Institut für Landtechnik
der Technischen Universität München
in Weihenstephan

Technische Leistungsfähigkeit und Nutzung von injizierbaren Transpondern in der Rinderhaltung

Christian J. Kern

Vollständiger Abdruck der
von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:	Univ.-Prof. Dr. Dr. H. H. Sambraus
Prüfer der Dissertation:	1. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (AE) J. Schön
	2. Univ.-Prof. Dr. Dr. J. Bauer

Die Dissertation wurde am 01.07.1997 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
am 30.10.1997 angenommen.

© 1998 by Landtechnik Weihenstephan

ISSN 0931-6264

Alle Rechte, auch die der Übersetzung und des Nachdrucks sowie jede Art der photomechanischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten.

Selbstverlag im Eigenvertrieb:
Institut für Landtechnik Weihenstephan
Vöttinger Straße 36
85354 Freising

Zum Abschluß der vorliegenden Arbeit danke ich all jenen, die zum Gelingen der Dissertation beigetragen haben.

Mein Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (AE) J. Schön für die Überlassung des Themas und die Betreuung der Arbeit. Ferner danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. J. Bauer für die Betreuung und Übernahme des Koreferates sowie bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. H.-H. Sambraus für den Prüfungsvorsitz. Einschließen möchte ich hier auch Herrn Dr. H. Pirkelmann für die Überlassung des Themas und ganz besonders für die zahlreichen Anregungen zu meiner Arbeit.

Ganz herzlicher Dank gilt allen Mitarbeitern der Landtechnik Weihenstephan und den studentischen Hilfskräften, die mich bei meinem Vorhaben unterstützt haben. Persönlich möchte ich Herrn Dr. Stanzel von der Abteilung Meßtechnik, Herrn Prof. Dr. R. Bauer, Herrn S. Böck, Herrn G. Fröhlich, Ehepaar Klindtworth und Herrn J. Flammann nennen.

Mein besonderer Dank gilt ferner Herrn Dr. Grevemeyer von der chirurgischen Tierklinik der Ludwig Maximilians Universität München für die Durchführung der Röntgenaufnahmen bei den Versuchstieren und den Mitarbeitern des Lehrstuhles für Tierhygiene für die Durchführung histologischer Arbeiten. Wesentlich zum Gelingen der Untersuchungen haben die Mitarbeiter der Versuchsstation Dürnast sowie Herr Schlappinger durch die Bereitstellung der Tiere beigetragen.

Maßgeblich unterstützt haben mich die Mitarbeiter der Firma Texas Instruments. Ich möchte daher Herrn J. Schürmann, Herrn K. Aslanidis und Herrn M. Panse sowie Herrn J. Bolscher für die wertvollen Anregungen während der Versuchszeit sowie die Bereitstellung von Material und Meßgeräten herzlich danken. Weiterhin haben mir die Firmen Schott Glaswerke GmbH und Gore & Associates GmbH durch die Bereitstellung von Material geholfen. Die Arbeit wurde finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unterstützt.

Mein ganz besonderer Dank gilt schließlich meinen Eltern, die mir die Ausbildung ermöglicht haben sowie meinem Schwager für die Unterstützung während der Promotionszeit.

Weihenstephan, im Juli 1997 Christian Kern

Inhaltsverzeichnis

Seite

Inhaltsverzeichnis I

Abbildungsverzeichnis IV

Tabellenverzeichnis IX

Abkürzungsverzeichnis XI

1. **Einleitung und Hinführung** 1

2. **Stand des Wissens** 4
2.1 Funktionsprinzip und verfügbare Systeme 4

2.2 Gewebeverträglichkeit 11

2.3 Injektionsorte beim Rind 15

3. **Problemanalyse und Zielsetzung** 18
3.1 Problemanalyse 18

3.2 Zielsetzung 24

4. **Technische Laborversuche zur Erkennungssicherheit** 26
4.1 Material und Methodik 26
4.1.1 Transponder, Ausleseelektronik und Antennen 29
4.1.2 Meßaufbau 32
4.1.3 Feldstärkenmessungen 42
4.1.3.1 Grundrauschen am Meßort 42
4.1.3.2 Sendeleistung der Ausleseantennen 43
4.1.3.3 Weißes Rauschen des Störsenders 44

4.2 Ergebnisse der technischen Laborversuche und Diskussion 45
4.2.1 Allgemeines Grundrauschen im Labor 45
4.2.2 Streuung der Lesereichweite 46
4.2.3 Abhängigkeit der Lesereichweite 47
4.2.3.1 Einfluß der Sendeleistung 47

Seite
4.2.3.2 Einfluß der Ladezeit ... 48
4.2.3.3 Einfluß des Störrauschens ... 49
4.2.3.4 Auswirkungen eines zweiten Transponders ... 53
4.2.4 Erkennungsbereiche ... 55
4.2.4.1 Einzelne Antennen ... 55
4.2.4.2 Kombinierte Antennen ... 60
4.2.5 Lesegeschwindigkeit ... 68
4.2.5.1 Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und Orientierung der Transponder ... 68
4.2.5.2 Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Transponder und der Ladezeit ... 71

4.3 Beurteilung der verschiedenen Antennen für ihre Einsatzfähigkeit im Stand und im Durchgang ... 74

5. Versuche zum Verhalten injizierter Transponder im Tierkörper ... 77

5.1 Material und Methoden ... 77
5.1.1 Transponder ... 78
5.1.2 Injektionsverfahren ... 80
5.1.3 Sezierverfahren zur Bestimmung der Transponderlage ... 82
5.1.4 Voruntersuchungen ... 83
5.1.4.1 Injektionsort ... 83
5.1.4.2 Bestimmung der Transponderhaftung im Einstichkanal ... 84
5.1.5 Versuche zur Lageveränderung der Transponder im Tierkörper ... 86
5.1.5.1 Versuchsaufbau ... 86
5.1.5.2 Versuchstiere ... 88
5.1.5.3 Injektionsort in den Tierversuchen ... 89
5.1.5.4 Verfahren zur Bestimmung von Lageveränderungen ... 89
5.1.6 Beobachtung des Gesundheitszustandes ... 92
5.1.7 Histologische Untersuchungen ... 92
5.1.8 Statistische Auswertung ... 94

5.2 Ergebnisse und Diskussion ... 97
5.2.1 Injektionsort und Tieralter ... 97
5.2.2 Haftung der Transponder im Einstichkanal ... 98
5.2.3 Lageveränderungen der Transponder im Tierkörper ... 102
5.2.3.1 Lageveränderungen im Röntgenverfahren ... 102

Seite
5.2.3.2 Lageveränderungen im Sezierverfahren 106
5.2.4 Gesundheitszustand der Versuchstiere 115
5.2.5 Histologische Befunde 116

5.3 Schlußfolgerungen aus den Versuchen zum Verhalten der Transponder im Tierkörper 122

6. Einsatzuntersuchungen 124
6.1 Injektion mit verschiedenen Systemen 124
6.1.1 Merkmale der Injektionssysteme 125
6.1.2 Beurteilung der Systeme 127

6.2 Bestimmung der Erkennungssicherheit 130
6.2.1 Methodik 130
6.2.2 Ergebnisse zur Erkennung im Stand und im Durchgang und Diskussion 133

6.3 Überprüfung der Entnahmesicherheit im Schlachthof 137
6.3.1 Methodik 138
6.3.2 Ergebnisse der Transponderentnahme 140
6.3.3 Diskussion und Schlußfolgerungen 141

7. Einordnung der Ergebnisse 143

8. Zusammenfassung 147

9. Literaturverzeichnis 151

Anhang 156

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1: Einsatzbereiche elektronischer Identifizierungssysteme, dargestellt am Beispiel der Milchviehhaltung (ARTMANN [4]) 2

Abb. 2: Möglichkeiten der Transponderanbringung beim Rind (nach [17]) 3

Abb. 3: Funktion eines elektronischen Identifizierungssystems ([56], [26]) 5

Abb. 4: Oberflächliche Muskeln im Kopf- /Halsbereich beim Rind (nach NICKEL et al. [38]) und Injektionsorte 17

Abb. 5: Anforderungen an die Lesereichweite und -geschwindigkeit von Identifizierungssystemen mit injizierbaren Transpondern beim Rind 18

Abb. 6: Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals 20

Abb. 7: Einflußfaktoren auf die Lagestabilität des Transponders im Tierkörper 23

Abb. 8: Transponderaufbau (TIRIS-System [56]) 29

Abb. 9: Ausleseelektronik (TIRIS-System [56]) 30

Abb. 10: Ladungszustand des Transponders bei Aufnahme des Aktivierungssignals und Abgabe des Erkennungssignals (nach [55]) 31

Abb. 11: Antennenausführungen (TIRIS-System [56], Angaben in mm) 32

Abb. 12: Testanlage zur Bestimmung der Lesereichweite und der Lesegeschwindigkeit von Transpondern 33

Abb. 13: Ermittlung der Lesereichweite bei einzelnen Antennen und der Breite des Erkennungsbereiches bei kombinierten Antennen 35

Abb. 14: Ermittlung des Erkennungsbereiches 37

Abb. 15: Ermittlung des Erkennungsbereiches bei einzelnen Antennen 38

Abb. 16: Ermittlung des Erkennungsbereiches bei kombinierten Antennen 39

Abb. 17: Meßanordnung zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit 40

Abb. 18: Messung des Gundrauschens 43

Abb. 19: Messung der Sendeleistung der Ausleseantennen 44

Abb. 20: Messung der Sendeleistung des Störsenders („white noise generator") ... 45

Seite

Abb. 21 Streuung der Lesereichweite im Laborversuch (123 dBµV/m, Antenne L_1) 46

Abb. 22: Lesereichweite in Abhängigkeit von der Sendeleistung 47

Abb. 23: Lesereichweite in Abhängigkeit von der Ladezeit (Antenne L_2, Sendeleistung 123 dBµV/m) 49

Abb. 24: Lesereichweite verschiedener Antennen in Abhängigkeit vom Störrauschen (Sendeleistung 123 dBµV/m) 50

Abb. 25: Lesereichweite der Antenne L_3 in Abhängigkeit vom Störrauschen bei zwei verschiedenen Sendeleistungen 51

Abb. 26: Auswirkung des Störrauschens auf die Breite des Erkennungsbereiches in 45 cm Entfernung bei kombinierten Antennen (Kombination II, 2 x L_3) und einer Einzelantenne (L_3) 52

Abb. 27: Beeinflussung der Lesereichweite des Testtransponders durch einen zweiten, parallel angeordneten Störtransponder 54

Abb. 28: Beeinflussung der Lesereichweite des Testtransponders durch einen zweiten, axial angeordneten Störtransponder 54

Abb. 29: Erkennungsbereich der Antenne L_1 in 0°, 45° und 90°-Orientierung 56

Abb. 30: Erkennungsbereiche der Antenne L_2 in aufrechter Stellung (hochkant) bei 0° und 90°-Orientierung 57

Abb. 31: Erkennungsbereiche der Antenne L_2 in waagerechter Stellung bei 0° und 90°-Orientierung 57

Abb. 32: Erkennungsbereiche der Antenne L_3 in aufrechter Stellung (hochkant) bei 0° und 90°-Orientierung bei verschiedenen Sendeleistungen 58

Abb. 33: Erkennungsbereiche der Antenne L_3 in waagerechter Stellung bei 0° und 90°-Orientierung (FLAMMANN (17]) 58

Abb. 34: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) mit gleichgerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (123 bzw. 131 dBµV/m, nach [17]) 61

Abb. 35: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) mit entgegengerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (131 dBµV/m) 61

Seite

Abb. 36: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) bei entgegengesetzten Feldern und ungleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (129 und 131 dBµV/m, nach [17]) ... 62

Abb. 37: Verlauf der Feldlinien bei einer Einzelantenne und die Auswirkung auf die Transponderauslesung (nach [55]) ... 63

Abb. 38: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit gleichgerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung (Helmholtz-Spulenanordnung, nach POHL [40]) ... 65

Abb. 39: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung ... 65

Abb. 40: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und ungleicher Sendeleistung ... 66

Abb. 41: Ergänzende Darstellung zum Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und ungleicher Sendeleistung ... 67

Abb. 42: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*0°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; [17]) ... 69

Abb. 43: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*45°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; [17]) ... 70

Abb. 44: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*90°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; [17]) ... 70

Abb. 45: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Einzelantenne L_3*, n = 50; [17]) ... 72

Abb. 46: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Antennenkombination I*, n = 50; [17]) ... 72

Abb. 47: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Antennenkombination II*, n = 50; [17]) ... 73

Abb. 48: Transpondervarianten ... 79

Seite

Abb. 49: Mehrfachinjektionsgerät mit Transpondermagazin (nach [56]) 81

Abb. 50: Ablauf der Injektion (nach JONG, De [25]).....81

Abb. 51: Sezierverfahren zur Bestimmung der Transponderlage.....82

Abb. 52: Transponderinjektion in verschiedenen Richtungen 84

Abb. 53: Varianten bei der Bestimmung der Haftung von Transpondern im Einstichkanal 85

Abb. 54: Zugkraftmessung bei der Entfernung eines Transponders aus dem Einstichkanal 85

Abb. 55: Vorversuch 87

Abb. 56: Varianten im Hauptversuch I 87

Abb. 57: Varianten im Hauptversuch II 88

Abb. 58: Schematische Darstellung von Lageveränderungen beim Kalb in Draufsicht 90

Abb. 59: Entnahme und Aufbereitung der Gewebeproben.....93

Abb. 60: Aufgewendete Zugkraft bei zwei verschiedenen Transpondern.....99

Abb. 61: Auswirkungen von Transponderoberfläche und Desinfektionsmittel auf die Haftung im Einstichkanal (n=5 je Variante) 100

Abb. 62: Lageveränderungen der injizierten Transponder beim Kalb Nr. 5 (Beispiel der Verkleinerung der Schädelumrisse) 103

Abb. 63: Lageveränderungen der injizierten Transponder bei den Kälbern Nr. 1 bis 4 104

Abb. 64: Lageveränderung der injizierten Transponder bei den Kälbern Nr. 5 bis 8 105

Abb. 65: Migration von Transpondern in Abhängigkeit von der Injektatgröße, dem Lebendgewicht bei der Injektion und der Oberflächenrauhigkeit.....108

Abb. 66: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 40 kg LG 109

Seite

Abb. 67: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 60 kg LG 110

Abb. 68: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 80 kg LG 110

Abb. 69: Migration von 32 mm-Transpondern in Abhängigkeit vom Oberflächenmaterial 111

Abb. 70: Bindegewebskapsel um den Transponder mit glatter Glasoberfläche (Vergrößerung 25-fach (links) und 100-fach (rechts); H.-E.-Färbung) 117

