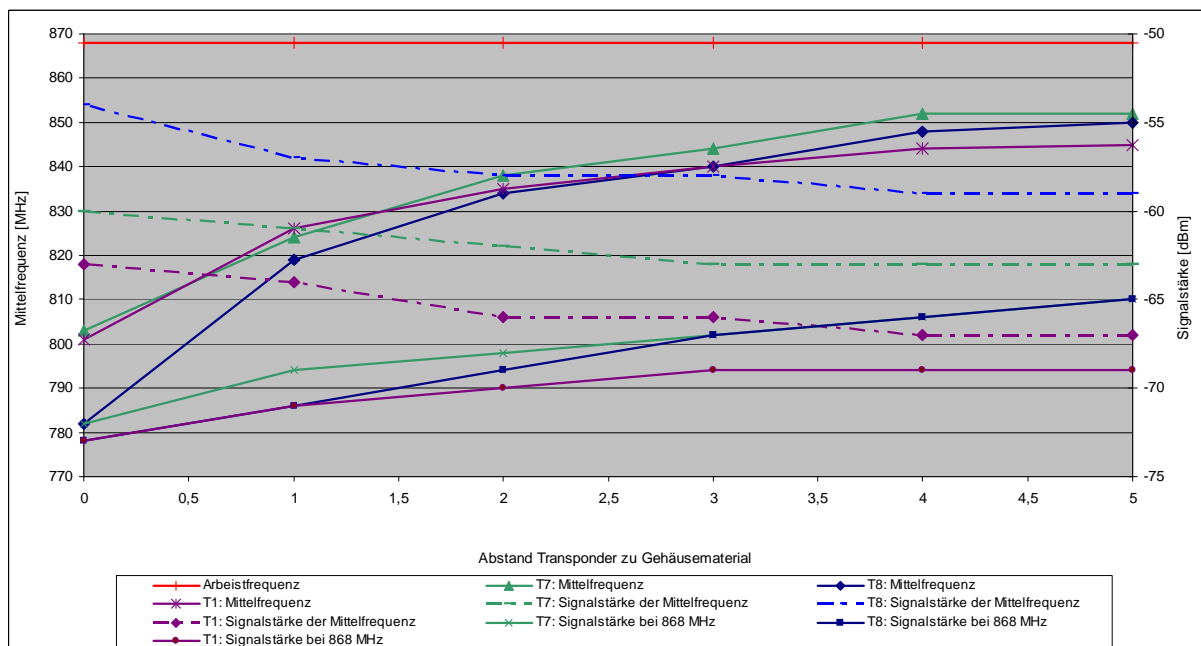


Abb. 6-31: Spektralparameter in Abhängigkeit vom Abstand des Transponders zum Gehäusematerial

Im Gegensatz dazu sinkt der Signalpegel der Mittelfrequenz. Dies bedeutet, dass es mit zunehmendem Abstand zur Außenwand trotzdem zu einer zunehmenden Dämpfung des Signals kommt. Der Signalpegel bei 868 MHz der Transpondertypen steigt hingegen mit zunehmendem Abstand des Transponders zur Innenseite der

Gehäuseaußenwand an. Die Verschiebung der Mittelfrequenz in Richtung Arbeitsfrequenz und der damit verbundene Signalpegelanstieg bei 868 MHz überkompensiert die zunehmende Dämpfung. Abb. 6-32 veranschaulicht dies anhand der Spektren der Transpondertypen. Trotz der Verschiebung der Mittelfrequenz erhöht sich bei allen der Signalpegel bei 868 MHz.

T8 kann als einziger Transpondertyp diese Verbesserung auch in eine größere Reichweite umsetzen, wie Abb. 6-33 verdeutlicht. Gleichzeitig weist er in beiden Szenarien die höchsten Pegel und im Bereich der Mittelfrequenz den homogensten Frequenzverlauf auf. Es zeigt sich deutlich, dass der T8 sowohl mit als auch ohne Abstand die besten Ergebnisse erzielt. Durch den Abstand zur Gehäusewand konnte die Erfassungsreichweite von 94 cm auf 114 cm erweitert werden, womit sie fast doppelt so hoch ist wie die der anderen Transponder (vgl. Abb. 6-33).

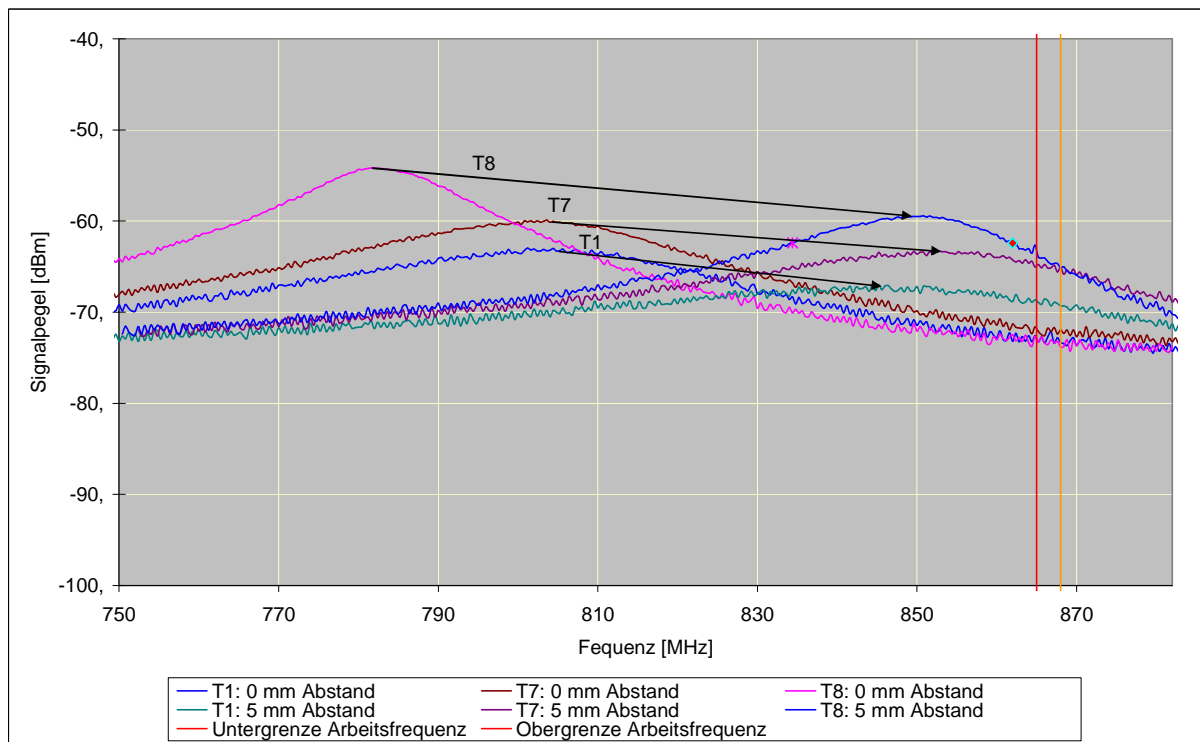


Abb. 6-32: Abhängigkeit der Resonanzkurven dreier Transpondertypen vom Abstand zum Gehäusematerial

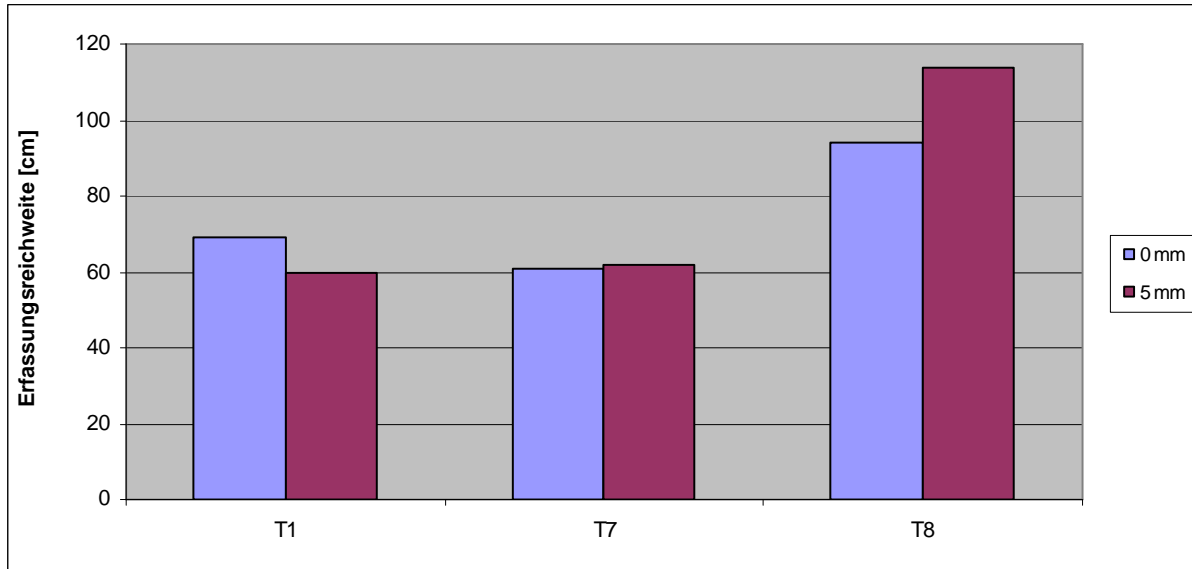


Abb. 6-33: Abhängigkeit der Erfassungreichweite dreier Transpondertypen vom Abstand zum Gehäusematerial (0 und 5 mm)

7 Herstellung und Prüfung der Tags

7.1 Prototypenherstellung

Die Auswertung aller Ergebnisse, die für die Gestaltung des Tags ausschlaggebend sind, führte nicht zur eigenen Konstruktion und Herstellung eines Prototypen mit Ring- oder Ellipsoidgestalt mit einem ausgewählten und für die Eignung geprüften Kunststoff. Diese Variante wäre für eine spätere Umsetzung dieses Projektes in die Praxis sehr hinderlich, da man mit viel Aufwand eine dazu notwendige Serienproduktion installieren müsste. Gleichzeitig zeigte sich das Material des Schwimmers als besonders günstig für die Spektral- und Leistungsparameter der Transponder, sodass für die Umsetzung zur praktischen Erprobung der Schwimmer Typ ICEPLAST 1060, der zusätzlich noch eine geeignete Form und Größe für Tags aufweist, herangezogen wird.

Er hat eine Länge von 15,5 cm und einen maximalen Durchmesser von 11 cm. Er ist nicht zu klein für die notwendigen Arbeiten zur prototypischen Einbringung der Transponder und damit auch nach einer Anbringung am Netz beim Holvorgang gut zu erkennen, was für die Durchführung der Praxistests wichtig ist. Dieser Prototyp ist zwar nicht optimal für die stille Fischerei geeignet, da er recht lang und kompakt ist (vgl. Kap. 3.4.1, S. 60), kann aber in der wesentlich anspruchsvolleren Schleppnetzfisherei geprüft werden.