Abb. 71: Bindegewebskapsel um den Transponder mit PTFE-Belag (Vergrößerung 100-fach (links) und 400-fach (rechts); H.-E.-Färbung) ... 119

Abb. 72: Bindegewebskapsel um den Transponder mit PTFE-Schlauch (Vergrößerung 100-fach; H.-E.-Färbung) 119

Abb. 73: Verschiedene Ausführungen von Hohlnadeln 126

Abb. 74: Verschiedene Ausführungen von Injektionsgeräten 126

Abb. 75: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Erkennungssicherheit von Bullen im Durchgang 132

Abb. 76: Schema der Anordnung von Auslese- und Meßelektronik zur Bestimmung der Erkennungssicherheit von Bullen im Durchgang 132

Abb. 77: Auslesehäufigkeit der Transponder in Abhängigkeit von der Entfernung zur Antenne und Injektionsrichtung 133

Abb. 78: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Mastbullen (ca. 400 kg LG) mit kombinierten Antennen 136

Abb. 79: Ausgewählte Problempunkte und Maßnahmen zur Verbesserung bei der Anwendung injizierbarer Transponder 144

Abb. A1: Feldstärke externer Signale im Labor ohne und mit Zuschaltung der Testanlage, sowie Störsignal (white noise) 158

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Kennwerte verfügbarer Identifizierungssysteme mit injizierbaren Transpondern (Herstellerangaben, Stand 1994) 10

Tab. 2: Einteilung der Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals 20

Tab. 3: Durchgeführte Untersuchungen mit verschiedenen Antennenvarianten 28

Tab. 4: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 1 36

Tab. 5: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 2 39

Tab. 6: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 3 41

Tab. 7: Einordnung der verschiedenen Ausleseantennen 74

Tab. 8: Gewählte Verfahren zur Bestimmung von Lageveränderungen 90

Tab. 9: Ausgewählte Gewebeproben zur histologischen Untersuchung 92

Tab. 10: Einstufung des Anteils an Leukozyten um den Transponder 94

Tab. 11: Schwierigkeitsgrad der Injektion von 32 mm-Transpondern am Scutulum in Abhängigkeit vom Lebendgewicht des Kalbes und der Injektionsrichtung 98

Tab. 12: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Vorversuch 107

Tab. 13: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Hauptversuch I 107

Tab. 14: Signifikanz der Einflußfaktoren (Hauptversuch I) 109

Tab. 15: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Hauptversuch II 111

Tab. 16: Statistischer Vergleich der Mittelwerte im Hauptversuch II 112

Tab. 17: Kapselbildung bei Transpondern mit rauhem und glattem Glas 117

Tab. 18: Kapselbildung bei PTFE-Transpondern 118

Tab. 19: Merkmale der Injektionsgeräte 127

Tab. 20: Beurteilung der Injektionsgeräte verschiedener Hersteller (Stand 1994, Injektionsort Scutulum) 129

Seite

Tab. 21: Erkennung von Mastbullen im Durchgang mit Einzelantenne (L_3, Sendeleistung 127 dBµV/m) 135

Tab. 22: Einflußfaktoren für die Transponderentnahme 138

Tab. 23: Ergebnisse der Versuche zur Transponderentnahme im Schlachthof 140

Tab. A1: Kennwerte der Transponder (nach [56]) 156

Tab. A2: Kennwerte der Ausleseelektronik ([56]) 156

Tab. A3: Kennwerte der Ausleseantennen ([55], [56]) 156

Tab. A4: Einstellungen des Feldstärkenmeßgerätes 157

Tab. A5: Standardeinstellungen der Ausleseeinheiten (SDK, Master/Slave und Antennen) und wiederholte Einstellungen vor jedem Meßdurchgang 157

Tab. A6: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (0°-Orientierung; [17]) ... 159

Tab. A7: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (45°-Orientierung;[17]) .. 159

Tab. A8: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (90°-Orientierung, [17]) . 159

Tab. A9: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Einzelantenne L3; [17]) 160

Tab. A10: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Antennenkombination I; [17]) 160

Tab. A11: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Antennenkombination II; [17]) 160

Tab. A12: Einzelergebnisse im Vorversuch 161

Tab. A13: Einzelergebnisse im Hauptversuch I 161

Tab. A14: Einzelergebnisse im Hauptversuch II 162

Tab. A15: Verfahren der Gewebepräparation 163

Abkürzungsverzeichnis

AM	Amplitudenmodulation
BSE	Bovine Spongiforme Enzephalopathie
°C	Grad Celsius
dBµA/m	magnetische Feldstärke H
dBµV/m	elektrische Feldstärke E
DIS	Draft International Standard
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
F_1	Ferritantenne
FDX	Full Duplex
FM	Frequenzmodulation
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt
g	Gramm
HDX	Half Duplex
IC	Integrated Circuit, integrierte Schaltung
ISO	International Standard Organisation
kg	Kilogramm
L_x	Luftspulenantenne (x: verschiedene Größen)
LG	Lebendgewicht
Max.	Maximalwert
Min.	Minimalwert
min	Minute
ms	Millisekunde
Mod.	Modalwert
µH	Mikro-Henry
N	Newton
P	empirische Irrtumswahrscheinlichkeit
PM (PCM)	Pulscodemodulation
r^2	Bestimmtheitsmaß
R_{ax}	axiale Injektionsrichtung
R_{lat}	laterale Injektionsrichtung
R_{ok}	okzipitale Injektionsrichtung
RF	Radio-Frequenz
RFID-Systeme	Identifizierungssysteme auf Grundlage der Radiofrequenz
s	Sekunde
S	Standardabweichung
v	Geschwindigkeit
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert

1. Einleitung und Hinführung

Die Verfahren der Rinderhaltung waren bisher durch die Einzeltierhaltung gekennzeichnet. Nur diese Haltungsform ermöglichte eine intensive Tierbetreuung und eine leistungsäquivalente, individuelle Fütterung. Sie erfüllte jedoch nicht in ausreichendem Maße Forderungen nach einer artgerechten Haltung und Verbesserungen der Arbeitswirtschaft. So wurde beispielsweise in Anbindeställen für Milchkühe die Bewegungsfreiheit der Tiere zu wenig berücksichtigt und es bestanden eine starke Arbeitsbelastung und ein hoher Arbeitszeitbedarf (SCHÖN [49]).

In der Herde dagegen können sich die Tiere frei bewegen und, ihren individuellen Bedürfnissen entsprechend, z. B. bestimmte Mikroklimazonen aufsuchen. In modernen Laufställen für Milchkühe wurde darüber hinaus durch die räumliche Trennung der Funktionsbereiche Füttern, Melken, Liegen und Entmisten in einzelne Einheiten eine optimale Gestaltung nach ethologischen und arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich (Beispiel Melkstand). Den Anforderungen der Tiere wird zunehmend auch in administrativen Vorgaben Rechnung getragen (Kälberhaltungsverordnung [27]).

Auch bei der Herdenhaltung sind die Kontrolle der Leistungen des Einzeltieres und die individuelle Betreuung wesentliche Voraussetzungen für eine ökonomische Tierhaltung. Um dem Tier Daten zuordnen zu können, wurden als Bindeglied zwischen Datenbank und Tier elektronische Identifizierungssysteme entwickelt. Diese Systeme gehören in modernen Milchviehbetrieben bereits zum Stand der Technik. Beispiele für ihren Einsatz sind die Steuerung von Kraftfutterabrufstationen bzw. Kälbertränkeautomaten, die automatisierte Erfassung des Lebendgewichtes[1], der Milchmenge und die Steuerung von Selektionstoren (Abb. 1). Als weitere Möglichkeit ergibt sich die Erfassung physiologischer Daten (Temperatur, Aktivität, Leitfähigkeit der Milch) zur Bestimmung des Reproduktions- oder Gesundheitsstatus. Bewährt haben sich hierbei Identifizierungssysteme, die auf der Basis von elektromagnetischen Wellen arbeiten und eine berührungslose Erkennung des Tieres erlauben. Ein Transponder, den das Tier mit sich trägt, sendet ein codiertes Signal als Kennung zu einem Auslesegerät, das die Daten schließlich an einen Computer weiterleitet.

---

[1] Im folgenden wird „Lebendgewicht", bzw. „Gewicht" anstelle der Bezeichnung „Lebendmasse" verwendet

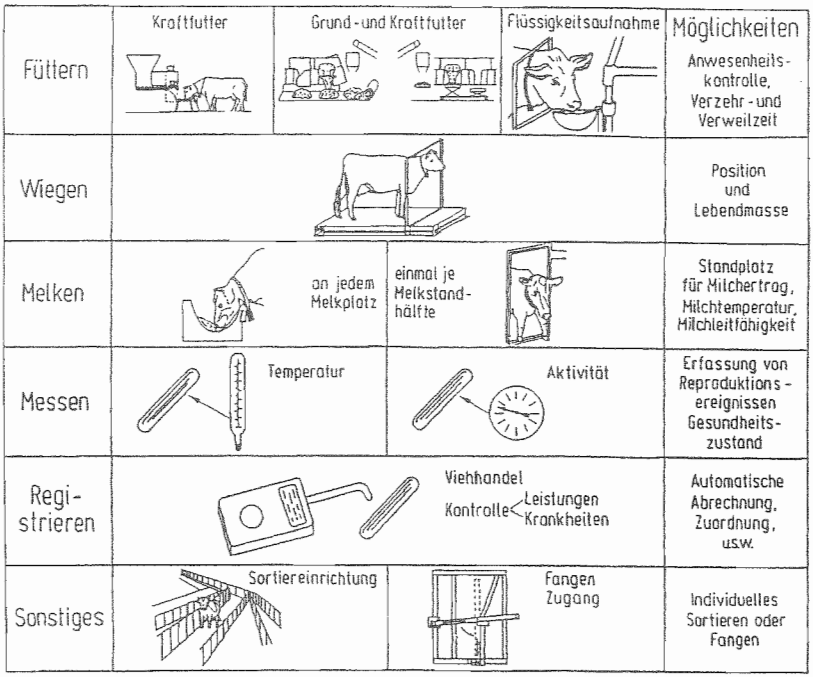


Abb. 1: Einsatzbereiche elektronischer Identifizierungssysteme, dargestellt am Beispiel der Milchviehhaltung (ARTMANN [4])

Die bisherigen, seit ca. 20 Jahren verfügbaren Transponder werden an Halsbändern oder Ohrmarken am Tier angebracht (Abb. 2). Sie besitzen in der üblichen Verwendung für die Produktionstechnik im Einzelbetrieb eine hohe Funktionssicherheit. Sie sind jedoch nicht für die außerbetriebliche Kennzeichnung geeignet, da bei dieser Befestigung am Tier der Verlust des Transponders möglich ist. Darüber hinaus kann der Transponder von einem Tier auf ein anderes übertragen werden, so daß keine individuelle Lebensnummer gegeben ist. Gerade dieser Aspekt hat durch die Seuchenproblematik (BSE, Schweinepest usw.; LÜTJENS [34]) und die damit verbundene Forderung nach einem sicheren Herkunftsnachweis in jüngster Zeit an Bedeutung gewonnen.

Neue Ansätze zur Lösung der Probleme ergeben sich durch die Verwendung von injizierbaren Transpondern. Da sie mit dem Tierkörper direkt „verbunden" sind, kann

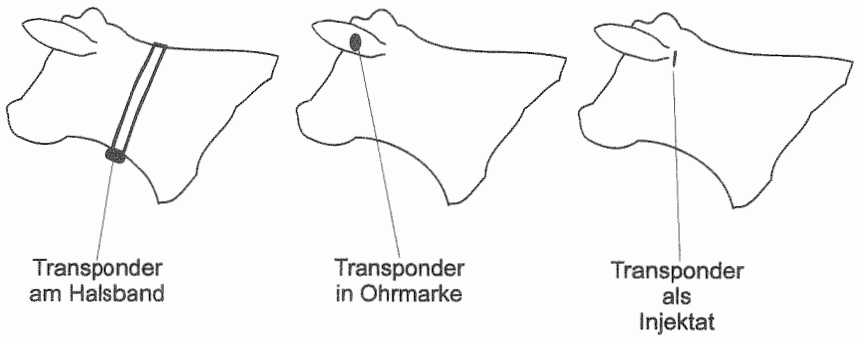


Abb. 2: Möglichkeiten der Transponderanbringung beim Rind (nach FLAMMANN [17])

ein Verlust weitgehend ausgeschlossen werden. Da sie außerdem mit einer unveränderbaren und einmaligen Zahlenfolge programmiert sind, bieten sie eine fälschungssichere Kennzeichung des Tieres mit einer Lebensnummer, wie sie unter anderem in der Viehverkehrsverordnung zur Seuchenbekämpfung seit 1987 gesetzlich vorgeschrieben ist. Es sei darauf verwiesen, daß der Einsatz von injizierbaren Transpondern vom beratenden Veterinärausschuß bei der Europäischen Union bereits 1988 vorgeschlagen wurde [37].

Die Hauptzielrichtung der ersten wissenschaftlichen Untersuchungen zum Einsatz injizierbarer Transponder lag in der „fälschungssicheren Kennzeichnung". Allerdings standen dabei weniger die landwirtschaftlichen Nutztiere, sondern die Heim- und Zootiere im Vordergrund. In diesen Versuchen galt es vor allem festzustellen, ob eine gute Gewebeverträglichkeit gegeben ist. Erst später wurden die beiden Nutzungsziele vereint, d. h. daß injizierbare Transponder die Aufgabe der Halsbandtransponder in der Produktionstechnik mit übernahmen. Hierfür mußten sie jedoch auch die gleiche Sicherheit der Erkennung gewährleisten, was wiederum eine ausreichende Lesereichweite bedingte. Jüngste Entwicklungen der injizierbaren Transponder bieten eine vergleichbare Lesereichweite, wobei allerdings in der Literatur erst wenige Ergebnisse zur Einsatzfähigkeit der Systeme vorliegen. Insbesondere sind die Kenntnisse über die technische Leistung der Systeme (Lesereichweite, Lesegeschwindigkeit) und die Vorgänge, die sich mit dem Transponder im Tier abspielen, noch nicht ausreichend.

2. Stand des Wissens

Um die verschiedenen Identifizierungssysteme hinsichtlich ihrer technischen Leistung, der Tierverträglichkeit (Gewebeverträglichkeit) und ihren Einsatzmöglichkeiten einordnen zu können, sollen im folgenden zunächst der Systemaufbau, das allgemeine Funktionsprinzip und heute verfügbare Systeme beschrieben werden. Anschließend werden die bisherigen Erkenntnisse aus Untersuchungen zur Tierverträglichkeit zusammengestellt. Im darauffolgenden Abschnitt werden die bisher vorgeschlagenen Injektionsorte diskutiert und hinsichtlich der technischen und biologischen Anforderungen beurteilt. Sie bilden die Grundlage für die weitere Problemanalyse und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

2.1 Funktionsprinzip und verfügbare Systeme

Allgemeines Funktionsprinzip und Systemaufbau

Elektronische Identifizierungssysteme ermöglichen eine berührungslose Übertragung der Kennung mittels elektromagnetischer Signale (RFID-Systeme, STREET [54], SIGRIMIS et al. [50], ARTMANN [4]). Zur Erzeugung und Übermittlung dieser Signale sind zwei Einheiten erforderlich, der Transponder und die Ausleseeinheit (Abb. 3). Beide unterteilen sich wiederum in eine Elektronik- und eine Antennenkomponente (Transponderelektronik / Transponderantenne; Ausleseelektronik / Ausleseantenne).

Die Aufgabe der *Ausleseelektronik* besteht in der Erzeugung eines Aktivierungssignals und dessen Weiterleitung an die Ausleseantenne. Ihre zweite Aufgabe liegt in der Aufnahme des codierten Erkennungssignals von der Ausleseantenne sowie dessen Aufbereitung und Umwandlung in eine Nummer. Als dritte Aufgabe kommt ihr die Datenübergabe an einen übergeordneten Computer zu. Die Ausleseelektronik setzt sich aus einem Radio-Frequenz-Modul, einem Mikrocontroller und einem Netzteil zusammen (letzteres kann bei Handlesegeräten durch Batterien ersetzt werden).

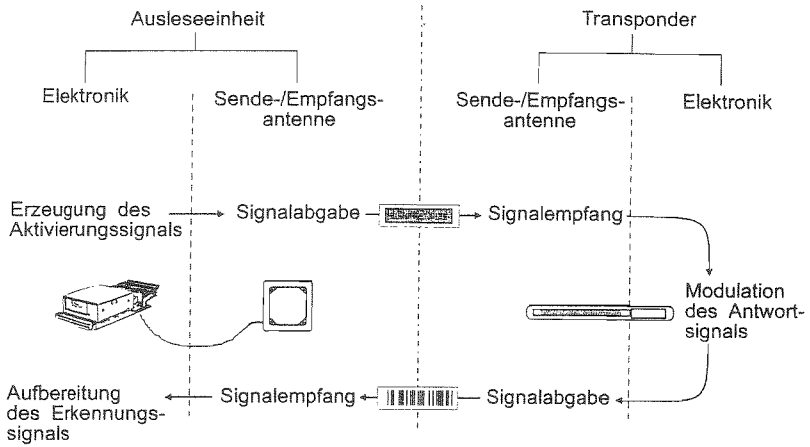


Abb. 3: Funktion eines elektronischen Identifizierungssystems (Beispiel TIRIS-System [56], [26])

An der *Ausleseantenne* findet die Übertragung zweier Signale, das Senden des Aktivierungs- und das Empfangen des Erkennungssignals, statt. Theoretisch kann für jeden Vorgang eine einzelne Antennen verwendet werden; im allgemeinen werden sie jedoch zusammengefaßt und übernehmen beide Aufgaben, weshalb auch von Sende- / Empfangsantennen gesprochen wird. Die Ausleseantennen werden in Ferritstab- oder Luftspulenantennen unterschieden.

Die *Transponderelektronik* wandelt das Aktivierungssignal in ein eigenes Erkennungssignal mit einem fest programmierten Code um und gibt es zurück an die Transponderantenne. Die Elektronik des Transponders besteht hauptsächlich aus einer integrierten Schaltung (IC). Weitere Komponenten, wie ein zusätzlicher Kondensator oder eine Batterie werden anschließend behandelt, sie kennzeichnen spezielle Systemunterschiede.

Die *Transponderantenne* übernimmt den Empfang des Aktivierungssignals und das Senden des Erkennungssignals. Auch hier sind im allgemeinen beide Aufgaben zusammengefaßt. Die Transponderantenne kann, analog zur Ausleseantenne, entweder als Luftspule (z. B. bei Ohrmarken) oder als Ferritstab (bei Injektaten) ausgelegt sein.

Die Ausleseeinheit kann als mobiles Handlesegerät ausgeführt sein; in diesem Fall werden die Ausleseelektronik und die Ausleseantenne in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Bei der stationären Anbringung hingegen kann die Ausleseantenne in einem gewissen Abstand zur Ausleseelektronik befestigt werden, sie sind dann von getrennten Gehäusen umschlossen.

Transponderelektronik und -antenne sind zweckmäßigerweise in einem gemeinsamen Gehäuse aus Kunststoff oder Glas eingekapselt. Für Ohrmarken- und Halsbandtransponder wird meist Kunststoff, für Injektate eine Umhüllung aus Glas verwendet.

Systemunterschiede

Energieversorgung

Um ein Erkennungssignal zu erzeugen, muß der Transponder mit Energie versorgt werden. Hierfür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: er kann sie entweder über eine eigene Batterie oder per Induktion über die Ausleseeinheit beziehen. Im ersten Fall handelt es sich um aktive, im zweiten Fall um passive Systeme.

Bei aktiven Systemen wird mit einer Lebensdauer der Batterie von etwa 1,5 bis 2 Jahren gerechnet (SPAHR et al. [51]; EICHINGER et al. [15]), die wiederum von der Aktivierungshäufigkeit, der Bauart und der Lagerdauer abhängt. Die Energiereserven der Batterie wären bald aufgebraucht, wenn fortlaufend Erkennungssignale abgegeben würden. Daher muß diese Signalabgabe zeitlich begrenzt sein. Der Transponder wird erst dann eingeschaltet, wenn er in die Nähe einer Ausleseeinheit gelangt und ein Aktivierungssignal empfängt. Nach einer bestimmten Zeitspanne muß er sich wieder selbst „ausschalten".

Bei passiven Systemen besteht die eigentliche Aufgabe des Aktivierungssignals nicht im „Anschalten", sondern in der Energieübermittlung. Solange sich der Transponder in der Nähe der Ausleseantenne befindet, nimmt er durch das Aktivierungssignal ständig Energie auf und gibt Antwortsignale ab. Aktivierung und Energieübermittlung fallen daher zusammen. Ein „Ausschalten" wie beim aktiven Transponder ist nicht erforderlich, da der passive Transponder bei zunehmender Entfernung zur

Ausleseantenne nicht mehr ausreichend Energie aufnimmt und folglich kein Signal mehr erzeugen kann (SIGRIMIS et al. [50], STREET [54]).

Der Vorteil aktiver gegenüber passiven Systemen liegt in einer größeren Lesereichweite (aktiv: über 150 cm, passiv: bis ca. 50 cm, DELIGEERSANG et al. [11]). Ihr Hauptnachteil besteht in einer begrenzten Lebensdauer der Batterie. Da ein Austausch der Batterie bei einem bereits injizierten Transponder nicht mehr möglich ist, sind aktive Systeme als Injektate für eine dauerhafte Kennzeichnung langlebiger Tiere nicht geeignet. Die Transponder passiver Systeme besitzen dagegen eine theoretisch unbegrenzte Lebensdauer und sind deshalb auch als Injektate für eine dauerhafte Kennzeichnung der Tiere einsetzbar. Aktive Systeme werden in der Regel nur für Halsbänder oder Ohrmarken verwendet, als Injektate kommen sie bisher nur im experimentellen Bereich zum Einsatz (EICHINGER et al. [15]; [11]). Ein wesentlicher Nachteil der aktiven gegenüber den passiven Systemen sind schließlich die höheren Kosten, die aus der größeren Anzahl an Bauteilen resultieren.

Antennenbauweise

Für Halsband- und Ohrmarkentransponder können sowohl Ferritstab- als auch Luftspulenantennen verwendet werden. Für Injektate sind dagegen - aufgrund des geringen Durchmessers der Glasumhüllung - ausschließlich Ferritstabantennen geeignet.

Da in beiden Richtungen, von der Ausleseeinheit zum Transponder und wieder zurück, Signale übertragen werden, könnten auch beide Seiten über eine getrennte Sende- und Empfangsantenne verfügen, die jeweils für eine Aufgabe optimiert sind. Um jedoch eine geringe Größe der Transponder, eine Reduktion der Anzahl an Bauteilen und damit auch eine Verringerung der Kosten zu erlangen, wurden die Sende- und Empfangsantennen beim Transponder und meistens auch bei der Ausleseeinheit, kombiniert. Eine Ausnahme bildet das von SPAHR et al. [51] verwendete aktive System mit Ohrmarken, das eine zweite Frequenz für das Erkennungssignal nutzt und getrennte Sende- und Empfangsantennen bei der Ausleseeinheit besitzt.

Übertragungsverfahren

Bei der Signalübertragung werden zwei Verfahren, ein HDX- (Half Duplex) und ein FDX-Verfahren (Full Duplex) unterschieden. Beim HDX-Verfahren sind Aktivierungs- und Erkennungssignal zeitlich getrennt, d. h. das Aktivierungssignal ist bereits beendet, bevor das Erkennungssignal zurückgesendet wird. Beim FDX-Verfahren hingegen läuft das Aktivierungssignal auch während der Rücksendung des Erkennungssignals weiter. Für Systeme mit dem HDX-Verfahren ergibt sich eine etwas höhere Lesereichweite, gleichzeitig aber auch die Notwendigkeit, die für die Zeitspanne der Erkennungssignalabgabe erforderliche Energie in einem zusätzlichen Kondensator im Transponder zu speichern. Aufgrund des Raumbedarfes für dieses Bauteil können derzeit die Abmessungen für Injektate mit dem HDX-Verfahren nicht unter 19 mm Länge liegen. Transponder, bei denen auf den Kondensator verzichtet wird, können dagegen bis auf ca. 10 mm Länge verkleinert werden.

Übertragungsfrequenzen

Die Übertragungsfrequenzen der Signale liegen je nach System im kHz- oder auch im MHz-Bereich. Je höher die Frequenz ist, desto geringer kann die erforderliche Sendeleistung für das Aktivierungs- und Erkennungssignal sein, bzw. um so kleiner können auch die Antennen der Transponder gestaltet werden. Daher wären hohe Frequenzen für injizierbare Transponder prinzipiell gut geeignet. Der Grund, weshalb sie aber nicht verwendet werden können, liegt im Auftreten eines sogenannten „skin-Effektes" im höheren MHz-Bereich. Die elektromagnetischen Wellen werden mit zunehmender Frequenzhöhe aufgrund ihrer Lichtcharakteristik mehr und mehr an Oberflächen reflektiert (DICKERSON et al. [13]). Somit kommt dieser Frequenzbereich für Injektate nicht in Betracht, da hierbei die Haut bzw. das Körpergewebe nicht ohne „Energieverlust" durchdrungen werden können (FRYER [18]). Aus diesem Grund sind die höheren Frequenzbereiche Systemen mit Ohrmarken oder Halsbändern vorbehalten. Eine weitere Einschränkung des Frequenzbereiches ergibt sich durch administrative Vorgaben. Um Störungen anderer Empfangsanlagen zu vermeiden, werden bestimmte Frequenzbereiche und die Sendeleistung vorgegeben [12].

Die von ARTMANN [3] ursprünglich getroffene Unterteilung der RFID-Systeme Transponder- und Responder-Systeme ist heute nur noch eingeschränkt gültig. Das Unterscheidungskriterium waren die Frequenzen für das Aktivierungs- und Erkennungssignal: Der Responder gibt das Erkennungssignal auf der gleichen Frequenz wie das Aktivierungssignal zurück, der Transponder hingegen erzeugt dafür eine

zweite, unterschiedliche Frequenz. Bei Systemen, die eine Frequenzmodulation verwenden, ist diese Unterscheidung jedoch nicht möglich, da mindestens zwei Frequenzen für das Erkennungssignal genutzt werden und eine der beiden auf der Aktivierungsfrequenz, die andere daneben liegen kann. Eine klare Differenzierung anhand der bisherigen Kriterien ist daher nicht mehr möglich, weshalb im folgenden auf die Unterscheidung in Trans- und Responder verzichtet wird.

Modulation

Als Modulationsverfahren für die Übertragung des Erkennungssignals kommen grundsätzlich drei Möglichkeiten in Betracht, die Amplituden- (AM), die Frequenz- (FM) und die Phasen- oder Pulscodemodulation (PM bzw. PCM). Auf die Arbeitsweise dieser Verfahren soll nicht im einzelnen eingegangen werden (siehe hierzu allgemeine Literatur zur Nachrichtentechnik oder AMLANER [1]). Die RFID-Systeme lassen sich nach der Art der Modulation zwar klar unterscheiden und weisen danach Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Störsignalen, dem Aufwand für Bauteile, der möglichen Lesegeschwindigkeit und der Lesereichweite auf. Die Modulation kann jedoch nicht allein zur Beurteilung der Systeme herangezogen werden, da vielfältige Wechselbeziehungen mit weiteren Parametern wie z. B. dem Übertragungsverfahren, der Codierung, der Übertragungssicherung (Kontrolle der Codierung) usw. bestehen.

Kennwerte verfügbarer Systeme

Der einleitend beschriebene Einsatz injizierbarer Transponder in den beiden Bereichen inner- und außerbetriebliche Kennzeichnung stellt bestimmte Mindestanforderungen an die technische Leistung der Systeme, insbesondere im Hinblick auf die Lesereichweite und Lesegeschwindigkeit[2]. Systeme mit einer geringen Lesereichweite (ca. 10 bis 15 cm) sind nur zur elektronischen Kennzeichnung mit einer Auslesung über Handgeräte geeignet. Dagegen können Transponder mit einer größeren Lesereichweite auch in der Prozeßsteuerung, zum Beispiel in Verbindung mit Kraftfutterabrufautomaten oder im Melkstand verwendet werden (ARTMANN [4]). Die Lesereichweite ist unter anderem von der Größe der Ferritantenne im Transponder abhängig. Demnach besitzen größere Transponder meist auch eine größere Reichweite (Tab. 1; nach PIRKELMANN et al. [42], [43]).

---

[2] Lesegeschwindigkeit: Geschwindigkeit eines Transponders, der an einer Ausleseantenne vorbeigeführt und dabei ausgelesen wird

Neben der Größe der Transponderantenne ist auch die Ausrichtung der elektromagnetischen Feldlinien um die Ausleseantennen für die Lesereichweite maßgeblich. Der Transponder kann nur dann genügend Energie aufnehmen und ein ausreichend starkes Signal zurücksenden, wenn die Wicklungen der Auslese- und der Transponderantenne die gleiche Richtung aufweisen. Folglich kann eine maximale Lesereichweite nur bei einer bestimmten Orientierung des Transponders zur Ausleseantenne erreicht werden.