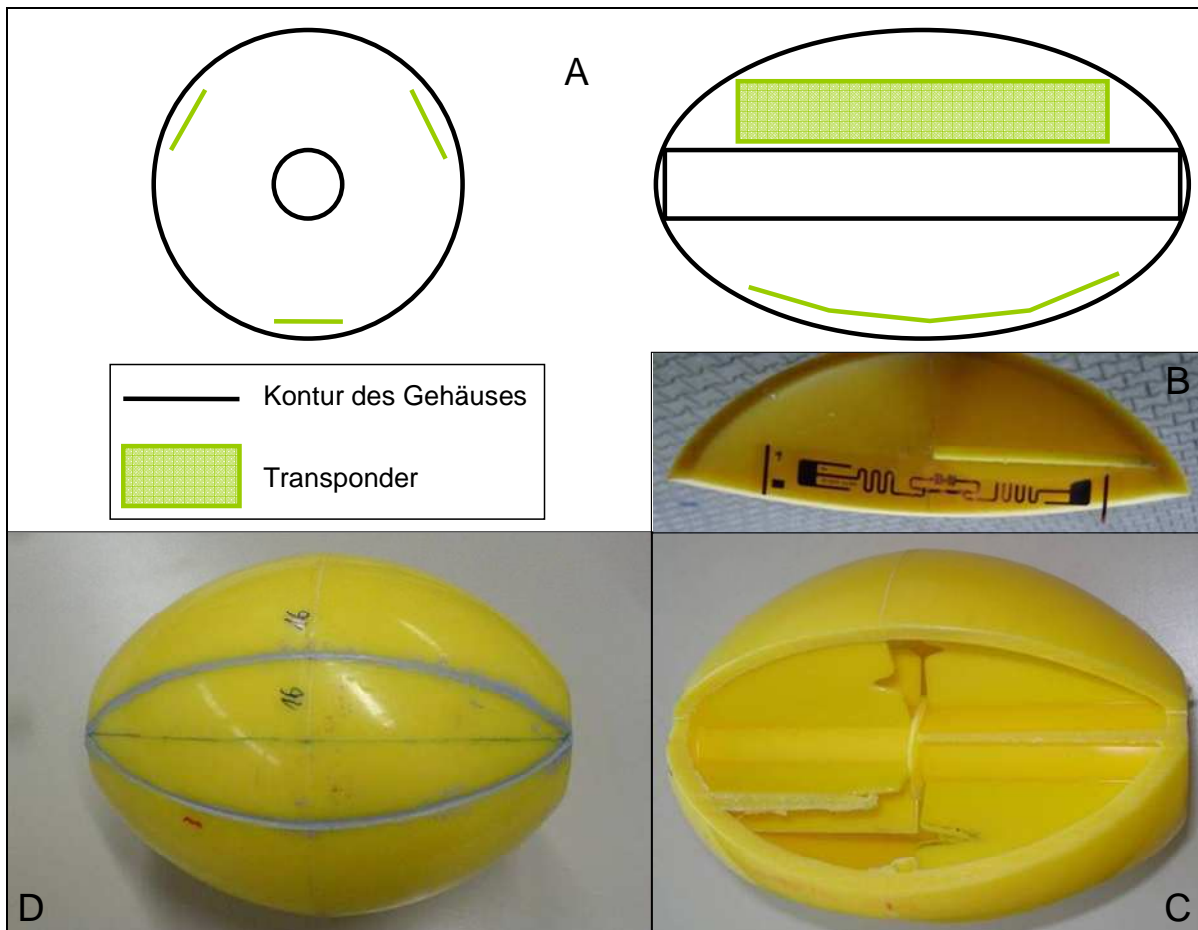
Zur Stabilisierung weist er eine Verrippung im Inneren auf, die potenziellen Bauraum für die Transponderintegration einnimmt. Der Schwimmer wird aus zwei Halbellipsoiden zusammengesetzt und an den Kontaktflächen verschweißt. Dabei entsteht ein Versatz der Rippen, der eine nachträgliche Integration der Transponder zusätzlich erschwert (vgl. Abb. 7-1). Dadurch können folgende in Abb. 4-2 auf S. 72 dargestellten Einbringungsformen nicht realisiert werden:

- gebogener Transponder (blau) und
- Helix (rot).

Somit bleibt für die Umsetzung nur die Einbringung von einem bis mehreren Transpondern in Längsrichtung (parallel zu den Rippen) um die Stabilität des Schwimmers nicht zu beeinträchtigen, wie in Abb. 7-1 dargestellt.

Zur Herstellung der Prototypen werden aus dem Schwimmer an drei Stellen, jeweils um 120° versetzt, Bereiche ausgeschnitten. In diese Ausschnitte werden die Transponder mit einer Zwischenschicht aus 5 mm PE-Schaumstoff auf die Innenseite der Außenhaut aufgebracht. Die Ausschnitte werden anschließend an ihre ursprüngliche Stelle wieder eingebracht und die Schnittstellen mit einer seewasserbeständigen Dicht- und Klebmasse versiegelt.

Für die spätere Serienproduktion muss der bisherige Produktionsablauf berücksichtigt werden. Der Schwimmer ICEPLAST 1060 besteht aus zwei symmetrischen Teilen, die durch ein Spritzgussverfahren hergestellt werden. Anschließend werden je zwei Hälften zusammengesetzt und verschweißt, wobei die Ausrichtung der Rippen zueinander rein zufällig ist.



**Abb. 7-1: A: Positionierung der Transponder im Tagprototyp
 B: Ausschnitt mit Transponder
 C: Aufgeschnittener Schwimmer mit versetzten Rippen
 D: Konfektionierter und versiegelter Prototyp**

Es ist vorstellbar, dass der Transponder auf einem neutralen Träger montiert wird, der vor der Verbindung der beiden Hälften in einer der Hälften sicher eingebracht wird. Bei der Fügung der Teile muss dann beachtet werden, dass die Rippen korrekt aufeinander ausgerichtet sind, damit der Transponder direkt in einen Rippenzwischenraum eingefügt wird. Unter Umständen kann ein Transponderträger für die Ausrichtung der Rippen zueinander genutzt werden.

7.2 Labortechnische Prüfung des Transponders

7.2.1 Überprüfung der Leistungsfähigkeit

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit wird der Transponder im Labor auf Erfassungsreichweite und Lageunabhängigkeit untersucht. Diese beiden Leistungsparameter werden in diesem Versuch integriert geprüft. Dazu wird ein Schwimmer mit drei Transpondern des Typs T8 ausgestattet. Anschließend wird das System „Schwimmer und drei Transponder“ (im Weiteren als Tag bezeichnet) in einen neutralen Rahmen gespannt. Als Lesegerät wird für die Laborversuche mit dem Tag das Lesegerät UDL500 von deister electronic verwendet. Dieses Lesegerät besitzt bereits eine hohe Schutzklasse (IP65) und ist so immerhin bedingt für den Außeneinsatz gerüstet, wodurch es für die Praxisversuche auf einem Fischkutter geeignet ist. Weitere Vorteile sind die Integration von Antennen und Leseinheit sowie die Integration optischer Signalgeber für die Indikation von Leseereignissen.

Die Untersuchung wird nach dem in Kap. 5.1 auf S. 73 beschriebenen Vorgehen durchgeführt. Der Tag wird schrittweise um 30° gedreht und die Messungen werden wiederholt, bis der Tag einmal vollständig um die Mittelachse gedreht wurde. Daraus ergibt sich der in Abb. 7-2 dargestellte Erfassungsbereich. Die ermittelte maximale Reichweite von über 11 m ist für Tags ungewöhnlich hoch. Herkömmliche Tags weisen Reichweiten von bis zu 6 m auf. Dieser Prototyp hat ebenfalls in diesem Bereich eine eindeutige Erfassungsbereichsgrenze, wobei ab ca. 7 m ein zweiter Erfassungsbereichsring beginnt. Der Prototyp erzielt somit überdurchschnittlich hohe Erfassungsreichweiten über den gesamten Rotationsbereich.

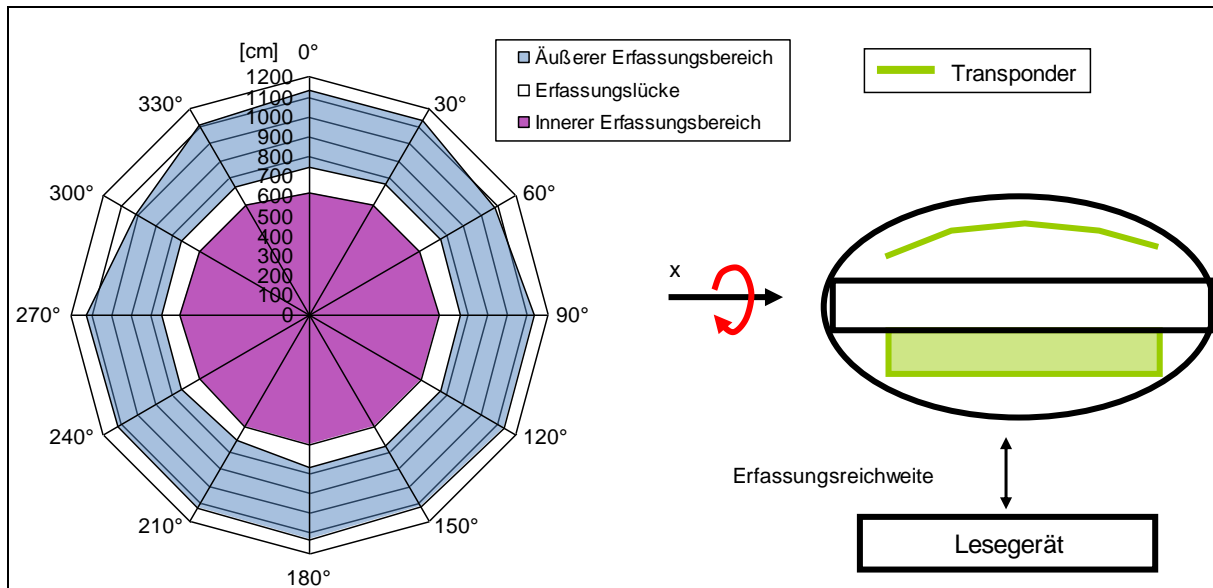


Abb. 7-2: Polare Darstellung der Erfassungreichweite des Tags bei Rotation um die x-Achse

Dieses Erfassungsverhalten deckt einen Freiheitsgrad der Tagbewegung sicher ab. Der Tag kann sich außerdem um die z-Achse drehen. Auch dieser Freiheitsgrad muss auf Reichweite und Lageabhängigkeit untersucht werden. Daher wurde der Tag an der in der Rotation ungünstigsten Position - also 360° - auf das Lesegerät ausgerichtet und in 30°-Schritten um die z-Achse gedreht, woraus der in Abb. 7-3 dargestellte Erfassungsbereich resultiert. Auch bei dieser Drehung ergaben sich Reichweiten von 6 bis 11 m. Besonders interessant ist dabei die hufeisenförmige Erfassungslücke, die bei ca. 6 m beginnt und bis maximal 9 m reicht. Der Tag erreicht demnach in diesem Freiheitsgrad ebenfalls eine überdurchschnittliche Performance.