Tab. 1: Kennwerte verfügbarer Identifizierungssysteme mit injizierbaren Transpondern (Herstellerangaben, Stand 1994)

Hersteller	**Frequenz** (kHz)	**Modulation**	**Übertragung**	**Programmierung**	**Transpondergröße** (Länge x Durchmesser, mm)	**maximale Reichweite** (cm, optimale Orientierung)
NEDAP	120 *	AM	FDX	fest	10 x 2,2 19 x 2,8 28 x 3,6	12 30 50
TEXAS INSTRUMENTS	134,2	FM	HDX	fest/ variabel	19 x 2,8 23 x 3,75 32 x 3,75	32 41 50
DESTRON/ IDI	125 / 400	AM	FDX	fest	12 x 2,2 17,8 x 3,0 29 x 3,5	12 26 35
AGRI VISION**	134,2	FM	HDX	fest (mit Temp.-messung)	32 x 3,75	35
EURO-ID/ TROVAN/	128 *	AM	FDX	fest	12,9 x 2,2	16
AVID	*	AM	FDX	fest	ca. 10 x 2,2	10
DATA-MARS	125 *	AM	FDX	fest	ca. 10 x 2,2	8

*134,2 kHz bei ISO-Standard; ** nicht mehr vertrieben; AM: Amplitudenmodulation, FM: Frequenzmodulation; FDX: Full-Duplex-Verfahren, HDX: Half-Duplex-Verfahren

Für die Dauer der Signalübertragung dieser Systeme werden etwa 100 ms angegeben. Dieser Zeitspanne entspricht (nach Herstellerangaben) einer Geschwindigkeit von ca. 3 m/s, mit der ein Tier eine stationäre Antenne passieren und dabei noch erkannt werden kann.

Derzeit bietet nur ein Hersteller (Texas Instruments) die Möglichkeit, zusätzlich zur festen Programmierung auch Zusatzinformationen mit aufzunehmen, d. h. einen Teil der Transpondernummer frei programmieren zu können. Ein anderer Hersteller (Agri

Vision) bot mit seinem System die Möglichkeit einer gleichzeitigen Erfassung der Körpertemperatur (das System wird derzeit nicht mehr kommerziell vertrieben).

Die Angaben zu den Reichweiten der verschiedenen Systeme in Tab. 1 beziehen sich stets auf die günstigste Orientierung des Transponders zur Ausleseantenne. Zur Auswirkung unterschiedlicher Orientierungen (ARTMANN [4]) auf die Lesereichweite liegen keine Daten vor. Drei Firmen bieten größere Transponder mit Reichweiten zwischen 35 und 50 cm an, wobei jedoch keine Angaben zur Sendeleistung (Angabe A/m oder V/m in gegebenem Abstand vor der Ausleseantenne) gemacht werden. Aufgrund der unsicheren Vergleichsgrundlage sind diese Werte nur als Anhaltsgrößen zu sehen.

2.2 Gewebeverträglichkeit

Die Injektion[3] eines Transponders in den Tierkörper führt zu einer Gewebeverletzung. Der nachfolgende Heilungsprozeß kann entweder ungestört ablaufen oder gestört sein. Im letzteren Fall könnte z.B. im Beisein von Krankheitserregern eine akute Entzündung entstehen, sowie eine chronische Entzündung und Fremdkörperreaktion erfolgen. Während der Transponder bei einer ungestörten Wundheilung als „gewebeverträglich" eingestuft wird, ist er bei einem gestörten Heilungsverlauf als „gewebeunverträglich" zu bezeichnen (LAMBOOIJ [30]).

An zweiter Stelle müssen Vorgänge betrachtet werden, die in Verbindung mit einer Lageveränderung des Transponders im Tierkörper stehen und eine Gewebeunverträglichkeit des Transponders zur Folge haben können.

- Der Transponder könnte durch den Einstichkanal wieder austreten. Als problematisch wäre dabei das Eindringen von Keimen in die Wunde zu sehen. Dies könnte zu Folgeentzündungen führen, obwohl der Fremdkörper nicht mehr vorhanden ist.

---

[3] Derzeit werden im Zusammenhang mit Transpondern zwei Begriffe, die Implantation und die Injektion, verwendet. Die Injektion des Transponders kann hier als eine technisch vereinfachte Form der Implantation verstanden werden. Während die Implantation einen *chirurgischen Eingriff* darstellt, der nur vom Tierarzt durchgeführt werden darf, kann die Injektion auch vom Landwirt durchgeführt werden. Dabei wird mit einer Hohlnadel nur eine *punktförmige Öffnung* der Haut geschaffen. Da die Injektion den Vorgang des „Einbringens" des Transponders in den Tierkörper am besten beschreibt, wird dieser Begriff im folgenden beibehalten.

- Der Transponder könnte erst später, nach dem Verheilen der Einstichwunde, infolge einer Migration die Funktion von Organen, Gelenken beeinträchtigen bzw. zu Entzündungsreaktionen führen.

Im folgenden sollen die Literaturergebnisse zu den beiden Bereichen „Gewebeverträglichkeit" und „Lageveränderung" der Transponder zusammengestellt werden.

Der normale Verlauf der Wundheilung und die *Gewebeverträglichkeit* von injizierten Transpondern mit einer Glas- oder Kunststoffumhüllung (Polypropylen) wird in der Literatur für verschiedene Injektionsorte und mehrere Tierarten bestätigt (DORN [14], GABEL et al. [19], LAMBOOIJ [30], [31], [32], BEHLERT [5], ARNDT et al. [2]). In allen Untersuchungen wird die Bildung einer bindegewebigen Kapsel um den Transponder festgestellt. Diese Reaktion ist für den Verlauf der Heilung als „normal" anzusehen, da nur geringgradige Entzündungen im unmittelbaren Bereich des Injektates auftreten und diese im Verlauf von ca. 3 Wochen abklingen (LAMBOOIJ [30]).

Beispielhaft belegt wird dies durch Untersuchungen von GABEL et al. [19]. Sie injizierten 10 mm lange Transponder mit einer Glasumhüllung bei 69 Pferden intramuskulär seitlich am Hals (ca. 20 cm unterhalb des Mähnenkammes) und stellten fest, daß bei dieser Tierart keinerlei akute Entzündungen auftraten. Weitere Versuche von DORN [14] bestätigten die gute Gewebeverträglichkeit für diese Tierart. Untersuchungen von BEHLERT [5] zeigen, daß ähnliche Gewebereaktionen wie bei den Pferden auch bei verschiedenen Zootieren und an unterschiedlichen Injektionsstellen zu verzeichnen waren. Bei einigen Tieren trat lediglich eine leichte Schwellung nach der Injektion auf, wie sie auch durch die Injektion von Medikamenten hervorgerufen werden kann.

Lageveränderungen können durch die Bestimmung einer Abstandsänderung zwischen dem Transponder und ausgewählten Referenzpunkten im Tierkörper dargestellt werden. Ändert sich der Abstand des Transponders zu einem nahegelegenen oder zu zwei weiter entfernten Referenzpunkten, so kann von einer Lageveränderung im Sinne einer Migration gesprochen werden. GABEL et al. [20] verwendeten zur Markierung der Referenzpunkte zwei Drahtschlaufen, zu denen die Lage des Transponders im Röntgenbild vermessen wurde. Andere Autoren (BEHLERT [5], LAMBOOIJ [31]) sezierten den Tierkörper post mortem und schätzten die Lageveränderung des Injektates in Relation zu umliegenden Referenzpunkten.

Ein Vergleich der wenigen Ergebnisse zu Migrationen ist nur eingeschränkt möglich, da die Methoden zur Lagebestimmung, die Tierarten und Injektionsorte, ferner die Injektionstechnik und die Verweildauer des Injektates im Körper variieren. Trotzdem sollen sie im folgenden kurz dargestellt werden, um ihre Streubreite und die Problematik der Bestimmung aufzuzeigen.

GABEL et al. [20] injizierten je einen Transponder bei 5 Fohlen in den Halsbereich. Sie konnten trotz der relativ genauen Röntgenmethode nach einer Verweildauer von 90 Tagen keine Lageveränderungen nachweisen. Auch BEHLERT [5] fand durch Sezieren bei verschiedenen Zootieren keine Anzeichen einer Migration.

Im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse von LAMBOOIJ [30], [31] bei Schweinen. Er injizierte in einem Versuch bei 11 Ferkeln im Alter von 3 bis 5 Wochen 29 mm große Transponder aus Kunststoff in den Ohrgrund. Nach der Schlachtung der ausgewachsenen Tiere stellte er fest, daß von den 11 Transpondern nur 3 am ursprünglichen Injektonsort verblieben waren. 4 Transponder wurden am Unterkiefer, die restlichen in der Nähe der Wirbelsäule wiedergefunden. In Versuchen zu weiteren Injektionsorten ([31] u.a. unteres Hinterbein, Zwischenraum der Unterkieferäste, Bereich des Hinterhauptbeines) traten Migrationen in sehr unterschiedlichem Maße auf. Einige Transponder verblieben am Injektionsort, andere migrierten, ohne weitere Beeinträchtigungen hervorzurufen (z.B. Injektion im unteren, Wiederauffindung im oberen Hinterbein), wieder andere riefen Störungen der Bewegungsfunktion hervor (Injektionsort unteres Hinterbein).

Die Untersuchungen von NIGGEMEIER [39] bei insgesamt 15.000 Schweinen bestätigen die oben aufgeführten Ergebnisse in soweit, als eine sehr unterschiedliche Wiederauffindungsrate der Transponder bei ihrer Entnahme aus dem Schlachtkörper festgestellt wurde (zwischen 79 und 93 %, Injektionsort Ohrgrund). Zu den Stellen, an denen die Transponder wiedergefunden wurden, werden im Einzelnen keine Angaben gemacht. Die großen Streuungen in der Wiederauffindungsrate werden zwar eher auf ein „Mitwachsen", d. h. auf eine Änderung der anatomischen Platzverhältnisse im Verlauf des Tierwachstums zurückgeführt, als auf eine Migration; aus den Beobachtungen ist jedoch zu folgern, daß Migrationen zumindest nicht auszuschließen sind.

Im Zusammenhang mit der Lageveränderung im Tierkörper wird auch von einem vollständigen *Verlust des Transponders* berichtet. NIGGEMEYER [39] stellte fest, daß die Transponder im Einstichkanal zurückgleiten und dann aus der Einstichöffnung wieder austreten können. Zu Beginn der Testreihen traten Verluste bis zu 10 % auf, gegen Ende der Untersuchungen verringerte sich diese Quote auf unter 1 % (das Zurückgleiten im Einstichkanal wird im folgenden auch als „Verschiebung" bezeichnet).

Vergleichbare Resultate wurden auch in einer Untersuchung von LÜTJENS [34] ermittelt. Bei 459 Mastschweinen wurden 18 mm lange Transponder (Glas) an der Ohrbasis injiziert, die Mastdauer betrug ca. 3 Monate. Eine Überprüfung der Transponderfunktion ergab, daß insgesamt 8,5 % der Injektate nach der Schlachtung nicht mehr funktionsfähig waren. Aufgrund vorangegangener Funktionsprüfungen und den Beobachtungen bei der Entnahme (Transponder gefunden/nicht gefunden, defekt/intakt) konnten die Funktionsausfälle zeitlich genauer eingeordnet werden. Die meisten Funktionsausfälle traten bereits innerhalb der ersten 6 bis 10 Tage nach der Injektion auf. Die Ausfallrate steigerte sich bis zur Schlachtung nur noch geringfügig. Es war darauf zu schließen, daß insgesamt 7,4 % der Injektate aus dem Einstichkanal wieder ausgetreten waren und nur etwa 1 % während der Schlachtung beschädigt wurden.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen SPAHR et al. [52] bei Rindern. Sie injizierten bei 50 Kälbern im Alter zwischen 3 und 7 Tagen 32 mm lange Transponder am oberen Ansatz des Ohres (unter dem Scutulum, siehe Abb. 4). Während der folgenden 6 Monate konnten 9 der 50 Transponder nicht mehr ausgelesen werden. In 3 Fällen wurden die herausgefallenen Injektate auf dem Stallboden wiedergefunden (ca. 1 Monat nach der Injektion). In den 6 weiteren Fällen war nicht mehr festzustellen, ob die Transponder bereits im Tier nicht mehr funktionsfähig oder ebenfalls herausgefallen waren. Möglicherweise lag daher die Verlustrate über 6 %. Diese Verluste traten bei älteren Tieren nicht mehr auf. Somit steht das Tieralter bei der Injektion vermutlich mit der Verlustwahrscheinlichkeit in Zusammenhang.

Nach den Literaturergebnissen zur Gewebeverträglichkeit und zu Lageveränderungen injizierbarer Transponder ist

- eine gute allgemeine Gewebeverträglichkeit bei Transpondern mit einer Glas- oder Kunststoffumhüllung gegeben, d. h. die Einstichwunde verheilt in der Regel „normal" und es treten keine Folgeentzündungen auf.
- Migrationen können vorkommen, sie sind dann aber im Ausmaß sehr stark von der Tierart, dem Tieralter und dem Injektionsort abhängig. Gesundheitliche Beeinträchtigungen sind nur in Einzelfällen zu verzeichnen.
- Verluste durch Wiederaustritt aus dem Einstichkanal treten relativ häufig auf, sie können neben der Wahl der Injektionsstelle und der Injektionstechnik auch vom Tieralter bei der Injektion abhängen.

2.3 Injektionsorte beim Rind

Da die gute Gewebeverträglichkeit der Transponder für verschiedene Injektionsorte bestätigt wurde, gilt es nun den Injektionsort beim Rind anhand weiterer Kriterien einzugrenzen. Wichtige zusätzliche Anforderungen sind:

- eine sichere und einfache Injektion bereits bei jungen Kälbern,
- eine möglichst geringe Schmerzbelastung der Tiere bei der Injektion,
- eine sichere Erkennung mit stationären Ausleseeinheiten,
- der Schutz des Injektates vor äußeren Stoßeinwirkungen und damit die Vermeidung von Funktionsausfällen,
- keine Schädigung wertvoller Fleischteile und
- eine schnelle und sichere Entnahme aus dem Schlachtkörper.

Die Auswahl des Injektionsortes schränkt sich bereits durch die Forderung nach einer sicheren Erkennung erheblich ein. Der Transponder muß sich in einer möglichst geringen Entfernung zur Ausleseantenne befinden, so daß sich vor allem der Kopfbereich des Rindes anbietet (POIESZ [41]). Injektionsorte im hinteren Körperbereich wären mit einem größeren Bewegungsraum des Tieres verbunden. Zudem würden unterschiedlich große Tiere innerhalb einer Herde einen größeren Aufwand in der Anpassung des Erkennungsbereiches (Bereich, in dem der Transponder an der Antenne ausgelesen wird) der Ausleseantennen erfordern. Bei einer Injektion im Kopfbereich dagegen wird der Transponder, beispielsweise am Freßtrog, stets in eine definierte Position zur Ausleseantenne gebracht.