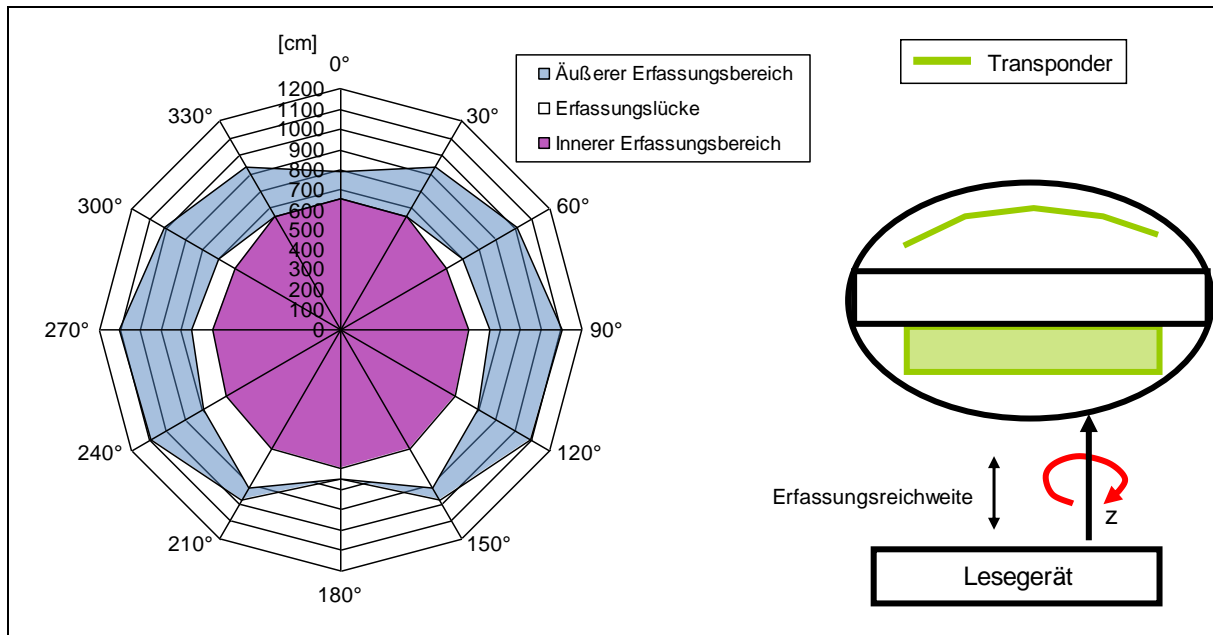


Abb. 7-3: Polare Darstellung der Erfassungreichweite des Tags bei kürzester Entfernung um die z-Achse

Als dritter Freiheitsgrad wird die Drehung um die x-Achse betrachtet, wie in Abb. 7-4 veranschaulicht. Auch hier wurde wieder - ausgehend von der schlechtesten Position der ersten Rotation - mit einer Drehung um 360° in Schritten von 30° begonnen. Außerdem wurde der Tag senkrecht - also die Mittellinie parallel zur z-Achse - zum Lesegerät ausgerichtet, wodurch die ungünstigste Erfassungssituation hergestellt wurde. Hier zeigt sich an den Stirnflächen des Tags eine verminderte Erfassungreichweite von 2 m. Sobald aber ein Winkel von 30° zwischen Mittelachse des Schwimmers und Erfassungsrichtung des Lesegerätes (z-Achse) besteht, werden wieder mindestens 4 m erzielt. Diesen Wert erreichen handelsübliche Tags in optimaler Ausrichtung.

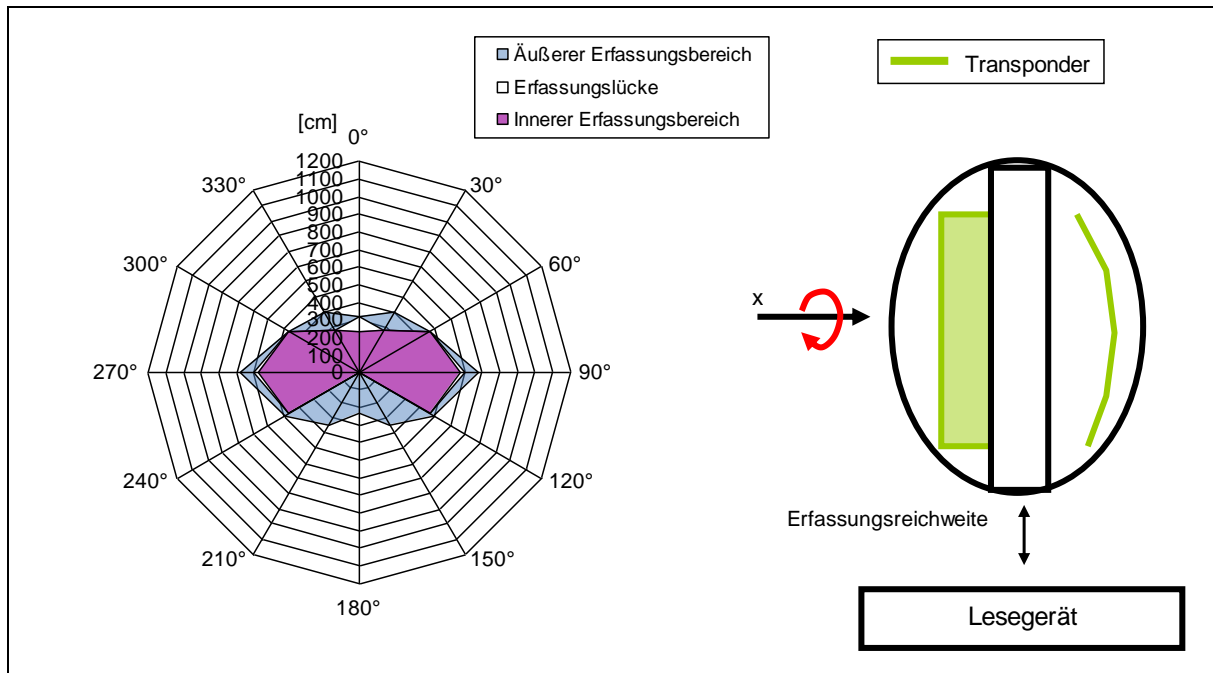


Abb. 7-4: Polare Darstellung der Erfassungsreichweite des Tags bei kürzester Entfernung in der z-Achse (bei 300°) um die x-Achse in ungünstiger Ausrichtung (senkrecht)

7.2.2 Überprüfung der Belastbarkeit

Die Tests zur Belastbarkeit werden auf die mediale Beständigkeit des Prototyps reduziert. Grund dafür ist zum einen das bereits oben erwähnte Datenblatt des Materials, das eine mechanische Beständigkeit dokumentiert. Zum anderen ist dieses Material bereits seit längerem im Fischereieinsatz und somit langjährig auf die auftretenden Belastungen getestet. Unter dem Aspekt der Veränderung der elektrischen Eigenschaften des Materials unter Einsatzbedingungen musste es aber noch separat untersucht werden. Dazu wurde bereits in Kap. 6.6 die Untersuchung des Materials mit dem in Kap. 5.2, S. 76 beschriebenen „Kochtest“ durchgeführt.

7.2.3 Bewertung der Ergebnisse

Die Laboruntersuchung der Prototypen zeigte eine für einen Tag sehr hohe Lesereichweite in optimaler Ausrichtung sowie eine vertretbare Reduzierung der Lesereichweite in ungünstigster Lage auf minimal 2 m. Die Nachstellung der Erfassungsversuche ergab, dass diese Erfassungen mit verschiedenen Antennenausrichtungen sowie allen potenziellen Einlaufwinkeln der Netze erfolgreich sind. Damit erfüllt der Prototyp alle labortechnisch prüfaren Anforderungen und kann in Praxisversuchen auf Tauglichkeit untersucht werden.

8 Durchführung von Praxisversuchen

Für die praktische Überprüfung der Anforderungen wurden fünf Tags hergestellt, jeweils mit einer eindeutigen Identifikationsnummer beschrieben und an ein typisches Schleppnetz angebracht. Vier Tags wurden paarweise in einem Abstand von 4 m jeweils gegenüber an den Seitenlaschen befestigt. Ein Tag wurde hinter einem bereits angebrachten Schwimmer in der Mitte des Netzes positioniert (vgl. Abb. 8-1).

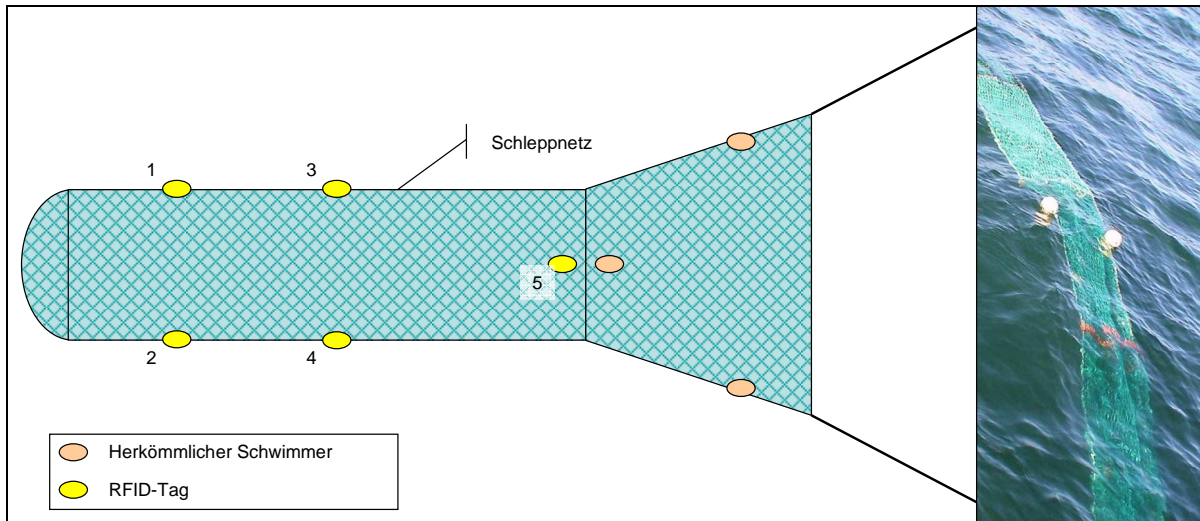


Abb. 8-1: Anbringungspunkte der RFID-Tags am Schleppnetz

Das Lesegerät wurde seitlich der Netztrommel an einem erhöhten Punkt angebracht, sodass das Erfassungsfeld das passierende Netz von der Trommel bis zum Wassereintritt abdeckt wie in Abb. 8-2 dargestellt.