LAMBOOIJ [29] vertritt die Auffassung, daß beim Rind der *Ohrgrund* die beste Injektionsstelle sei (Abb. 4). Um Vergleiche anstellen zu können, injizierte er Transponder bei Mastkälbern subcutan seitlich und frontal am Kopf, im Nackenbereich unter dem Nackenband, sowie seitlich im Hals vor der Schulter.

Die frontal am Kopf injizierten Transponder waren nach einigen Wochen zerbrochen, diejenigen im seitlichen Kopfbereich nur sehr schwer zu injizieren und auszulesen. Im Hals- und Nackenbereich waren sie nach dem Schlachten nur noch schwierig wiederzufinden und es mußten wertvolle Teilstücke des Schlachtkörpers zerschnitten werden. Im Ohrgrund schließlich konnte die Injektion einfach durchgeführt und der Transponder wieder physisch lokalisiert werden. Da dort injizierte Transponder aber durch mechanische Belastungen (z. B. am Freßgitter) häufig zerbrechen (PIRKELMANN et al. [44]), kommt diese Stelle nicht als Injektionsort in Betracht.

Ein weiterer Vorschlag (POIESZ [41]) sieht die Injektion subcutan im seitlichen *Flotzmaulbereich* vor (Oberkiefer, Abb. 4). An dieser Stelle ist ein eng begrenzter Bereich für die Ablage des Transponders vorgegeben, der die Entnahme im Schlachtprozeß weitgehend sicherstellt. Als problematisch ist jedoch zu bewerten, daß nur maximal 20 mm große Transponder injiziert werden können, was einer geforderten Lesereichweite von mindestens 50 cm und damit der Möglichkeit zur Erkennung im Durchgang (Melkstand, Selektionstore usw.) entgegensteht (ARTMANN [4]). Da der Flotzmaulbereich relativ stark mit Nervengewebe versorgt wird, ist nicht auszuschließen, daß im Vergleich zu anderen Körperstellen eine höhere Schmerzempfindlichkeit vorliegt [38][4]. Darüber hinaus ist nicht geklärt, ob die Injektate an dieser Stelle nicht Stoßbelastungen ausgesetzt sind und daher beschädigt werden können.

Vergleichende Untersuchungen zur Auswahl eines geeigneten Injektionsortes beim Rind wurden auch von FALLON et al. [16] durchgeführt. Er injizierte bei insgesamt 462 Mastbullen an verschiedenen Stellen des Ohrbereiches 32 mm lange Transponder. Die Versuche ergaben, daß eine Injektion unter den sogenannten Dreiecksknorpel oder das *Scutulum* (cartilago scutiformis) praktikabel ist, weil die Stelle einfach ertastet werden kann und die Entnahme des Transponders beim Schlachten nur eine geringe Zeit in Anspruch nimmt.

---

[4] a.a.O. S. 269, Band 4, Nervus infraorbitalis

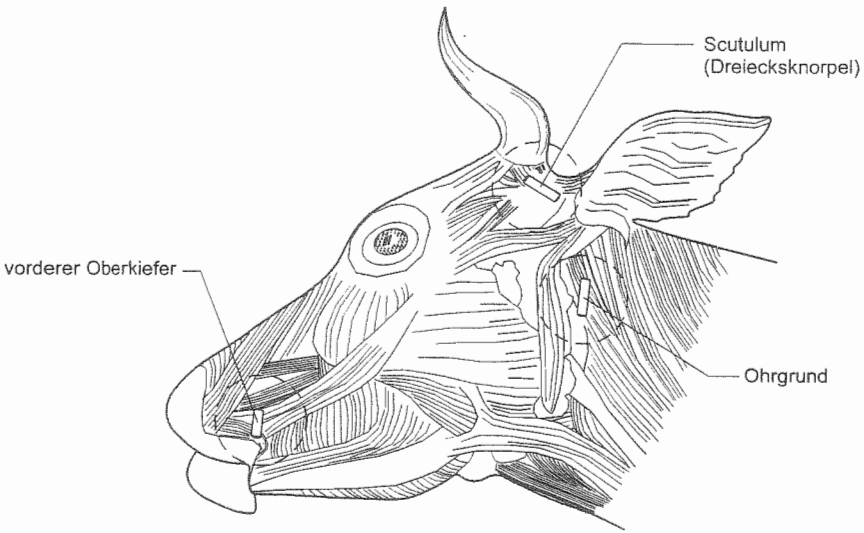


Abb. 4: Oberflächliche Muskeln im Kopf- /Halsbereich beim Rind (nach NICKEL et al. [38][5]) und Injektionsorte

Versuche zum praktischen Einsatz der Transponder in Verbindung mit Tränkeanlagen und Wiegeeinrichtungen ergaben während der Aufzucht- und Frühmastperiode von Rindern, sowohl für den Injektionsort Ohrgrund als auch das Scutulum, eine hohe Sicherheit der Identifizierung (PIRKELMANN et al. [44], [45]). Ähnlich umfangreiche Erfahrungen zur Entnahmesicherheit im Schlachthof wie beim Schwein ([39], [34]) liegen für Rinder noch nicht vor.

Aus den dargestellten Ergebnissen (gute Definition der Einstichstelle, dadurch sichere Entnahme) ist davon auszugehen, daß der von FALLON [16] ausgewählte Injektionsort Scutulum beim Rind im Vergleich zu den anderen beiden Vorschlägen der am besten geeignete ist.

---

5 a.a.O. S. 267, Band 1

3. Problemanalyse und Zielsetzung

3.1 Problemanalyse

Wie aus den referierten Ergebnissen hervorgeht, wirkt sich die Lage des Transponders im Tierkörper auf die Erkennungssicherheit, die Entnahmesicherheit und die Gewebeverträglichkeit aus. Die Entnahmesicherheit und Gewebeverträglichkeit stehen direkt mit der Lage des Transponders im Körper in Verbindung. Die Erkennungssicherheit dagegen hängt primär von der Position des Transponders zur Ausleseantenne ab. Die Positionierung wiederum ist von der Lage im Tierkörper und der Tierbewegung abhängig. Die Auswirkung der Transponderlage im Tier und der Tierbewegung auf die Erkennungssicherheit sollen im folgenden näher erläutert werden (Abb. 5).

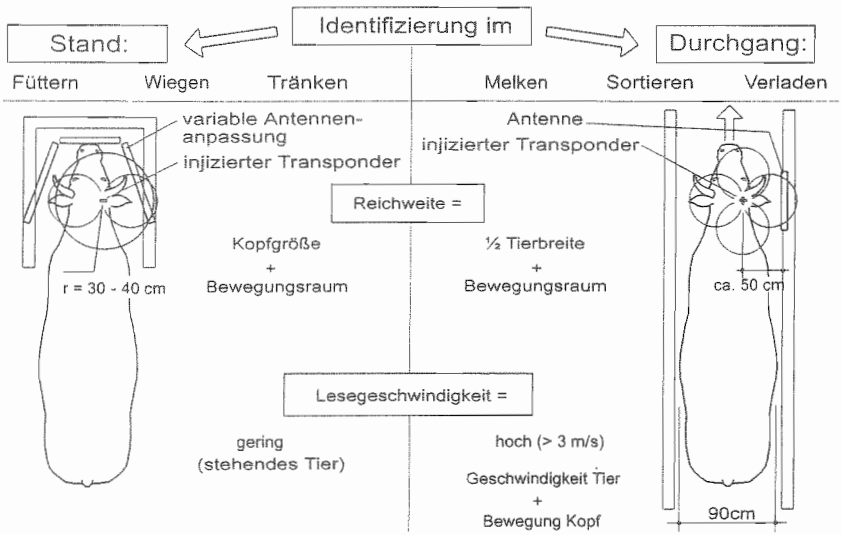


Abb. 5: Anforderungen an die Lesereichweite und -geschwindigkeit von Identifizierungssystemen mit injizierbaren Transpondern beim Rind

Tierbewegung: Die Position des Transponders ist bei eingeschränkter Bewegung, zum Beispiel beim Fressen, am genauesten vorgegeben (Erkennung im „Stand"). Hier kann die Antenne nahe im Umkreis des Kopfes angebracht werden, so daß eine Lesereichweite von 35 bis 40 cm für eine sichere Erkennung ausreicht. Diese

Distanz ergibt sich aus den Abmessungen des Kopfes und dem erforderlichen Bewegungsraum. Da sich das Tier nur wenig bewegt, ist auch nur eine geringe Lesegeschwindigkeit erforderlich. Im Gegensatz zum Freßstand ist die Bewegung im Durchgang (z. B. zum Melkstand) nur wenig eingeschränkt. Soll der Transponder in dieser Situation ausgelesen werden, so muß - alleine aus der ½ Gesamtbreite des Körpers - eine Lesereichweite von mindestens 50 cm erreicht werden. Hinzu kommt, daß zum Auslesen des Transponders nur eine geringe Zeitspanne zur Verfügung steht, da sich das Tier an der Antenne vorbei bewegt (bis zu 3 m/s).

Transponderlage im Tier: Da die Lesereichweite von der Feldlinienverteilung um die Antenne abhängt (ARTMANN [4]; [56]), kann die maximale Reichweite nur dann erreicht werden, wenn die Orientierung des Transponders zur Antenne günstig und seine Entfernung zur Antenne gering ist. Wechselt diese Orientierung bei den Tieren innerhalb einer Herde, so werden einige Tiere mit hoher, andere mit nur geringer Sicherheit erkannt. Aus den dargestellten Beziehungen wird deutlich, daß beide Faktoren, die *Tierbewegung und die Transponderlage* im Körper, getrennt untersucht werden müssen, um die Sicherheit der Erkennung zu optimieren.

Ein weiterer Ansatz, um die Sicherheit der Erkennung zu erhöhen, besteht in der Verbesserung der *technischen Leistung der Erkennungssysteme*. Im folgenden sollen daher die Einflußfaktoren auf die Signalübertragung und die Lageveränderung im Tierkörper in einem Wirkungsmodell zusammengefaßt werden, um daraus die Zielsetzung der Untersuchungen abzuleiten.

Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals

Die Signalübertragung gliedert sich in die Erzeugung, die Übermittlung und den Empfang des Signals durch die Ausleseantenne (Abb. 6). Für die Übertragung des Erkennungssignals ist eine Reihe von Faktoren verantwortlich, die sich einerseits „fördernd", andererseits „störend" aus wirken können. Beide Gruppen („störende und „fördernde" Faktoren) lassen sich wiederum unterteilen in variable und konstante Faktoren Von besonderem Interesse ist es, welche dieser Faktoren zugunsten der Signalübertragung verändert werden können, d. h. variabel sind, und welche nicht verändert werden können, d. h. konstant sind. Anhand der systeminternen (variablen) Faktoren können möglicherweise die negativen Einflüsse systemexterner Faktoren kompensiert werden. Nach diesen Kriterien (systemintern/systemextern und konstant/variabel) können vier Gruppen unterschieden werden (Tab. 2).

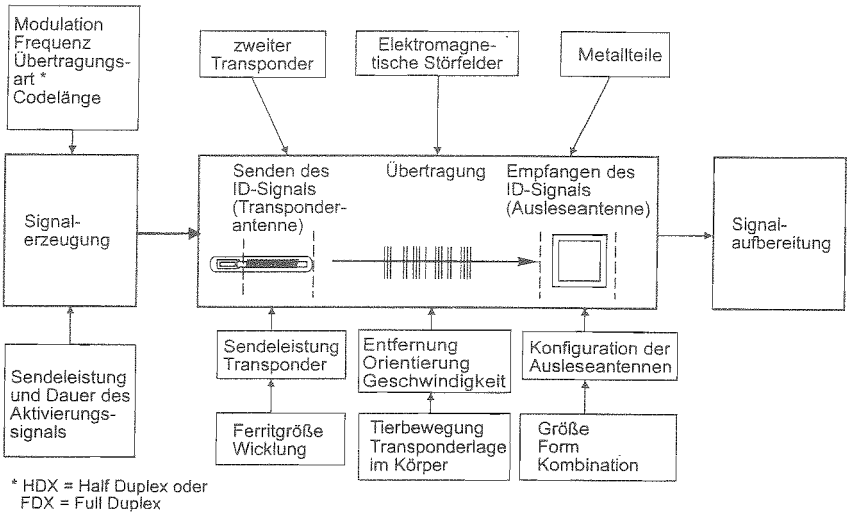


Abb. 6: Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals

Tab. 2: Einteilung der Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals

Faktoren	**variabel**	**konstant**
systemintern („fördernd")	Sendeleistung, Ladezeit Ausleseantennen	Modulation, Frequenz Transpondergröße
systemextern („störend")	wechselnde Position des Transponders elektromagnetische Störfelder zweiter Transponder	Metallteile

Systeminterne, konstante Faktoren

- Die Reichweite und Lesegeschwindigkeit wird durch das *Modulationsverfahren* sowie die *Frequenz* mitbestimmt. Darüber hinaus spielen auch die zeitliche Abfolge von Aktivierungs- und Erkennungssignal (**HDX** und **FDX**), die Art und Länge des zu übermittelnden Codes sowie das Überprüfungsverfahren eine Rolle für die Reichweite und Lesegeschwindigkeit. Eine Veränderung dieser Faktoren ist mit erheblichem technischem Aufwand verbunden, sie sind daher als weitgehend konstant zu betrachten.
- Die *Transpondergröße* steht in Zusammenhang mit der möglichen Reichweite und Lesegeschwindigkeit, da sich mit zunehmender Größe des Ferritstabes und der Anzahl an Wicklungen auch die Stärke des empfangenen Aktivierungs- und abgegebenen Erkennungssignals erhöht (ARTMANN [4]). Die Größe kann jedoch

nicht beliebig erhöht werden, da sie eine zunehmend schwierigere Injektion nach sich zieht. Für die Größe der Transponder sind 32 mm Länge als Obergrenze anzusehen. Folglich ist dieser Faktor ebenfalls als konstant zu bezeichnen.

Systeminterne, variable Faktoren

- Die *Sendeleistung* und *Ladezeit* (Dauer des Aktivierungssignals) sind in bestimmten Grenzen wählbar. Sie geben vor, wieviel Energie dem Transponder bei gegebenem Abstand von der Antenne zugeführt wird und wie weit das Erkennungssignal zurückgegeben werden kann. Die Stärke dieses Signals ist zwar durch administrative Vorgaben begrenzt [12], es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß zukünftig auf internationaler Ebene eine Angleichung der derzeit unterschiedlichen Regelungen vorgenommen wird und daher eine Erhöhung der zur Zeit in Deutschland geltenden Sendeleistungen möglich wird.
- Bei der Verwendung verschiedener *Ausleseantennen* bieten sich Anpassungsmöglichkeiten des Erkennungsbereiches an den Bewegungsraum der Tiere. Sie können in bestimmten Grenzen im Material, der Größe, der Form und Kombination zueinander verändert werden. Limitierend wirkt allerdings bei zunehmender Antennengröße die ebenfalls zunehmende Empfindlichkeit gegenüber Störsignalen [56], so daß die Größe nicht beliebig erhöht werden kann.