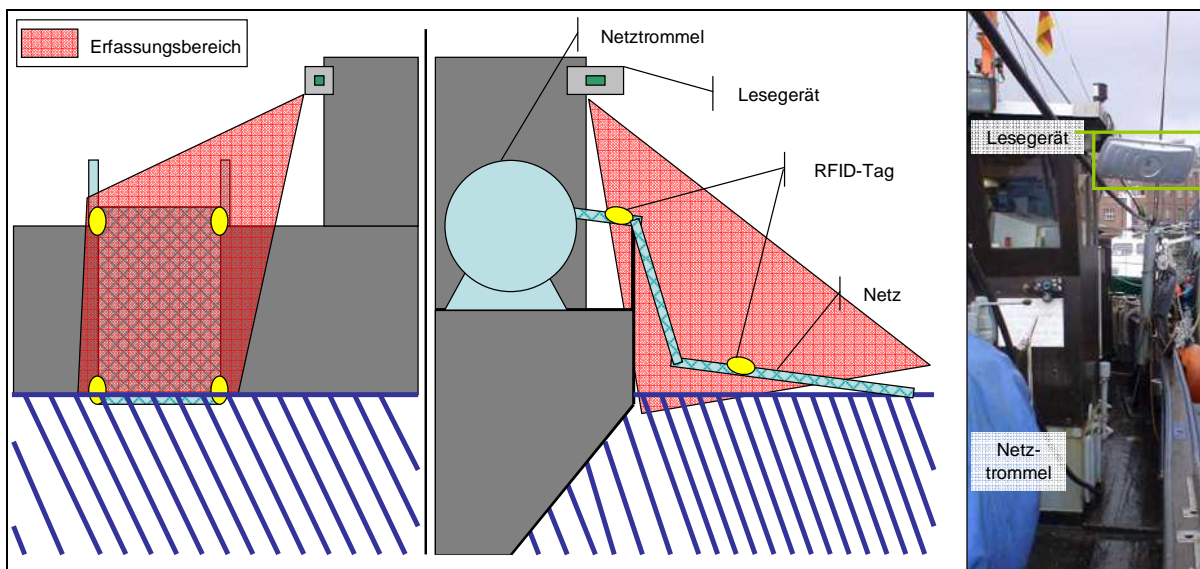


Abb. 8-2: Aufbau auf einem Fischkutter mit ermitteltem Erfassungsbereich des Prototypen

Die Tags wurden insgesamt fünfmal an dem Schleppnetz eingesetzt. Bei jedem Auslassen und Einholen des Netzes wurde das Lesegerät aktiviert und es wurde akustisch ein Signal bei der Erkennung eines neuen Tags gegeben. Nach Abschluss der Erfassung erfolgte eine Überprüfung, ob alle Tags identifiziert wurden. Jeder Tag wurde bei allen zehn Erfassungsvorgängen erfasst. Damit wurde eine 100%ige Zuverlässigkeit der Erfassung erreicht. Die Tags wiesen weder medial noch mechanisch begründete Belastungsspuren auf. Die Tags sind damit für den praktischen Einsatz geeignet.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde erstmals das komplexe Anforderungsfeld aus gleichzeitiger mechanischer und medialer Belastung sowie hoher Leistungsanforderungen an die RFID-Komponente von Tags für den robusten Einsatz untersucht und erfolgreich am Beispiel des Einsatzes von Tags an Fischereinetzen umgesetzt. Es wurden Lösungsvorschläge für die erfolgreiche Gestaltung anforderungsgerechter Tags ermittelt. Im Fokus der Arbeit standen dabei die Zusammenhänge zwischen den Gehäuse- und Füllmaterialien sowie die Frequenz- und Leistungsparameter der Tags. Dabei wurden entscheidende Erkenntnisse gewonnen, die in die Herstellung von anforderungsgerechten Funktionsmustern eingeflossen sind.

Aufbauend auf der Einführung in die Thematik und der Ableitung der Anforderungen an Tags wurden zunächst die verfügbaren Auto-ID-Technologien und ihre Einsatzgebiete sowie Vor- und Nachteile vorgestellt, wobei die RFID-Technologie näher untersucht wurde. Dabei zeigte sich, dass bisher nur wenige auf spezifische Anwendungen fokussierte hochleistungsfähige, aber hochpreisige Tags oder Tags zu vertretbaren Kosten aber mit eingeschränkter Leistung verfügbar sind.

Eine nähere Darstellung der Eigenschaften elektromagnetischer Wellen und der Abgleich mit den Werkstoffeigenschaften stellten Grundzusammenhänge zwischen den Anforderungen der Lesbarkeit und der Belastbarkeit her.

Somit konnten unpolare Kunststoffe mit möglichst geringen Dielektrizitätswerten aus Sicht der Lesbarkeit als besonders geeignet identifiziert werden. Außerdem wurden Randbedingungen für die Gestaltung von Gehäusen, z.B. die gepufferte Lagerung von Inlays, ermittelt.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Anforderungskatalog für einen Tag zur Kennzeichnung von Fischereinetzen erarbeitet. Dabei wurden die Anforderungen detailliert aufgenommen. Abschließend wurden am Markt verfügbare Tags auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht. Die Tags konnten weder die Bauform-, noch die Leistungs- noch die Beständigkeitsanforderungen zufriedenstellend erfüllen, woraus sich ein entsprechender Forschungsbedarf ableitete.

Anschließend wurden die Gestaltung der Bauform und die Applikationsmöglichkeiten untersucht. Dabei zeigten sich aufgrund der prozessualen Anforderungen sowohl eine ellipsoide, als auch eine kleinere ringförmige Bauform als günstig. Die

Applikation erfolgte bei beiden Bauformen in einem axialen Hohlraum. Die ellipsoide Bauform ermöglicht drei verschiedene Arten der Integration von Transpondern in das Gehäuse und ist damit sehr flexibel für verschiedene Erfassungsszenarien einsetzbar. Die ringförmige Bauform hingegen erlaubt nur eine Art der Integration, die des zum Ring gebogenen Inlays.

Zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit wurden in Kap. 5, S. 73 die prüfbareren Messgrößen für die Lesbarkeit sowie für die Belastbarkeit erarbeitet. Für die Lesbarkeit wurde dabei zum Teil auf verfügbare Normen und Richtlinien zurückgegriffen und einige für die Arbeit notwendige Erweiterungen der Testverfahren vorgenommen. Im Bereich der Belastbarkeit konnte aufgrund der nicht exakt möglichen Definition der mechanischen Belastungen nur die mediale Belastung in Anlehnung an eine Norm ermittelt werden. Die Überprüfung der mechanischen Belastbarkeit der Tags wurde in praktischen Tests nachgewiesen.

Basierend auf den erfolgten Vorarbeiten wurde dann in Kap. 6, S. 78 die Auswahl der Materialien vorgenommen. Mit Hilfe der Spektralanalyse wurden die Frequenzparameter der Transponder ohne und in Verbindung mit evtl. möglichen Werkstoffen für die Taghülle ermittelt. Weiterhin wurden die Leistungsparameter von Werkstoffkombinationen ermittelt. Die Auswertung der Spektralanalyse ermöglichte die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Mittelfrequenz und Erfassungsreichweite sowie zwischen Mittelfrequenz und Materialstärke für die untersuchten Werkstoffe und Werkstoffkombinationen.

Demnach verringert sich die Mittelfrequenz mit zunehmender Materialstärke bei allen Materialien. Liegt die Mittelfrequenz im Bereich der Arbeitsfrequenz, wirkt sich dies grundsätzlich positiv auf die Erfassungsreichweite aus. Gleichzeitig verhalten sich die Signalpegel der Mittelfrequenz verschiedener Transponder unterschiedlich mit zunehmender Materialstärke. Bei einigen werden die Signalpegel verstärkt, bei anderen werden die Pegel erst verstärkt und dann ab einer bestimmten Materialstärke wieder gedämpft.

Somit ergibt sich als Anforderung an die Hersteller von Inlays, dass die Inlays eine möglichst über der Arbeitsfrequenz liegende Mittelfrequenz aufweisen, damit im Fall der Aufbringung auf ein Material oder in ein Gehäuse die Mittelfrequenz im oder nahe dem Arbeitsbereich liegt.

Außerdem ergaben die Untersuchungen, dass die Art der Einbringung und die Position der Transponder relativ zum Gehäuse einen wesentlichen Einfluss auf die Spektral- sowie Leistungsparameter haben. So wurden optimale Positionen für Transponder in Gehäusen ermittelt.

Anhand der Untersuchungsergebnisse wurden Funktionsmuster des RFID-Tags hergestellt und im Labor sowie im Praxiseinsatz untersucht. Es zeigte sich, dass der entwickelte Tag in ellipsoider Gestalt eine Erfassungsreichweite zwischen 10 und 11 m über 360° und damit keine Lageabhängigkeit um die Querachse zum Lesegerät aufweist. Der Tag wurde im realen Fischereibetrieb eingesetzt und erreichte eine 100%ige Lesezuverlässigkeit sowohl in den Kontrollprozessen, als auch bei der automatischen stationären Erfassung (im 14-tägigen realen Fischereibetrieb). Die Machbarkeit beider Anwendungen ist erfolgreich nachgewiesen. Das Ergebnis der Arbeit zeigt, dass es gelungen ist, Tags für raue Umweltbedingungen so zu gestalten und zu entwickeln, dass sie sowohl höchsten Leistungs-, als auch Belastbarkeitsanforderungen gerecht werden; auch dann noch, wenn eine dem Anforderungen angepasste Gehäusebauform eingesetzt wird.

Mit dem Nachweis der technologischen Machbarkeit steht nun die Voraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung eines entsprechenden Zertifizierungssystems zur Verfügung. Ein Zertifizierungsmodell setzt sich allgemein aus verschiedenen Komponenten zusammen, die miteinander in Beziehung stehen und sich gegenseitig bedingen; daher bedarf es einer strukturierten Organisation. Zur Zertifizierung von Netzen und Netzteilen für eine nachhaltige Fischerei werden die nachfolgend aufgeführten Komponenten benötigt:

- einheitliche Standards und Vorgaben,
- akkreditierende Stellen,
- Kontrolleure,
- Netze,
- Tags,
- Netzmacher und
- Infrastruktur.

Als wesentliche Determinante sind die Vorgaben zu betrachten, die die Netze zu erfüllen haben. Die akkreditierenden Stellen greifen auf diese Vorgaben zurück, prüfen die Netze, vergeben die Zertifikate und legen Informationen in der Infrastruktur ab. Der Netzmacher stellt weiterhin die Netze und Netzteile her und bringt die Tags ein, die von der Infrastruktur bereitgestellt werden. Die Kontrolleure prüfen auf den Schiffen im Rahmen der Fischereikontrolle die Netze auf Einhaltung der Vorgaben und legen Kontrolldatensätze in der Infrastruktur ab.

Außerdem können einzelne Elemente eines Zertifizierungssystems für weitere Mehrwertanwendungen eingesetzt werden. Der Einsatz eines Identifikationssystems in einzelnen Bereichen zieht grundsätzlich die Frage nach sich, ob es nicht auch sinnvoll ist, dieses System in einigen angrenzenden Bereichen einzusetzen.

Eine offensichtliche Anwendung ist die Inventarisierung und Lagerplatzzuordnung bei einer größeren Kumulation von Netzen. Dies tritt z.B. bei Netzmachern, Fischereigenossenschaften oder größeren Fischereiunternehmen auf. Es würde sich hier anbieten, die Netze beim Einlagern mit einem Handgerät zu identifizieren und mit dem Lagerort über manuelle oder ebenfalls automatische Identifikation zu verknüpfen. Gleiches kann auch mit allen weiteren Fangeräten und anderen hochwertigen Geräten und Utensilien in der Fischerei durchgeführt werden.

Eine weitere Anwendung könnte ein Informationsservice für Fischer sein. Über die Eingabe der Netznummer in einem Online-Portal könnten z.B. Informationen über die Zulässigkeit der Netze sowie Sperrgebiete und weitere Informationen zum Einsatz des Netzes abgerufen werden. Vor allem Regelungen, die über die Zeit durch Gesetzesänderungen variieren, können so auf einfachem Wege von Fischern abgerufen werden.

Wobei die beiden eben aufgeführten Anwendungen nur einen geringen bis mittleren Aufwand darstellen, wäre eine dritte Anwendung mit wesentlich größerer Reichweite in einem gesonderten Projekt zu untersuchen. Dabei handelt es sich um eine stationäre Überwachung des Fanggeräteeinsatzes. Diese Informationen können dann gekoppelt mit den Informationen des Fernüberwachungssystems zur Erfassung des Fischereiaufwandes eingesetzt werden. Hierzu müssen jedoch noch weitere umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt werden.