Systemexterne, konstante Faktoren

- *Metallteile* können zu einer Ablenkung des elektromagnetischen Feldes, zu Energieverlusten aufgrund von Wirbelströmen und / oder zu einer Verstimmung der Antenne führen und dadurch die Lesereichweite beeinträchtigen (MOLL [36]). Diese Verluste wiederum hängen von der Metallart (z. B. magnetisch leitend oder nicht leitend), der Metallgröße und -form, sowie vom Abstand zum Transponder oder zur Ausleseantenne ab. Die Empfehlung der Hersteller von Identifizierungssystemen lautet daher, daß sich dort, wo eine maximale Reichweite und Lesegeschwindigkeit erforderlich ist, keine Metallteile in der unmittelbaren Umgebung der Antenne befinden sollten.

Systemexterne, variable Faktoren

- Zu den externen, variablen Einflußfaktoren gehören die *Entfernung*, *Orientierung* und *Geschwindigkeit* des Transponders gegenüber der Ausleseantenne (wechselnde Position). Der Transponder kann die erforderliche Energie zur Erzeugung und Rücksendung des Erkennungssignals nur dann aufnehmen, wenn

diese Faktoren so zusammenwirken, daß eine Kopplung zustande kommt (sie werden daher auch als Kopplungsfaktoren bezeichnet, ARTMANN [4]). Nicht zuletzt ist bei einer längeren Verweildauer innerhalb des Feldes eine höhere Energieaufnahme möglich (Faktor Zeit → Geschwindigkeit). Hieraus ist zu schließen, daß mit einer günstigen Orientierung des Transponders die Antenne weiter entfernt oder seine Geschwindigkeit höher sein kann.

- Ein weiterer externer Einflußfaktor sind „fremde" *elektromagnetische Störfelder*, wie sie zum Beispiel von Elektromotoren oder Sendestationen ausgehen können. Solche „Störsignale" wirken sich vor allem dann negativ aus, wenn sie die gleiche Frequenz und Bandbreite haben und an die Stärke des „Nutzsignals" heranreichen oder es überschreiten (WILHELM [58]).
- Im praktischen Einsatz ist auch mit einem Funktionsausfall eines Transponders zu rechnen. In diesem Fall wäre die Injektion eines weiteren Transponders erforderlich. Dessen Erkennungssignal kann jedoch durch den ersten, defekten Transponder gestört werden, indem es zu einer Verstimmung des Schwingkreises kommt. Im ungünstigsten Fall wäre der erste Transponder noch intakt, so daß sich beide Signale überlagern und nicht mehr unterschieden werden können.

Einflußfaktoren auf die Lagestabilität von Transpondern im Tierkörper

Die Lage des Transponders sollte im Tierkörper möglichst unverändert, d. h. stabil bleiben. Auch für die Lageänderung können Einflußfaktoren definiert werden, die in technische und biologische Faktoren zu unterscheiden sind (Abb. 7).

Technische Einflußfaktoren

- Das *Injektionsverfahren* kann sich über die Art der Hohlnadel (Durchmesser und Länge, Form, Anschliff) und durch das verwendete Desinfektionsmittel auf die Einheilung und damit die Bildung eines Kapselgewebes auswirken. Die Bindegewebskapsel stellt die Verbindung zum umliegenden Gewebe her und sorgt damit für die „Verankerung" des Transponders im Körper. In diesem Zusammenhang ist auch die Wahl des *Injektionszeitpunktes* von Bedeutung, da mit der Altersstufe des Tieres auch unterschiedliche Platzverhältnisse am Injektionsort vorliegen können (für die Tierkennzeichnung ist eine möglichst frühe Injektion wünschenswert).
- Es ist möglich, daß die *Größe* und *Form* des Transponders für die Lagestabilität entscheidend sind, etwa daß mit zunehmender Größe des Injektates dem umlie-

genden Gewebe eine größere „Angriffsfläche" geboten wird und dadurch Kräfte am Transponder auftreten, die ihn in eine bestimmte Richtung „vorwärts schieben".

- Das *Material* und die *Oberflächenbeschaffenheit* des Transponders stehen in engem Zusammenhang mit der Art und Ausbildung des neugebildeten Kapselgewebes und nehmen damit Einfluß auf die Intensität der Verbindung mit dem umliegenden Gewebe.

Biologische Einflußfaktoren

- Eine *Muskelkontraktion* kann durch Krafteinwirkung auf den Transponder eine Lageveränderung hervorrufen. So ist es denkbar, daß in intensiv bewegten Körperteilen eher eine Lageveränderung auftritt als an weniger stark bewegten Stellen. Eine ähnliche Wirkung könnte von *äußeren Krafteinwirkungen* (Scheuern an Stangen usw.) ausgehen.
- Im Zuge des *Wachstums* können sich die anatomischen Platzverhältnisse um den Transponder stark verändern. Wachstumsbedingt ist beim jungen Kalb eher eine Lageveränderung zu erwarten als beim älteren Tier.

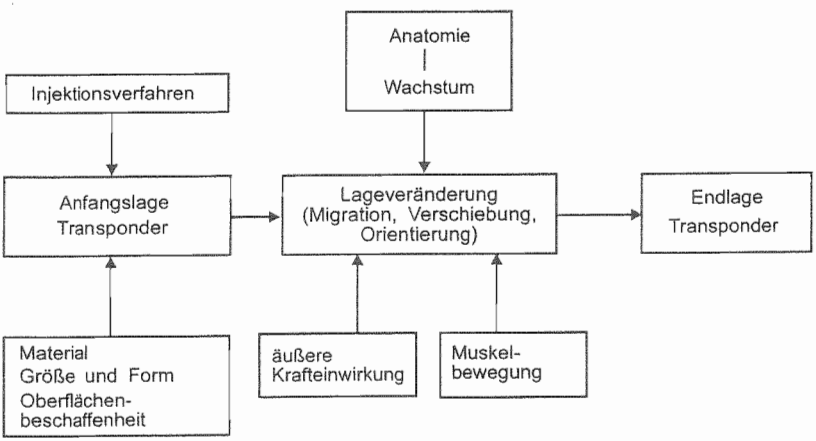


Abb. 7: Einflußfaktoren auf die Lagestabilität des Transponders im Tierkörper

3.2 Zielsetzung

Nach der Analyse der wichtigsten Einflußfaktoren auf die Übertragung des Erkennungssignals und die Lageveränderungen von Transpondern im Tierkörper stellt sich die Frage, anhand welcher Maßnahmen die Erkennung, sowohl im Stand als auch im Durchgang, sichergestellt werden kann.

Hauptziel der Untersuchungen ist es daher, die Auswirkungen einzelner Einflußfaktoren auf die Signalübertragung und die Lageveränderungen im Körper des Rindes zu quantifizieren, um schließlich dem Nutzer eines Identifizierungssystems Daten zur Einstellung bzw. Optimierung der Anlage zu liefern und eine „sichere Erkennung" zu ermöglichen.

Um zu einer Beurteilung der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit in die Praxis zu gelangen, werden die Versuche stufenweise aufgebaut. In einem ersten Versuchskomplex werden einzelne Faktoren unter Laborbedingungen isoliert betrachtet, um zu quantitativen Beziehungen zu gelangen. In einem zweiten Versuchskomplex werden die Transponder unter weitgehend gleichen Bedingungen im Tier eingesetzt, um die Interaktionen zwischen dem Tierkörper und dem Transponder zu quantifizieren. Im dritten Teil schließlich werden die Transponder unter Praxisbedingungen getestet, um die in den vorangegangenen Versuchen erzielten Ergebnisse zu überprüfen. Um zu einer Gesamtbewertung des Einsatzes injizierbarer Transponder in der Rinderhaltung zu gelangen, werden schließlich die Injektionstechnik und die Entnahme im Schlachthof untersucht.

Innerhalb der Versuchskomplexe sind die folgenden Teilziele zu nennen:

1. Technische Laborversuche:

- Die Bestimmung von Auswirkungen unterschiedlicher Sendeleistungen, Ladezeiten und Störsignale auf die Lesereichweite eines ausgewählten Systems,
- die Überprüfung der Lesereichweite und der Ausbildung des Erkennungsbereiches bei verschiedenen Ausleseantennen,
- die Bestimmung der Auswirkung unterschiedlicher Transponderorientierungen auf die Lesegeschwindigkeit durch Simulation einer Durchgangserkennung.

2. Tierversuche (Transponder im Tierkörper):

- Die Festlegung eines geeigneten Injektionsverfahrens für junge Kälber durch die Überprüfung der anatomischen Platzverhältnisse bei der Transponderablage,
- die Bestimmung der Haftung von Transpondern im Einstichkanal in Abhängigkeit von verschiedenen Oberflächen,
- die Quantifizierung möglicher Lageveränderungen von Transpondern an einem ausgewählten Injektionsort hinsichtlich der Verschiebung im Einstichkanal, der Migration und der Orientierungsänderung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Altersstufen, Transpondergrößen und Oberflächenbeschaffenheiten,
- die Bestimmung der Art von Gewebeneubildungen um den Transponder in Abhängigkeit von seiner Oberflächenbeschaffenheit (histologische Untersuchungen).

3. Einsatzuntersuchungen:

- Ein Vergleich der Injektionsgeräte verschiedener Hersteller,
- die Überprüfung der technischen Laborergebnisse an ausgewählten Beispielen der Antennenanpassung für den Stand und Durchgang bei Kälbern und Mastbullen und
- die Überprüfung der Durchführbarkeit einer Transponderentnahme im Schlachthof.

4. Technische Laborversuche zur Erkennungssicherheit

In den technischen Laborversuchen gilt es zu untersuchen, welche Konfiguration der Ausleseeinheiten für eine sichere Erkennung von Rindern mit injizierten Transpondern im Stand oder im Durchgang geeignet ist. Dabei wird überprüft, wie sich

- systemexterne Störfaktoren (Transponderposition vor der Antenne, elektromagnetische Störsignale, zweiter Transponder) auf die Erkennung (Signalempfang ja / nein) auswirken können und
- welche technischen Maßnahmen (systeminterne Faktoren: Sendeleistung und -dauer, Antennengröße und -kombination) geeignet sind, um diese Störfaktoren auszugleichen (Abb. 6, Tab. 2).

4.1 Material und Methodik

Für die Versuche wurde aufgrund der hohen Anforderungen an die Lesereichweite bei der Erkennung von Rindern ein HDX-System ausgewählt (TIRIS-System[6]; KAISER et al. [26], siehe Tab. 1). Die Versuche sind in drei Abschnitte untergliedert, wobei in jedem Abschnitt zusätzliche Einflußfaktoren mit aufgenommen werden.

Im ersten Abschnitt wird bestimmt, wie sich die maximale Lesereichweite (Abstand des Transponders auf der Achse der Ausleseantenne) in Abhängigkeit von der Antennengröße, der Sendeleistung und -dauer (Ladezeit) des Aktivierungssignals, sowie von Störsignalen und einem zweiten Transponder verändert. Für die Abschätzung, ob ein Tier sicher erkannt wird, ist allerdings die Lesereichweite alleine nicht ausreichend, da die Annäherung des Transponders (im Tier) in den seltensten Fällen geradlinig und mit optimaler Orientierung auf der Antennenachse erfolgen wird. In den Laborversuchen zur Lesereichweite werden die möglichen Tierbewegungen nicht berücksichtigt, sie stellen folglich eine starke Vereinfachung der Verhältnisse in der Praxis dar. Die untersuchten Einflußfaktoren lassen sich wie folgt zusammenfassen (wobei das System, die Transpondergröße und Orientierung konstant bleiben):

Lesereichweite = f (Ladezeit + Sendeleistung + Störsignale +
(System + Transpondergröße + Orientierung))

[6] TIRIS: „Texas Instruments Registration and Identification System" der Texas Instruments Inc., Haggertystraße 1, D-85356 Freising. Technische Spezifikationen TIRIS-System [56]

Im zweiten Abschnitt wird der Erkennungsbereich in Abhängigkeit von verschiedenen Positionen des Transponders um die Antenne ermittelt. Im Gegensatz zur maximalen Lesereichweite werden hierbei ein seitlicher Versatz zur Antennenachse sowie unterschiedliche Orientierungen des Transponders zur Antenne mit einbezogen, ähnlich wie dies auch bei der Annäherung eines Tieres an eine Antenne auftreten kann. Hieraus kann abgeleitet werden, ob sich der Bewegungsraum des Tieres mit dem Erkennungsbereich deckt, bzw. welche Antennen unterschiedlich große Bewegungsräume abdecken können. Festzuhalten bleibt, daß die Transponderannäherung auch hier vereinfacht ist, da sie nur auf einer Ebene in der Mitte der Antenne (zweidimensional) erfolgt. In einer vollständigen Analyse müßte der gesamte (dreidimensionale) Erkennungsbereich vor der Antenne bestimmt werden. Da jedoch davon auszugehen ist, daß sich bei symmetrischen Antennen auch im dreidimensionalen Raum symmetrische Erkennungsbereiche ergeben, werden hier nur die „einfachen" Bereiche auf einer Ebene ermittelt (im folgenden ist mit „Erkennungsbereich" stets der „zweidimensionale" Bereich gemeint, in dem der Transponder ausgelesen wird). Aus Gründen der Symmetrie und der Relevanz für den praktischen Einsatz wurde auch auf die Darstellung des Erkennungsbereiches „hinter" der Antenne, also der dem Tier abgewandten Seite, verzichtet. Die im zweiten Abschnitt untersuchten Einflußfaktoren können wie folgt zusammengefaßt werden:

Erkennungsbereich = f(Antennenform + Transponderorientierung + seitliche Position des Transponders + (Faktoren Lesereichweite))

Im dritten Abschnitt wird die Situation einer Durchgangserkennung simuliert und der Transponder an der Antenne vorbei geführt. Erfaßt wird hierbei die Anzahl der empfangenen Erkennungssignale pro Durchgang. Aus dieser Anzahl wird wiederum ein Rückschluß auf die maximal mögliche Lesegeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen gezogen. Variiert werden dabei die Orientierung und Geschwindigkeit des Transponders vor der Antenne, sowie die Antennengröße, Antennenkonfiguration und Sendeleistung. Zusätzlich werden die Einflüsse der Ladezeit und von Störsignalen erfaßt. Die im dritten Abschnitt untersuchten Einflußfaktoren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Anzahl empfangener Signale / Durchgang = f(Transpondergeschwindigkeit + (Faktoren Erkennungsbereich))

Zur Begrenzung des Versuchsaufwandes wurden nur ausgewählte Varianten untersucht, bei denen davon auszugehen war, daß sie wesentliche Einflußfaktoren sein könnten (Tab. 3, [55]). Im folgenden wird das eingesetzte Material und die Funktionsweise des ausgewählten Identifizierungssystems dargestellt, da sich hieraus Konsequenzen für den jeweiligen Versuchsaufbau bzw. die notwendigen Einstellungen der Versuchsanlage in den drei Abschnitten ergeben. Im Anschluß daran werden die verschiedenen Meßverfahren dargestellt.