Die in dieser Arbeit erstmals erarbeiteten Erkenntnisse über die Gestaltung von Transpondergehäusen können über das Beispiel der Fischereianwendung hinaus für eine große Bandbreite von rauen Anwendungsgebieten genutzt werden. So wird es möglich mobile und immobile Vermögensgegenstände im Rahmen eines Asset-Managements auch im Außenbereich und in rauen Produktionsumgebungen zu kennzeichnen und durch die hohe erzielbare Lesereichweite auch bei un stetigen Bewegungsabläufen sicher zu erfassen. Weitere Einsatzbereiche sind im Bereich der Sicherheitstechnik vorstellbar. So können zum Beispiel bei der Evakuierung von unübersichtlichen Gebäuden oder bei durch Rauch schwieriger Orientierung bereits untersuchte Bereiche oder Grenzbereiche gekennzeichnet werden. Aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit der Tags können dann auch beim Einsatz von mobilen Datenerfassungsgeräten mit meist geringerer Sendeleistung anforderungsgerechte Erfassungsreichweiten erzielt werden.

Literatur

- [1] isis-specials (2007): Website, URL: <http://www.isis-specials.de>, abgerufen am 17.10.2007
- [2] Texas Instruments (2007): RFID Systems, Texas Instruments, URL: <http://www.ti-rfid.com>, abgerufen am 17.10.2007
- [3] Jungmichel Textil GmbH (2006): Schlussbericht zu dem Projekt: „Plawa Neu - Pilotprojekt zur Einführung eines Systems intelligent gekennzeichnete Textilien unter Berücksichtigung aller Anforderungen in der textilen Kette, Teilvorhaben: Textilien in medizinischen Anwendungen“
- [4] deister electronic (2007): textag - der gewebte Transponder wird Wirklichkeit, URL: http://www.deisterrfidportal.de/content/newcontent/pdf/textag-flyer_deutsch.pdf, abgerufen am 15.06.2007
- [5] Smart-TEC (2008): Website, URL: <http://www.smart-tec.com>, abgerufen am: 06.02.2008
- [6] CONFIDEX (2008): Website, URL: <http://www.confidex.fi>, abgerufen am: 06.02.2008
- [7] EuroID (2008): Website, URL: <http://www.euroid.com/Hochtemperaturbestaendiger-passiver-UHF-Transponder-zur-Montage-auf-elektrisch-leitenden-Oberflaechen-detail-500.html>, abgerufen am: 06.02.2008
- [8] Bekuplast (2007): bekuplast – Behälter – Transport- und Lagerbehälter – Kunststoffboxen – Klappboxen – KLT – Industriebhälter, URL: <http://www.bekuplast.de>, abgerufen am 18.10.07
- [9] Paschal (2008): Website, URL: <http://www.paschal.de>, abgerufen am: 05.02.2008
- [10] RFID-Ready (2008): Website, URL: <http://www.rfid-ready.de>, abgerufen am: 05.02.2008
- [11] Cambium (2008): Website, URL: <http://www.cambium-forstbetriebe.de>, abgerufen am: 05.02.2008
- [12] Spanset (2008): Website, URL: <http://www.spanset.de>, abgerufen am: 06.02.2008

- [13] Tyrolia (2008): Website, URL: <http://www.tyrolia.com>, abgerufen am: 07.02.2008
- [14] Vorwerk (2008): Website, URL: <http://www.vorwerk.com>, abgerufen am: 07.02.2008
- [15] Gliesche, M., Mannel, A. (2007): Abschlussbericht zu dem Forschungsprojekt „Konzeptentwicklung für die Zertifizierung von Steerten mit Hilfe der Transpondertechnologie“, n.v., 2007
- [16] BSI: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2004): Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen, Bonn, Ingelheim, SecuMedia Verlags-GmbH, 2004, URL: <http://www.bsi.bund.de/fachthem/rfid/RIKCHA.pdf>, abgerufen am: 03.12.2007
- [17] Finkenzeller, K. (2006): Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten, in: RFID-Handbuch, Hrsg.: Finkenzeller, K., 4. akt. u. erw. Aufl., Hanser, München, 2006
- [18] Lenk, B. (2002): Handbuch der automatischen Identifikation: 2D-Code, 3D-Codes, Bd. 1, Monika Lenk Fachbuchverlag, Kirchheim unter Teck, 2002
- [19] Pflaum, A. (2001): Transpondertechnologie und Supply Chain Management, Band 3, Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, 2001
- [20] Lenk, B. (2004): Gibt es noch neue Strichcodes?, in: ident Jahrbuch 2004, S. 42 bis 46, URL: http://www.ident.de/uploads/media/Jahrbuch_04_Beitrag_Barcodes.pdf, abgerufen am 30.06.2006
- [21] Lenk, B. (2003): Handbuch der automatischen Identifikation: ID-Techniken, Bd. 1, 2. Auflage, Monika Lenk Fachbuchverlag, Kirchheim unter Teck, 2003
- [22] Weber, W. (2004): Data Matrix ECC 200, in: ident Jahrbuch 2004, S. 58 bis 59, 2004, URL: http://www.ident.de/uploads/media/Jahrbuch_04_Beitrag_Datamatrix.pdf, abgerufen am 30.11.2004
- [23] Stockmann, H. (1948): Communication by Means of Reflected Power, in: Proceedings of the I.R.E., 1948, pp. 1196-1204

- [24] VDI-Richtlinie 4472 Blatt 1 (2005): Anforderungen an Transpondersysteme zum Einsatz in der Supply Chain – Allgemeiner Teil, 2005, S.5f.
- [25] Bald, C. (2004): RFID in der Wertschöpfungskette von Konsumgütern, in: Handel im Fokus, 02/2004(56), S. 90-104
- [26] Ubisense (2007): Funktionsweise von RTLS auf UWB, URL: http://www.ubisense.de/bfora/systems/xmlviewer/default.asp?arg=DS_UBI_DE_TECHART_13/firsttitle.xml/14, abgerufen am 15.07.2007
- [27] Logistik Inside (2005): RFID-Tags gemäß EPC Generation 2 von Texas Instruments, 2/2005, S.52
- [28] Logistik für Unternehmen (2004): RFID-Label für Metalluntergründe, o.V., 11/12/2004, S. 50-51
- [29] EPCglobal (2006): Gen2 Airinterface spec., URL: http://www.epcglobalinc.org/standards/uhfc1g2/uhfc1g2_1_1_0-standard-20071017.pdf, abgerufen am 15.02.2007
- [30] Barck, R. (2005): UHF-Tags aus Finnland, in: Logistik inside, 02/2005, S. 58
- [31] Detlefsen, J., Siart, U. (2006): Grundlagen der Hochfrequenztechnik, 2. Auflage, Oldenbourg München, 2006
- [32] Meinke, Hans H. (1986): Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, 4., völlig Neubearb. Aufl., Springer, Berlin, 1986
- [33] Rothammel, K., Krischke, A. (2002): Rothammels Antennenbuch, 12. akt. und erw. Auflage, DARC-Verlag, Baunatal, 2002
- [34] Kark, K (2004): Antennen und Strahlungsfelder, Elektromagnetische Wellen auf Leitungen, im Freiraum und ihre Abstrahlung, S. 82ff., Vieweg, Wiesbaden, 2004
- [35] Mayer, L. W., Wrulich, M., Caban, S. (2006): Measurement and channel modelling for short range indoor UHF applications, in: Proceedings of "EuCAP 2006, Nice, France, 2006
- [36] Kholodnyak, D. V. (2006): 3D Antenna for UHF RFID Tags with Eliminated Read-Orientation Sensitivity, in: IEEE 2006 European Microwave Conference, S. 1716 bis 1719, 2006

- [37] Raumonon, P., Sydänheimo, L., Ukkonen, Leena, Keskilammi, M., Kivikoski, M. (2003): Folded Dipole Antenna Near Metal Plate, in: IEEE, 2003(09), S. 848 bis 851, 2003
- [38] Hornbogen, E. (2006): Werkstoffe: Aufbau und Eigenschaften von Keramik-, Metall-, Polymer- und Verbundwerkstoffen, Hrsg.: Hornbogen, E., 8. bearb. und erg. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2006
- [39] Ohne Verfasser (2007): Definition Festigkeit, URL: mlu.mw.tu-dresden.de/module/m011/glossar/main.htm, abgerufen am 24.03.2007
- [40] Kern GmbH (b) (2007): Kerbschlagzähigkeit, URL: http://www.kern-gmbh.de/index_glossar.html?http://www.kern-gmbh.de/kunststoff/service/glossar/, abgerufen am 09.05.2007
- [41] Jacobs, O. (2005): Werkstoffkunde, Vogel Buchverlag, Frankfurt (Main), 2005
- [42] Krüger, O. (2004): Kunststoffe, in: Werkstoffkunde, Hrsg.: Bargel, H.-J., Schulze, G., S. 335 bis 404, 8. Auflage, Springer, Heidelberg, 2004
- [43] Kern GmbH (a) (2007): Chemische Beständigkeiten von Kunststoffen, URL: <http://www.kern-gmbh.de/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2631&lng=1&popup=2>, abgerufen am 26.04.2007
- [44] Ivers-Tiffée, E., von Münch, W. (2007): Werkstoffe der Elektrotechnik, 10. bearb. und erg. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2007
- [45] Schaumburg, H. (1993): Einführung in die Werkstoffe der Elektrotechnik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1993
- [46] Impinj (a) (2005): ESD and the RFID-Tag, Impinj RFID Technology Series, URL: <http://rfid-support.impinj.com/Common/FileTransfer/Download.aspx?ObjectId=30091310&env=807989>, abgerufen am 26.06.2007
- [47] Helling, K. (2003): Aufgeladen, in: Phänomene und Grundlagen zu elektrostatischen Aufladungen, 10. TEAG-Energietag Thüringen, Erfurt, 2003
- [48] Fischer, H., Hofmann, H., Spindler, J. (2007): Werkstoffe in der der Elektrotechnik, 6. n. bearb. Auflage, Hanser, München, 2007

- [49] VDE 0303 Teil 4 1969-12 DIN VDE 0303-4 Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen - Teil 4 Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften
- [50] Becker, M. (2006): Meere könnten bis 2048 leergefischt sein, in: Spiegel online, URL: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,445889,00.html>, abgerufen am 02.11.2006
- [51] Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005): Nationaler Strategieplan Fischerei, Draft, 21.12.2005
- [52] Dresdner Bank (2005): Branchenreport Fischerei und Fischzucht, URL: http://a.relaunch.focus.de/fof/PDF/Basel_2/05-de.pdf, abgerufen am 15.11.2006
- [53] Knauss, F. (2006): Ödnis in der Tiefe, in: Handelsblatt Nr. 164 vom 25. August 2006
- [54] Amtsblatt der Europäischen Union (2005): Verordnung Nr. 2187/2005 des Rates vom 21.12.2005 mit technischen Maßnahmen für die Erhaltung der Fischereiressourcen in der Ostsee, den Belten und dem Öresund, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1434/98 und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 88/98
- [55] Ohne Verfasser (a) (2006): Technische Maßnahmen – Eine vereinfachte Regulierung, in: Fischerei und Aquakultur in Europa, Nr. 29, 2006(06), 2006
- [56] Beverton, R.J.H. (1963): Escape of fish through different parts of a codend, in: ICNAF Spec. Publ. No.5, 9.11.1963
- [57] Stewart, P.A.M., Galbraith, R.D. (1989): Codend design, selectivity and legal definitions. ICES C.M./B 11, 1989
- [58] Europäische Gemeinschaft (2006): Verordnung (EG) Nr. 52/2006 des Rates vom 22. Dezember 2005 zur Festsetzung der Fangmöglichkeiten und begleitenden Fangbedingungen für bestimmte Fischbestände und Bestandsgruppen in der Ostsee (2006)
- [59] Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (2006): Nationales Kontrollprogramm für die Ostsee 2006, URL: www.ble.de/0004146A0F1A141881D46521C0A8D816.0nationaleskontrollp rogr.pdf, abgerufen am: 06.01.2007

- [60] Amtsblatt der Europäischen Union (2004): Verordnung Nr. 869/2004 des Rates vom 26.04.2004 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1936/2001 mit Kontrollmaßnahmen für die Befischung bestimmter Bestände weit wandernder Arten
- [61] UPM Raflatac (a) (2006): Datenblatt zu: Rafsec Twister, Wet Inlay, Global UHF C1G2 EPC, Sales code 3000999, 2006
- [62] UPM Raflatac (b) (2006): Datenblatt zu: Rafsec 45 x 76 mm inlay, ISO 15 693, Philips I-Code SLI, Sales code 3 000 879, 2006
- [63] Impinj (b) (2005): Receptivity-A Tag Performance Metric, Impinj RFID Technology Series, URL: <http://rfid-support.impinj.com/Common/FileTransfer/Download.aspx?ObjectId=30091106&env=807989>, abgerufen am 26.06.2007
- [64] ISO/IEC 18046 (2006): ISO/IEC 18046:2006 Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Radio frequency identification device performance test methods
- [65] ISO/IEC 18046, Teil 1 (2007): ISO/IEC NP 18046-1, Information technology -- Radio frequency identification device performance test methods -- Part 1: Test methods for system performance, in Entwicklung
- [66] ISO/IEC 18046, Teil 2 (2007): ISO/IEC NP 18046-2, Information technology -- Radio frequency identification device performance test methods -- Part 2: Test methods for interrogator performance, in Entwicklung
- [67] ISO/IEC 18046, Teil 3 (2007): ISO/IEC 18046-3:2007, Information technology -- Radio frequency identification device performance test methods -- Part 3: Test methods for tag performance
- [68] ISO/IEC 18047, Teil 2 (2006): ISO/IEC TR 18047-2:2006, Information technology -- Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 2: Test methods for air interface communications below 135 kHz
- [69] ISO/IEC 18047, Teil 3 (2004): ISO/IEC TR 18047-3:2004, Information technology -- Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 3: Test methods for air interface communications at 13,56 MHz

- [70] ISO/IEC 18047, Teil 4 (2004): ISO/IEC TR 18047-4:2004, Information technology -- Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 4: Test methods for air interface communications at 2,45 GHz
- [71] ISO/IEC 18047, Teil 6 (2006): ISO/IEC TR 18047-6:2006, Information technology -- Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 6: Test methods for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz
- [72] ISO/IEC 18047, Teil 7 (2005): ISO/IEC TR 18047-7:2005, Information technology -- Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 7: Test methods for active air interface communications at 433 MHz
- [73] VDI/AIM 4472 Blatt 10 (2008): Anforderungen an Transpondersysteme zum Einsatz in der Supply Chain - Testverfahren zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Transpondersystemen (RFID).
- [74] DIN ISO 175 (1981): Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten einschließlich Wasser
- [75] Jansen, R. et al. (2004): Integration der Transpondertechnologie zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der operativen Produktionssteuerung, in: Müller, E.: Wissenschaftliche Schriftenreihe Chemnitz, TU Chemnitz, 2004
- [76] Finger, M., Mannel, A. (2006): Ergebnisse aus dem LogIDLab, Teil 2 - RFID auf Item-, Case- und Pallet-Ebene, in: Hebezeuge und Fördermittel, Nr. 1-2, S. 38-39, 2006
- [77] Kataja, J., Ukkonen, L., Schaffrath, M., Sydänheimo, L., Kivikoski, M. (2006): Modelling the Effects of Stacked Paper on the Radiation Pattern of Bow-Tie RFID Tag Antennas, in: 2006 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, S. 3225 bis 3228, 2006,
- [78] Chau, T. C., Welt, B. A., Eisenstadt, W. R. (2006): Analysis and Characterization of Transponder Antennae for Radio Frequency Identification (RFID) Systems, in: Packaging Technology and Science, 19(1), S. 33 bis 44, 2006
- [79] Dobkin, D. M, Weigand, S. M., (2005): Environmental Effects on RFID Tag Antennas, in: 2005 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, S. 135 bis 138, 2005

- [80] Dahm, E. (2003): Netzmaterial und Selektivität in der Ostseedorschfischerei
Inf. Fischwirt, Fischereiforsch. 50(1), S. 32 bis 35, 1996
- [81] Robertson, J.H.B., Ferro, R.D. (1988): Mesh selection within the cod-end of
trawls. The effects of narrowing the cod-end and shortening the extension.
Scott.Fish.Rep., 39, S. 11,1988

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Die wichtigsten Auto-ID-Verfahren	5
Abb. 2-2:	Übersicht zu den optischen Codierungen.....	8
Abb. 2-3:	Branchen und die jeweils wichtigsten Codierungen [20].....	9
Abb. 2-4:	Funktionsaufbau und Erfassungsbereich der IRID-Technologie	10
Abb. 2-5:	Bestandteile eines RFID-Systems mit Anbindung an eine DV	12
Abb. 2-6:	Aufbau eines Tags.....	14
Abb. 2-7:	Zentrales vs. dezentrales Datenmanagement.....	17
Abb. 2-8:	Klassische Dipole gegenüber zweidimensional gestalteten Dipoltranspondern	25
Abb. 2-9:	Kraft-Weg-Diagramm verschiedener Tagtypen mit integriertem Transponder	30
Abb. 2-10:	Zusammensetzung der viskoelastischen Reaktion [41].....	31
Abb. 2-11:	Zugversuche von sieben alternativ einsetzbaren Inlays (Nr. 1 bis 7) und zwei Hardtags (Nr. 9 und 10).....	32
Abb. 2-12:	Aufbau eines Tags und mögliche Belastungen durch Druck und Zug (kombinierte Zug-Biegebelastung, Verformung unter Last als gestrichelte Linie dargestellt).....	34
Abb. 3-1:	Anforderungen an Tags.....	41
Abb. 3-2:	Hecktrawler (A) und Seitentrawler (B)	45
Abb. 3-3:	Grundschnepnetz mit Höhengscherbrett[55]	46
Abb. 3-4:	Aussetzen eines Stellnetzes (A), Stellnetz (B) und Boje (C)	47
Abb. 3-5:	Stellnetzeinholung (A), Sichern des Fangs (B) und Säuberung (C)	48
Abb. 3-6:	Ablauf der Fischereikontrolle auf See 1/2.....	52
Abb. 3-7:	Ablauf der Fischereikontrolle auf See 2/2.....	53
Abb. 3-8:	Überblick über den Anforderungskatalog[15]	55
Abb. 3-9:	Übersicht über das Anforderungsprofil	63
Abb. 3-10:	Detaillierte Anforderungen an den Tag.....	64
Abb. 3-11:	Tag beim Aussetzen (A) und Verkantung vor der Röhre (B)	66
Abb. 4-1:	Anforderungsgerechte Gehäusegeometrien.....	71
Abb. 4-2:	Drei mögliche Einbringungsformen von Transpondern in ein elliptisches Gehäuse	72
Abb. 4-3:	Mögliche Einbringungsform eines Transponder in ein zylindrisches Gehäuse.....	72
Abb. 5-1:	Bezugskoordinatensystem	75
Abb. 5-2:	Heckfänger von der Seite und von hinten mit Schleppeilansätzen	75

Abb. 5-3:	Stationäre Erfassung eines Stellnetzes am Holer mit unterschiedlichen Antennenpositionen, unter dem Holer	76
Abb. 6-1:	Versuchsaufbau zur Spektralanalyse	81
Abb. 6-2:	Vergleich materialfreie Distanz zu PE-Schaum-Distanz	82
Abb. 6-3:	Versuchsaufbau auf Messsonde unter Berücksichtigung verschiedener Materialstärken	83
Abb. 6-4:	Absorberkammer	84
Abb. 6-5:	Pyramidenabsorber	85
Abb. 6-6:	Versuchsaufbau Erfassungsreichweite.....	85
Abb. 6-7:	Typische Resonanzkurve eines UHF-Transponders mit markierter Bandbreite sowie eingetragener Arbeitsfrequenz des UHF-Bereiches	88
Abb. 6-8:	Erfassungsreichweiten der nicht modifizierten Transponder (in der Absorberkammer mit 50 mW Sendeleistung)	89
Abb. 6-9:	Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder	91
Abb. 6-10:	Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von der Gesamtmaterialstärke	92
Abb. 6-11:	Abhängigkeit der Mittelfrequenzänderung von der HDPE-Materialstärke vor und hinter dem Transponder.....	94
Abb. 6-12:	Abhängigkeit der Mittelfrequenzänderung von der Summe der HDPE-Materialstärke.....	95
Abb. 6-13:	Abhängigkeit der Signalpegeländerung der Mittelfrequenz von den HDPE Materialstärken vor und hinter dem Tranponder.....	96
Abb. 6-14:	Abhängigkeit der Signalpegeländerung der Mittelfrequenz von den summierten HDPE-Materialstärken	97
Abb. 6-15:	Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder.....	98
Abb. 6-16:	Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den summierten HDPE Materialstärken	99
Abb. 6-17:	Abhängigkeit der Erfassungsreichweite von der Mittelfrequenz der Transponder über die Materialstärke (MF: Mittelfrequenz, ERW: Erfassungsreichweite)	104
Abb. 6-18:	Abhängigkeit der Mittelfrequenz von verschiedenen Materialien und Materialdicken	106
Abb. 6-19:	Abhängigkeit der Mittelfrequenz von verschiedenen Schäumen und Schaumdicken.....	107
Abb. 6-20:	Abhängigkeit des Mittelfrequenz-Signalpegels von verschiedenen Materialien.....	108
Abb. 6-21:	Abhängigkeit des Mittelfrequenz-Signalpegels verschiedener Schäume und Schaumdicken.....	109