Tab. 3: Durchgeführte Untersuchungen mit verschiedenen Antennenvarianten

	Antennenvarianten*				
Untersuchungen zum Einfluß von .... → auf ...	**Ferrit-antenne F_1**	**Luftspulen-antenne L_1**	**Luftspulen-antenne L_2**	**Luftspulen-antenne L_3**	**kombinierte Luftspulen-antennen 2 x L_3**
Abschnitt 1: Lesereichweite					
Vorversuch: Streuung der Lesereichweite		X			
Sendeleistung → Lesereichweite	X	X	X	X	X
Ladezeit → Lesereichweite		X		X	X
Störsignal → Lesereichweite	X	X	X	X	X
zweiter Transponder → Lesereichweite		X			
Abschnitt 2: Erkennungsbereich					
Entfernung → Ausdehnung des Erkennungsbereiches		X	X	X	X
Orientierung → Ausdehnung des Erkennungsbereiches		X	X	X	X
Abschnitt 3: Lesegeschwindigkeit					
Entfernung → Anzahl der Erkennungssignale		X	X	X	X
Orientierung → Anzahl der Erkennungssignale		X	X	X	X
Geschwindigkeit → Anzahl der Erkennungssignale		X	X	X	X
Sendeleistung → Anzahl der Erkennungssignale				X	X
Ladezeit → Anzahl der Erkennungssignale				X	X

siehe Abb. 11

4.1.1 Transponder, Ausleseelektronik und Antennen

Die injizierbaren Transponder des TIRIS-Systems sind aus einer Glasumhüllung, einem Ferritkern mit einer Cu-Wicklung und einer integrierten Schaltung aufgebaut (Abb. 8; technische Daten Tab. A1). Zum Schutz vor Stoßbelastungen sind die Innenteile in einem Gel gelagert und die Verbindung der beiden elektronischen Komponenten ist mit einer Kunststoffhalterung versehen.

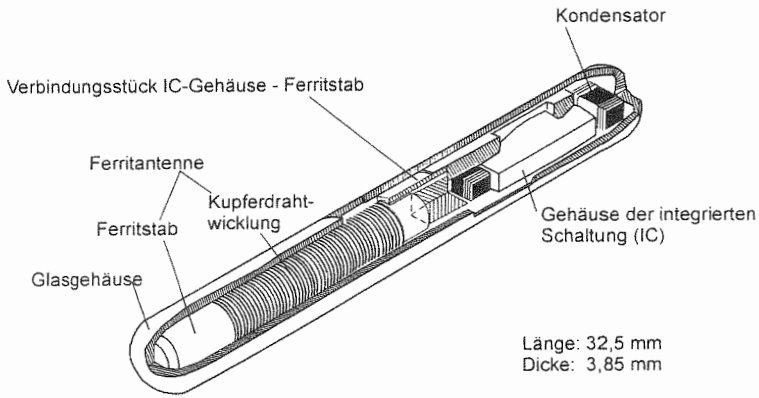


Abb. 8: Transponderaufbau (TIRIS-System [56])

Die Ausleseelektronik setzt sich aus einem RF-Modul (Radio-Frequenz-Modul) und einem Kontrollmodul (CTL) zusammen (Abb. 9, Tab. A2). Am RF-Modul wird die Sendeleistung über ein Potentiometer eingestellt und die Abstimmung der Antenne durch Zuschalten mehrerer Kondensatoren vorgenommen. Das Kontrollmodul übernimmt die Aufgabe der Steuerung des RF-Moduls für die Senderoutine (z. B. Ladezeit) und wandelt das empfangene Signal des RF-Moduls in eine dezimale oder hexadezimale Nummer um (Modus einstellbar). Schließlich steuert es die Schnittstellenverbindung (RS 232), über die die ausgelesene Nummer an einen Computer weitergegeben wird.

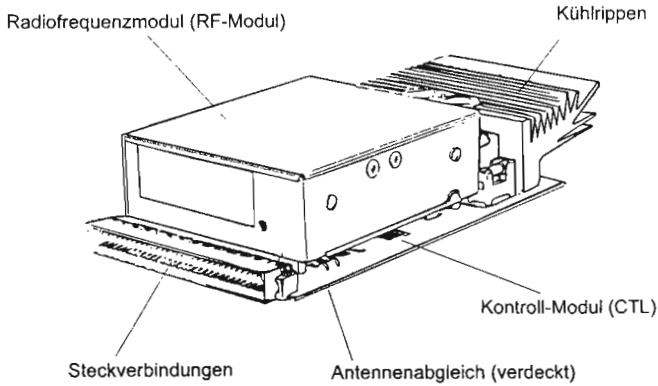


Abb. 9: Ausleseelektronik (TIRIS-System [56])

Das TIRIS-System verwendet ein HDX-Verfahren und sendet demnach ein gepulstes Aktivierungssignal aus (siehe Kap. 2.1). Die zeitliche Abfolge von Aktivierungssignal, Abgabe des Erkennungssignals (Datenübertragung) und Synchronisation wird aus dem Spannungszustand des Transponders ersichtlich (Abb. 10). Zusammen mit der Synchronisationszeit und einer zusätzlichen Toleranz (Delay-Zeit) von 10 ms ergibt sich eine Gesamtzeit von 100 ms für den vollständigen Zyklus Signalerzeugung und -empfang. Die beim Hersteller eingestellte Ladezeit von 50 ms kann im Bereich von 10 bis 100 ms variiert werden, woraus sich entsprechend veränderte Gesamtzykluszeiten ergeben (Tab. A5).

Die für die Versuche mit Einzelantennen verwendete Ausleseelektronik war zusammen mit weiteren Komponenten als Kompaktgerät in einem gemeinsamen Gehäuse eingebaut (SDK: System Development Kit. Zusatzfunktionen: Einstellung verschiedener Betriebszustände, Schalteinheit zur Vereinfachung der Abstimmung, Anzeige zur qualitativen Einordnung von Störfeldern[7]).

[7] Betriebsanleitung des SDK (System Development Kit), TIRIS-System

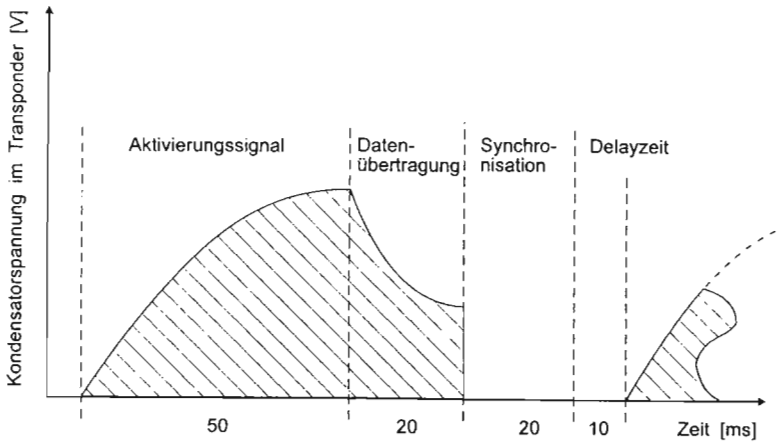


Abb. 10: Ladungszustand des Transponders bei Aufnahme des Aktivierungssignals und Abgabe des Erkennungssignals (nach [55])

Für die Versuche mit zwei kombinierten Antennen (2 x L_3, Abb. 11) wurde für jede der Antennen eine eigene Ausleseelektronik verwendet[8]. Beide Einheiten waren über eine Taktleitung verbunden, um eine gleichzeitige Abgabe des Aktivierungssignals zu gewährleisten („hard-wire"-synchronisiert). Diese Synchronisation war erforderlich, damit das Aktivierungssignal und das Erkennungssignal zeitlichen getrennt voneinander übertragen werden konnten. Die Taktvorgabe erfolgte von einer Ausleseelektronik (STU), die als „Master" bezeichnet wurde. Die zweite, synchronisierte STU wurde „Slave" genannt. Im folgenden wird der gesamte Aufbau mit zwei STU und zwei kombinierten Antennen auch als „Master-Slave"-Anordnung bezeichnet.

Die Abmessungen der verschiedenen serienmäßigen Ausleseantennen sind der Abb. 11 zu entnehmen. Die Sonderausführung mit zwei kombinierten Antennen bestand aus zwei Luftspulenantennen (2 x L_3), die einander im Abstand von 90 cm parallel gegenüberstanden.

[8] betriebsgerechter Umbau und Programmierung: S. BÖCK, Landtechnik Weihenstephan

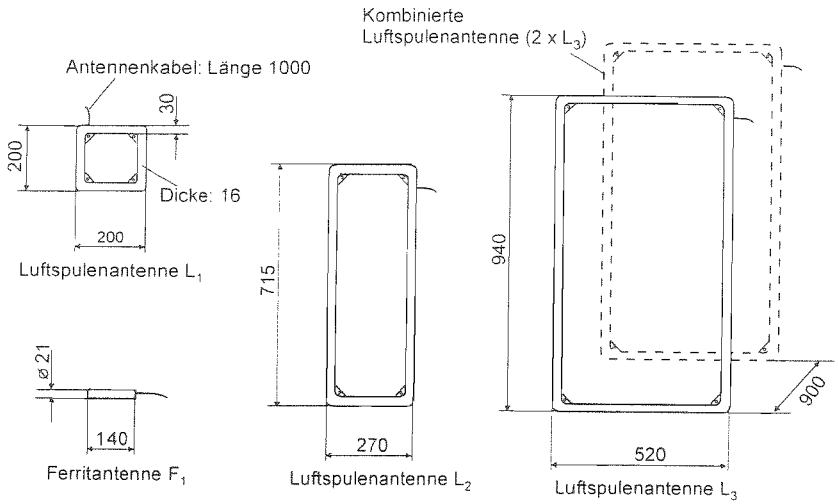


Abb. 11: Antennenausführungen (TIRIS-System [56], Angaben in mm)

4.1.2 Meßaufbau

Der in den drei Versuchsabschnitten jeweils unterschiedliche Meßaufbau soll im folgenden eingehender dargestellt werden.

Für die Untersuchungen im ersten und dritten Abschnitt wurde eine Testanlage verwendet (Abb. 12), mit der die Transponder mit konstanten, frei wählbaren Geschwindigkeiten auf die Ausleseantenne zu- (Meßbereich A) oder an ihr vorbeibewegt werden konnten (Meßbereich B). Die zwei verschiedenen Laufbänder wurden aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereiche und den dafür entsprechend ausgelegten Antriebsaggregaten verwendet. In den Versuchen des zweiten Abschnittes wurden die Transponder von Hand auf einer Meßebene an die Antennen angenähert (Meßbereich auf Tisch, separat von Testanlage).

Eine wesentliche Anforderung an die Testbedingungen bestand darin, daß elektromagnetische Störsignale nur in sehr geringem Maße auf das System einwirken dürfen. Da solche Störsignale zum Beispiel von Elektromotoren ausgehen können, wurden die in der Testanlage verwendeten Antriebsaggregate (Abb. 12, Antrieb der Laufbänder im Bereich A und B), aber auch eine Steuerungselektronik mit möglichst geringer Abgabe von Störsignalen ausgewählt und die Kabel im Bereich der Ausleseantennen abgeschirmt. Als weitere Maßnahme zur Reduzierung von Energieverlusten und zur Vermeidung von Feldablenkungen befanden sich im Umkreis von etwa einem Meter um die Auslesestelle keine Metallteile. Alle während der Messungen nicht benötigten Netzteile wurden ausgeschaltet (Akkubetrieb der Computer, Ersatz von Leuchtstoffröhren durch Glühlampen usw.). Kontrollmessungen zeigten die Stärke „verbliebener" elektromagnetischer Felder (siehe Kap. 4.1.3).

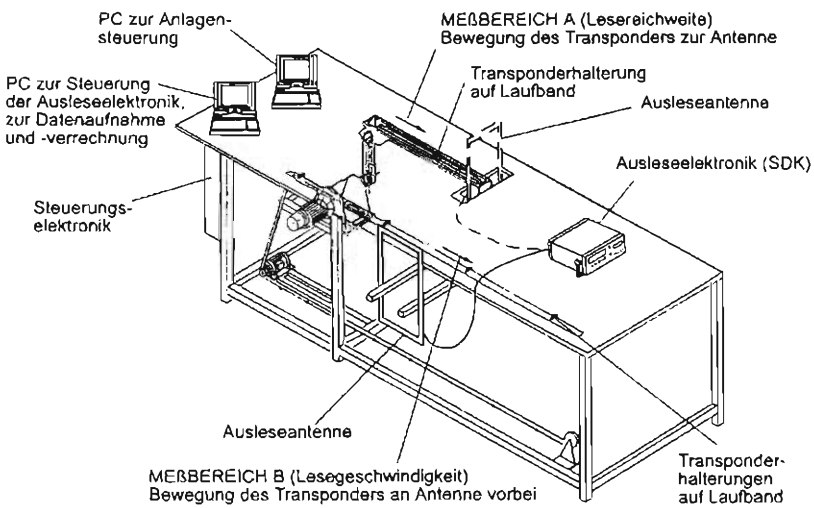


Abb. 12: Testanlage zur Bestimmung der Lesereichweite und der Lesegeschwindigkeit von Transpondern

Zur Steuerung und zur Datenaufnahme und -verarbeitung wurden zwei Personalcomputer verwendet. Durch den Einsatz von zwei Computern konnten Engpässe bei der Datenaufnahme, -verarbeitung und Anlagensteuerung vermieden werden[9].

Die Umgebungstemperatur im Testlabor lag im Bereich von 12 bis 18 °C, womit die in den Spezifikationen des Herstellers angegebenen Grenzwerte der Betriebstemperaturen (-25 bis +70 °C, Tab. A1, Tab. A2, Tab. A3) nicht überschritten wurden.