Abb. 6-22:	Abhängigkeit der Erfassungsreichweite verschiedener Materialien und Materialdicken	110
Abb. 6-23:	Einfluss der Materialien (Schäume) auf die Erfassungsreichweite	110
Abb. 6-24:	Erfassungsreichweiten ohne und mit Abstand (5 mm) zum Gehäusematerial	112
Abb. 6-25:	Veränderung der Spektralparameter über die Stärke des Schwimmermaterials vor dem Transponder	113
Abb. 6-26:	Einfluss des Aushärtungsgrades von R1 auf das Frequenzspektrum	114
Abb. 6-27:	Abhängigkeit der Mittelfrequenz und des Signalpegels der Mittelfrequenz von „gekochten und ungekochten“ Prüfplatten.....	115
Abb. 6-28:	Versuchsanordnung zur Ermittlung der Erfassungsreichweite von Transpondern in Abhängigkeit von ihrer Lage.....	116
Abb. 6-29:	Polare Darstellung der Erfassungsreichweite von drei Transpondern	117
Abb. 6-30:	Polare Darstellung der Erfassungsreichweite von mehrdimensionalen Transpondern	118
Abb. 6-31:	Spektralparameter in Abhängigkeit vom Abstand des Transponders zum Gehäusematerial	119
Abb. 6-32:	Abhängigkeit der Resonanzkurven dreier Transpondertypen vom Abstand zum Gehäusematerial	120
Abb. 6-33:	Abhängigkeit der Erfassungsreichweite dreier Transpondertypen vom Abstand zum Gehäusematerial (0 und 5 mm)	121
Abb. 7-1:	A: Positionierung der Transponder im Tagprototyp B: Ausschnitt mit Transponder C: Aufgeschnittener Schwimmer mit versetzten Rippen D: Konfektionierter und versiegelter Prototyp.....	123
Abb. 7-2:	Polare Darstellung der Erfassungsreichweite des Tags bei Rotation um die x-Achse.....	125
Abb. 7-3:	Polare Darstellung der Erfassungsreichweite des Tags bei kürzester Entfernung um die z-Achse.....	126
Abb. 7-4:	Polare Darstellung der Erfassungsreichweite des Tags bei kürzester Entfernung in der z-Achse (bei 300°) um die x-Achse in ungünstiger Ausrichtung (senkrecht)	127
Abb. 8-1:	Anbringungspunkte der RFID-Tags am Schleppnetz	128
Abb. 8-2:	Aufbau auf einem Fischkutter mit ermitteltem Erfassungsbereich des Prototypen	128

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Einsatzbereiche und Eigenschaften von verfügbaren RFID-Tags	2
Tab. 2-1:	Performancemerkmale der wichtigsten Frequenzbereiche.....	18
Tab. 2-2:	Nahfeldgröße und typische Lesereichweiten der RFID-Frequenzbereiche.....	23
Tab. 3-1:	Flottenstruktur nach Fischereien 2004[51]	44
Tab. 3-2:	Zur Überprüfung des Anforderungsprofils herangezogene, serienmäßig hergestellte Tags	65
Tab. 3-3:	Ermittelte Erfassungsreichweite im Labor der serienmäßig hergestellten Tags.....	65
Tab. 6-1:	Kennwerte der Transponder und Erfassungsreichweiten ohne Material.....	90
Tab. 6-2:	Wertetabelle zur Veränderung der Erfassungsreichweite.....	91
Tab. 6-3:	Wertetabelle zur Veränderung der Erfassungsreichweite in Abhängigkeit von der Gesamtmaterialstärke HDPE	93
Tab. 6-4:	Wertetabelle zur Veränderung der Mittelfrequenz von der HDPE-Materialstärke vor und hinter dem Transponder.....	94
Tab. 6-5:	Wertetabelle zur Veränderung der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von der Summe der HDPE-Materialstärken	95
Tab. 6-6:	Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder	97
Tab. 6-7:	Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels der Mittelfrequenz in Abhängigkeit von den summierten HDPE-Materialstärken	97
Tab. 6-8:	Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von von den HDPE-Materialstärken vor und hinter dem Transponder	99
Tab. 6-9:	Wertetabelle zur Veränderung des Signalpegels bei 868 MHz in Abhängigkeit von den summierten HDPE-Materialstärken.....	99
Tab. 6-10:	Korrelation der Leistungs- und Spektralparameter zur summierten Materialstärke.....	101
Tab. 6-11:	Korrelation der Spektralparameter zum Leistungsparameter Erfassungsreichweite (sortiert nach zunehmender Erfassungsreichweite)	102

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
Auto-ID	Automatische Identifizierung
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
DB	Datenbank
dB	Dezibel
dBm	Dezibel Milliwatt
DV	Datenverarbeitung
E	Elektrisch
EAN	European Article Number
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EFF	Europäischer Fischereifond
E-Modul	Elastizitätsmodul
EPC™	Electronic Product Code™
ERP	Effective radiated power
EU	Europäische Union
EU15	15 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union
FIAP	Finanzinstrument für die Ausrichtung der Fischerei
GFP	Europäischen Gemeinsamen Fischereipolitik
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
H	Magnetisch
HDPE / PE-HD	hochdichtes Polyethen
HF	High Frequency
ID	Identifikation
ID	Identifikationsnummer
IEC	International Engineering Consortium
i.e.S.	im engeren Sinn
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
ISO	Internationale Organisation für Normung
i.V.m.	in Verbindung mit
k	Wellenmaß
LF	Low Frequency
LKW	Lastkraftwagen

Lüa	Länge über alles
MDE	Mobiles Datenerfassungsgerät
MPA	Mehrfährige Flottenausrichtungsprogramme
MSC	Marine Stewardship Council
MTV	Mehrwegtransportverpackung
OCR	Optical Character Recognition
PA	Polyamid
PDA	Personal Digital Assistant
PE	Polyethen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PTFE	Polytetrafluorethylen (Teflon)
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
R	s. Seite 60
RF	Radio Frequenz
RFID	Radiofrequenz Identifikation
RO	Read Only
RSS	Reduces Space Symbology (heute: GS1 Data Bar)
RTLS	Real-time Location System
RW	Read/Write
RW	ReWritable
SDE	Stationäres Datenerfassungsgerät
SHF	Short High Frequency
SWR	ständig wave ratio
$\tan \delta$	dielektrische Verlustfaktor
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
UCC	Uniform Commercial Code
UHF	Ultra High Frequency
UPC	Universal Product Code
UV	Ultraviolettstrahlung
UWB	Ultra Wide Band
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

WLAN	Wireless Local Area Network
WORM	Write Once Read Many
Z_F	Feldwellenwiderstand
α	Dämpfungsmaß
β	Phasenmaß
ε	Permittivität
ε	Dielektrizitätskonstante
ε''	dielektrische Verlustzahl
κ	spezifische elektrische Leitfähigkeit
μ	Permeabilität
ρ	spezifischen elektrischen Widerstand
σ	Leitfähigkeit

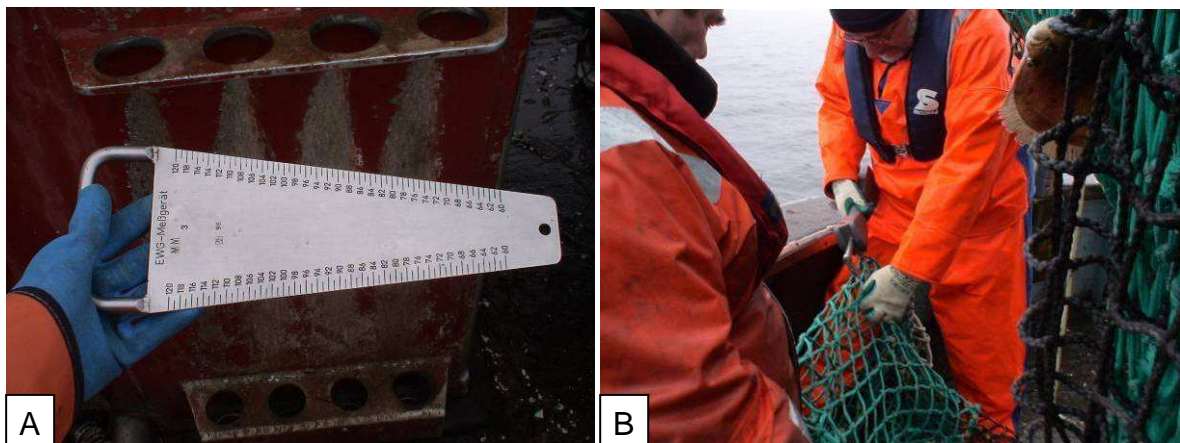
Anhang

Anhang A

Die auf die Selektivität der Schleppnetze einwirkenden Netzparameter

Maschengröße, Maschenform

Für die meisten bewirtschafteten Fischbestände sind Mindestmaschenöffnungen im Steert vorgeschrieben. So darf der Dorsch bspw. nur mit Schleppnetzen gefangen werden, bei denen die Maschen mindestens 105 mm groß sind und die mit selektivem Gerät (Bacoma oder T90) ausgerüstet sind.[55] Die Einhaltung wird zurzeit manuell mit dem Messspaten überprüft. Die Subjektivität dieser indirekten Messmethode – eine horizontale Spreizkraft wird durch Kräftezerlegung einer vertikal wirkenden Eindruckkraft unbekannter Höhe erzeugt – hat jedoch in den letzten Jahren zu einer zunehmenden Zahl von Ablehnungen der ermittelten Messwerte durch Gerichte geführt.¹⁵



Messspaten (A), Erfassung der Maschenweite mit einer Messzange (B)

Als Maschenformen sind im Bereich der EU zurzeit die herkömmlichen Rautenmaschen bzw. Quadratmaschen aus geknotetem oder knotenlosem Material zulässig. Die weltweit in einigen anderen Fischereien verwendeten Hexagonalmaschen dürfen in der EU nicht verwendet werden.

Garnstärke

Die Erhöhung des Garndurchmessers hat sich als ein besonders wirkungsvolles Mittel erwiesen, die Selektivität der Schleppnetzsteerte zu senken.[80] In der Ostsee

¹⁵ Dies ist derzeit Anlass für ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt der EU mit dem Ziel der Einführung eines neuentwickelten und vor allem objektiven elektronischen Messgeräts zur Maschenmessung (OMEGA).

hat exzessives Ausnutzen von Regelungslücken dazu geführt, dass vorübergehend 6 mm Einzelgarn und 4 mm Doppelgarn als oberste zulässige Garndurchmesser für Steerte festgelegt wurden. In der Nordsee ist derzeit – gegen den erklärten Protest von Fachwissenschaftlern – die Verwendung von 8 mm Einzelgarn und 5 mm Doppelgarn zulässig. Als Messgerät wird eine Messzange mit Aussparungen, in die das Netzgarn gelegt wird, verwendet. Lässt sich die zusammengesetzte Zange seitlich bewegen, gilt das Garn vom Durchmesser her als zulässig.¹⁶

Umfang des Steertes

Der Einfluss von Länge und Umfang eines Steertes auf die Selektivität ist hinreichend bekannt[81] und hat dazu geführt, dass Steerte mit einem Umfang von mehr als 100 offenen Maschen zumindest für eine Maschenöffnung > 80 nmm für unzulässig erklärt wurden. Die Einhaltung ist durch einfaches Auszählen von Maschen quer zum Steert zu überwachen.

Größe und Zuschnitt der Steertblätter

Neben dem Umfang ist bei einem Steert durch Bestimmung des Zuschnitts zu kontrollieren, ob er aus zwei identischen Netztuchblättern besteht, die überall gleich breit sind. Dies wird durch einen seitlichen Schnitt gewährleistet, der senkrecht zur Hauptlaufrichtung des Netzgarns verläuft. Die Einhaltung ist leicht durch optische Prüfung zu kontrollieren.

Steertanhänge

Eine Reihe von Vorschriften befasst sich mit zulässigen Dimensionen und Befestigungsvorschriften für Netzanhänge wie Hievsteerte, Scheuerschutzblätter, Stropfen oder Fangteiler.¹⁷

Steerteinsätze

Steerteinsätze zur Beifangreduzierung sind bislang nur in der Krabbenfischerei zulässig. Außer der Maschenöffnung ist bei ihnen vorerst nichts festgelegt.¹⁸

¹⁶ Aus unbekanntem Gründen ist das Messgerät bisher nicht in die Praxis eingeführt worden.

¹⁷ Da diese für das vorliegende Forschungsvorhaben irrelevant sind, soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

¹⁸ Eine Zertifizierung von Steerteinsätzen erscheint daher derzeit noch nicht sinnvoll.

Sortiergitter

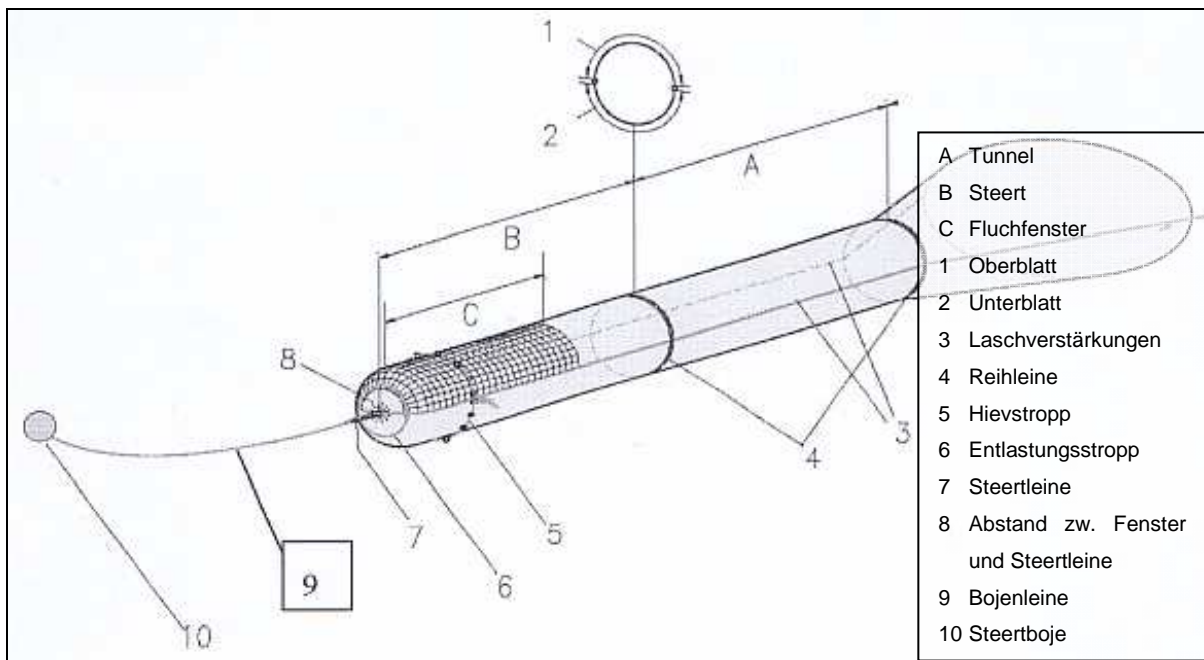
Sortiergitter sind mit parallelen Stäben ausgefüllte metallene Rahmen und werden zur Beifangvermeidung und zum Schutz untermaßiger Fische eingesetzt. Nach neuesten Informationen sind diese soweit spezifiziert, dass auch ihre Zertifizierung durchaus Sinn macht.

Fluchtfenster

Fluchtfenster können in einen Steert eingesetzt werden und erlauben untermaßigen Fischen die Flucht aus dem Steert. Ihr Material, ihre Maschenform, ihre Garnstärke und ihre Dimensionen sind in der Regel ebenso spezifiziert wie die genaue Lage ihres Einbauorts und unterliegen damit der Kontrolle des Inspektionspersonals mit den oben bezeichneten Methoden.

Tunnel

Der zwischen dem eigentlichen Steert und dem zugeschnittenen Achternetz des Schleppnetzes eingebaute Tunnel ist nur hinsichtlich Maschenöffnung sowie Mindestmaschenumfang definiert und wird mit den oben beschriebenen Methoden kontrolliert.



Schleppnetz mit verschiedenen Bestandteilen[54]

Material

Die Aufzeichnung dieser Größe wird von den Inspektoren im Messprotokoll erwartet. Mangels eigener Erfahrung und Ausbildung in einfachen Verfahren zur Materialbestimmung (Sinktest, Brenntest) werden von den meisten Inspektoren jedoch die Angaben des kontrollierten Fischers übernommen. Wissenschaftliche Untersuchungen der Selektionswirkung lassen dabei deutliche Unterschiede zwischen Polyamid (PA) und Polyethen (PE) und damit einen nicht unbedeutlichen Einfluss des Rohmaterials vermuten.

Länge

Der Begriff Steert ist in keiner EU-Vorschrift ausreichend definiert, was insbesondere die Länge des Steertes betrifft. Das führt dazu, dass man auch nur die letzten beiden Maschenreihen eines Tunnel-Steert-Gebildes als Steert ansehen könnte und dann im anschließenden Tunnel frei von allen Beschränkungen außer Mindestumfang und Maschenöffnung wäre.

Garnsteife

Gegenwärtig ist nach Schließen der Vorschriftenlücke bzgl. maximaler Garndurchmesser zu beobachten, dass die Steife der Netzgarne bei neu in die Fischerei gebrachten Steerten stetig zunimmt. Die Feststellung dieser Größe ist bereits unter Laborbedingungen nur aufwendig zu ermitteln und an Bord nahezu unmöglich. Andererseits ist diese Eigenschaft für den Selektionserfolg enorm wichtig. Die zunehmende Verwendung von immer steiferem Steertgarn hat in der Ostsee bereits dazu geführt, dass Steerte aus herkömmlichen Rautenmaschen ganz verboten wurden.

Anhang B

Wertetabellen zu Versuchen mit verschiedenen Materialien

Mittelwert von Mittelfrequenz [MHz]	Material				
	PE Schaum DIM PE - RO 1	PTFE	PU	Silikon Klar	Silikon blau eingefärbt
-8,4			763,4		
-7		793,2	769,1	746,8	
-6,3	849,6				744,7
-6		794,5		755,4	
-5,6			776,9		
-5,4	849,4				751
-5		799,8		761,4	
-4,5	849,4				755,6
-4,2			785,4		
-4		810,1		769,7	
-3,6	848,5				767,6
-3		816		778,8	
-2,8			797,8		
-2,7	850,2				776,6
-2		824,5		795,4	
-1,8	851,5				792
-1,4			823,9		
-1		842,7		824	
-0,9	851,7				821
0	849,3	849,3	849,3	849,3	849,3
0,9	849,4				821
1		836,1		819,6	
1,4			824,5		
1,8	851,5				792
2		824,5		795,4	
2,7	852,5				776,9
2,8			797,8		
3		809,5		777,2	
3,6	855,8				766,6
4		804,5		769,1	
4,2			795,7		
4,5	856,5				759,8
5		798,5		758,8	
5,4	857,5				749
5,6			775,9		
6		793,9		754,5	
6,3	856,7				743
7		790,4	769,9	746,7	
8,4			764,7		
9,8			758,5		
-9,8			755,8		

Einfluss der Materialien auf die Mittelfrequenz

Mittelwert von Mittelfrequenz [MHz]	Material			
	DIM 40/130, RG 40 (grau)	DIM Z PE 33 (blau)	DIM Z PE 45 (rot)	DIM ZE PE45 (schwarz)
-22		848		
-21,4			844,7	
-18,4	850,5			
-15,6				843,1
-11		848,4		
-10,7			845,3	
-9,2	848,1			
-7,8				848
0	849,3	849,3	849,3	849,3
7,8				852,7
9,2	853,7			
10,7			848,6	
11		853,7		
15,6				843,1
18,4	850,5			
21,4			844,7	
22		848		

Einfluss der Materialien (Schäumen) auf die Mittelfrequenz

Anhang B

Mittelwert von Signalstärke [dBm] Summe [mm]	Material				
	PE Schaum DIM PE - RO 1	PTFE	PU	Silikon Klar	Silikon blau eingefärbt
-8,4			-48,5		
-7		-49,5	-48	-46	
-6,3	-50				-46
-6		-50		-46	
-5,6			-48		
-5,4	-50,5				-46
-5		-50		-46,5	
-4,5	-50,5				-46
-4,2			-48		
-4		-52		-46,5	
-3,6	-51				-46
-3		-53		-47	
-2,8			-48,5		
-2,7	-50,5				-46
-2		-49		-48	
-1,8	-50,5				-47
-1,4			-49		
-1		-50		-48	
-0,9	-50,5				-48
0	-49	-49	-49	-49	-49
0,9	-50				-48
1		-48,5		-48	
1,4			-49		
1,8	-50,5				-47
2		-49		-48	
2,7	-51,5				-46
2,8			-48,5		
3		-50,5		-47	
3,6	-52				-46
4		-50,5		-47	
4,2			-50		
4,5	-52,5				-46,5
5		-50,5		-47,5	
5,4	-53,5				-46,5
5,6			-49,5		
6		-51		-48	
6,3	-54,5				-47
7		-51,5	-50	-48	
8,4			-50		
9,8			-50,5		
-9,8			-49		

Einfluss der Materialien auf den Signalpegel der Mittelfrequenz

Mittelwert von Signalstärke [dBm] Summe [mm]	Material			
	DIM 40/130, RG 40 (grau)	DIM Z PE 33 (blau)	DIM Z PE 45 (rot)	DIM ZE PE45 (schwarz)
-22		-58		
-21,4			-57	
-18,4	-55			
-15,6				-55
-11		-49,5		
-10,7			-50	
-9,2	-49			
-7,8				-49,5
0	-49	-49	-49	-49
7,8				-55
9,2	-56			
10,7			-58	
11		-58		
15,6				-55
18,4	-55			
21,4			-57	
22		-58		

Einfluss der Materialien (Schäumen) auf den Signalpegel der Mittelfrequenz

Anhang B

Mittelwert von Entfernung [cm]	Material				
	PE Schaum DIM PE - RO 1	PTFE	PU	Silikon Klar	Silikon blau eingefärbt
Summe [mm]					
-8,4			50		
-7			57	53	49
-6,3	91				51
-6			59		52
-5,6				56	
-5,4	91				53
-5			73		52
-4,5	91				56
-4,2				70	
-4			76		56
-3,6	91				58
-3			77		58
-2,8				73	
-2,7	92				60
-2			89		73
-1,8	92				75
-1,4				92	
-1			91		77
-0,9	92				91
0	92		92	92	92
0,9	92				92
1			92		88
1,4				92	
1,8	92				75
2			89		73
2,7	92				57
2,8				73	
3			79		56
3,6	92				55
4			73		54
4,2				72	
4,5	91				54
5			63		52
5,4	91				52
5,6				55	
6			61		49
6,3	91				51
7			61	52	48
8,4				51	
9,8				48	
-9,8				49	

Einfluss der Materialien auf die Erfassungsreichweite

Mittelwert von Entfernung [cm]	Material			
	DIM 40/130, RG 40 (grau)	DIM Z PE 33 (blau)	DIM Z PE 45 (rot)	DIM ZE PE45 (schwarz)
Summe [mm]				
-22		91		
-21,4			92	
-18,4	90			
-15,6				92
-11		91		
-10,7			92	
-9,2	91			
-7,8				92
0	92	92	92	92
7,8				91
9,2	90			
10,7			92	
11		91		
15,6				92
18,4	90			
21,4			92	
22		91		

Einfluss der Materialien (Schäumen) auf die Erfassungsreichweite

Erklärung zur Abgabe der Dissertation

Hiermit erkläre ich, Martin Gliesche, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel: „Methoden zur Gestaltung von Tags für raue Einsatzumgebungen bei hohen Leistungsanforderungen“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Dortmund, 03.09 2008