Abschnitt 1: Lesereichweite

Um die Lesereichweite zu ermitteln, wurde der Transponder auf der Antennenachse bis zur ersten Übertragung eines Erkennungssignals an die Antenne angenähert (Meßbereich A der Testanlage, Abb. 12 und Abb. 13). Als Meßwert diente der Abstand zwischen Vorderkante der Antenne und dem Transponderende (Ferritstab im Transponder der Antenne zugewandt). Die Annäherung des Transponders erfolgte mit konstanter Geschwindigkeit (1 cm/s), die Orientierung von 0° blieb unverändert.

Diese Messungen zur Bestimmung der maximalen Lesereichweite können nur für Einzelantennen angewendet werden. Bei kombinierten Antennen ist eine Abänderung des Meßverfahrens erforderlich. Unter der Annahme, daß zwischen den Antennen ein geschlossenes Feld entsteht, kann keine „maximale Lesereichweite" mehr bestimmt werden. Um trotzdem Aussagen z. B. über die Anfälligkeit gegenüber Störsignalen treffen zu können, wurde die *Veränderung der Breite des Erkennungsbereiches* zwischen den Antennen erfaßt (Abb. 13, unten).

Aus versuchstechnischen Gründen wurde diese Strecke nicht, wie bei den Einzelantennen, durch eine automatische, sondern durch eine manuelle Annäherung des Transponders an die Antenne ermittelt. Hierbei wurde die gleiche Meßebene wie bei der Bestimmung der Erkennungsbreiche verwendet (Abschnitt 2, Abb. 15).

---

9 Bau der Anlage und Steuerungsprogramme: Texas Instruments; Umbaumaßnahmen und Programme zur Steuerung der Ausleseeinheiten, Datenaufnahme und -verarbeitung: G. FRÖHLICH, Landtechnik Weihenstephan©

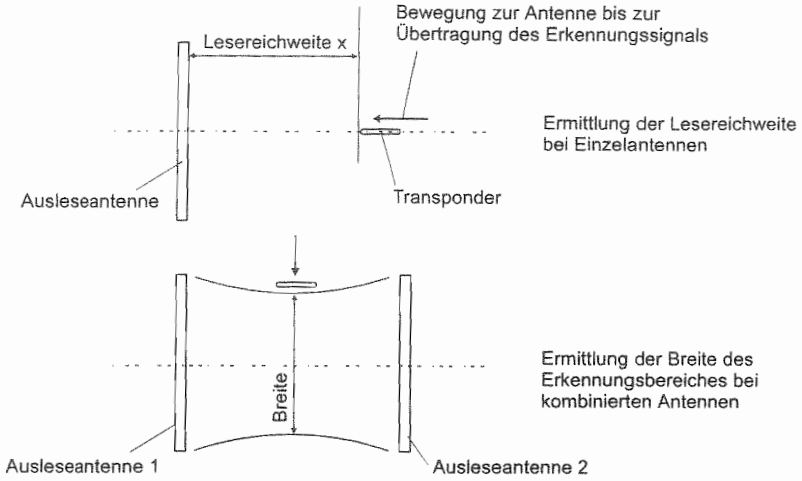


Abb. 13: Ermittlung der Lesereichweite bei einzelnen Antennen und der Breite des Erkennungsbereiches bei kombinierten Antennen

In einem Vorversuch wurde die Streuung der maximalen Lesereichweite ermittelt, um die Meßgenauigkeit einzuschätzen und die Anzahl von Wiederholungen zu bestimmen. Um die Streuung innerhalb einzelner und zwischen verschiedenen Transpondern bei wiederholten Messungen zu bestimmen, wurden 20 Transponder auf der Testanlage (Bereich A) jeweils 20 mal ausgelesen. Dabei blieben sämtliche weitere Faktoren konstant.

Die in den Versuchen des ersten Abschnittes aufgenommenen Varianten und Einstellungen sind der Tab. 4 zu entnehmen.

Tab. 4: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 1

Versuch zum Einfluß der... auf → ...	**Antennen**	**Sendeleistung (dBµV/m)** [10]	**Ladezeit (ms)** [11]	**Weißes Rauschen (dBµV/m)** [12]	**Abstand zweiter Transponder (cm)**
Streuung der Lesereichweite (20 Transponder, n=50)	L_2	123	50	-	-
Sendeleistung → Lesereichweite	L_1, L_2, L_3	118 - 138	50	-	-
Ladezeit → Lesereichweite	L_2	123	10, 20, 30... 100	-	-
Störsignale → Lesereichweite (bzw. Breite des Erkennungsbereiches)	F_1, L_1, L_2, L_3, (2 x L_3)	123, 129, 131	50	0, 10, 20, ... 100	-
zweiter Transponder → Lesereichweite	L_2	123	50	-	0, 1, 2 ... 10

[10] Die magnetische Feldstärke H wird üblicherweise in A/m angegeben, die elektrische Feldstärke E in V/m. Bei den hier durchgeführten Messungen wird die magnetische Feldstärke H *indirekt* ermittelt und daher in V/m bzw. dBµV/m angegeben. Die Umrechnung erfolgt näherungsweise nach: x dBµA/m + 51,5 = x dBµV/m.

[11] Überprüfung der Zeitspannen mittels Speicheroszilloskop

[12] Rauschen, Grundrauschen (noise): jedes unerwünschte elektromagnetische Signal innerhalb eines verwendeten Frequenzbandes (Abgabe z. B. durch Radiosender, Elektromotoren), sie können in Frequenz und Amplitude stark variieren. Weißes Rauschen: (white noise): Rauschen, dessen spektrale Dichte und Druck unabhängig von der Frequenz ist (IEC [22]). Erzeugung durch „noise generator": „... which is used purposely to introduce noise of a specified amplitude distribution, spectral density, or rootmean square value, or appropriate combination therefore into other .... elements" (IEEE [23]).

Abschnitt 2: Erkennungsbereiche

Zur Bestimmung der Erkennungsbereiche wurde die Ausleseantenne mittig am Rand einer Meßebene angebracht (Prinzip in Abb. 14, Meßebene 90 x 120 cm, Abb. 15). Der Transponder wurde von Hand auf der Ebene zur Ausleseantenne hingeführt, bis eine Signalübertragung erfolgte. Um trotz der manuellen Führung eine möglichst gleichbleibende Orientierung des Transponders zu gewährleisten, wurde dieser auf einer Folie befestigt, die wiederum exakt entlang der Linien eines aufgezeichneten Rasters (1 cm Auflösung) geführt werden konnte. Bei der Erkennung des Transponders wurden die Koordinaten am Raster direkt abgelesen. Bei jedem weiteren Meßvorgang erfolgte eine seitliche Verschiebung des Transponders zur Antennenachse (ca. 2 cm) und dann eine erneute Annäherung an die Antenne. Dieses Vorgehen wurde mehrfach wiederholt, bis aus der Verbindung der einzelnen Meßpunkte eine Kurve erstellt werden konnte. Erst im letzten Schritt wurde die Orientierung des Transponders zur Antenne variiert (z. B. 45° und 90°-Orientierung) und die Messungen wiederholt.

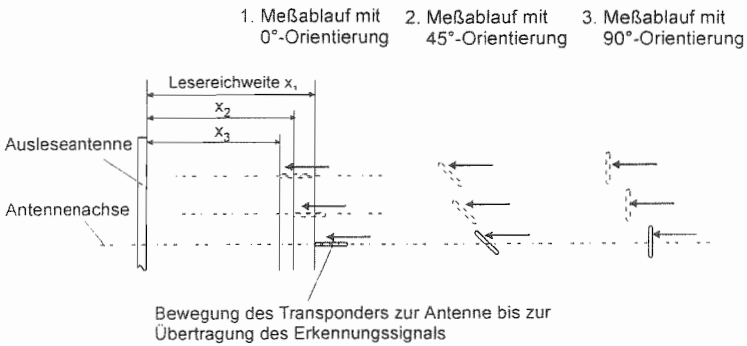


Abb. 14: Ermittlung des Erkennungsbereiches

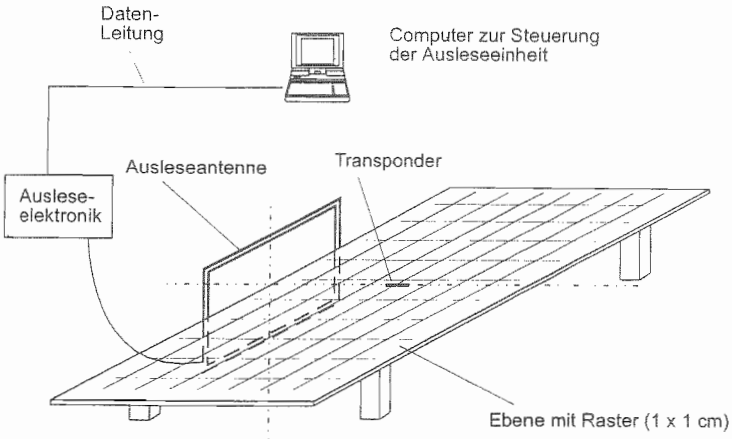


Abb. 15: Ermittlung des Erkennungsbereiches bei einzelnen Antennen

Bei der Variante mit zwei kombinierten Antennen (Abb. 16) befand sich die zweite Antenne im Abstand von 90 cm an der gegenüberliegenden Seite der Meßebene auf einer gemeinsamen Achse. Die beiden dazugehörigen Erkennungseinheiten waren über eine Taktleitung synchron geschaltet, so daß die Aktivierungssignale gleichzeitig abgegeben wurden.

Die Richtung der magnetischen Feldlinien hängt von der Richtung des Stromflusses im elektrischen Leiter ab[13] („Bio-Savartsches-Gesetz" [21]). Ähnlich den magnetischen Feldlinien eines Permanentmagneten können sich die Feldlinien entsprechend ihrer Richtung gegenseitig anziehen oder abstoßen. Während nun bei Einzelantennen davon auszugehen ist, daß die Verteilung der Feldlinien kaum beeinflußt wird, so ist anzunehmen, daß sich die Feldlinien von zwei kombinierten Antennen gegenseitig - in Abhängigkeit von der Feldrichtung und ihrer Position zueinander - beeinflussen. Aus diesem Grund wurde in die Versuche mit kombinierten Antennen die Variante „Feldrichtung" mit aufgenommen (gleichgerichtete oder entgegengerichtete Felder).

---

13 Der absteigende Elektronenstrom erzeugt Feldlinien, die von oben gesehen rechts herum verlaufen, der aufsteigende Elektronenstrom erzeugt Feldlinien in der umgekehrten Richtung. Die Felder zweier gemeinsam gepulster Antennen können demzufolge entsprechend ihrer Polung entweder gleich- oder entgegengerichtet sein.

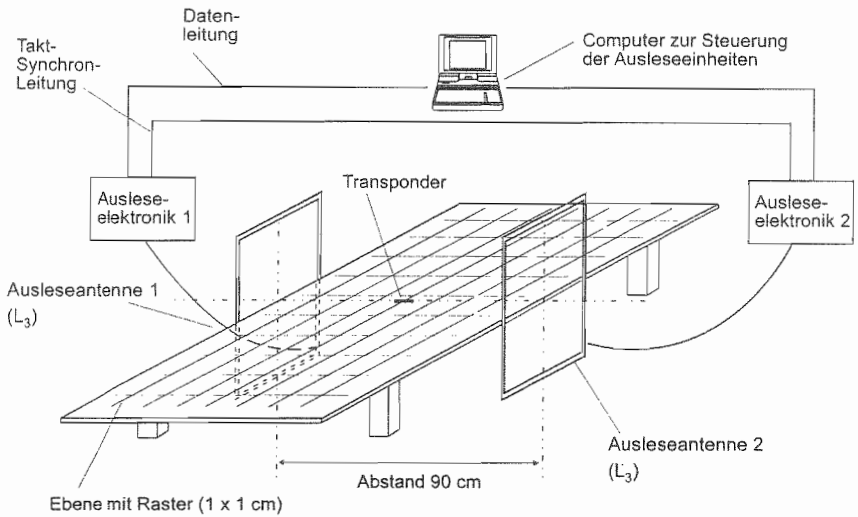


Abb. 16: Ermittlung des Erkennungsbereiches bei kombinierten Antennen

Die im Versuchsabschnitt 2 gewählten Varianten und Einstellungen sind der Tab. 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 2

Versuch zum Einfluß der... auf den	**Antennen**	**Sendeleistung (dBµV/m)**	**Feldrichtung**	**Ladezeit (ms)**
→ Erkennungsbereich einzelner Antennen	L_1, L_2, L_3	123, 131	-	50
→ Erkennungsbereich kombinierter Antennen (Master-Slave)	2 x L_3	123, 129, 131	gleiche und entgegengesetzte Richtung	50

Abschnitt 3: Lesegeschwindigkeit

Um die maximale Lesegeschwindigkeit zu bestimmen, bei der noch eine sichere Erkennung gegeben ist, wurden die Transponder mit gleichbleibenden Geschwindigkeiten von 1 bis 4 m/s (in Abstufungen von je 0,5 m/s) an einer Einzelantenne vorbeigeführt (bzw. bei den kombinierten Antennen zwischen diesen hindurchgeführt; Abb. 17, Abb. 12, Meßbereich B). In jedem Einzelversuch durchliefen 5 Transponder jeweils 10 mal den „Durchgang" (n=50). Wesentliches Kriterium war hierbei, ob und wie oft die Transponder im Durchgang ausgelesen wurden.

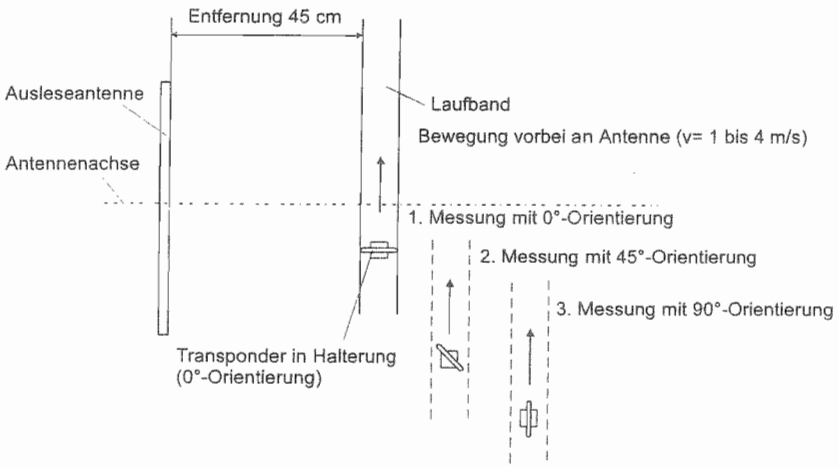


Abb. 17: Meßanordnung zur Bestimmung der Lesegeschwindigkeit

Die Halterungen auf dem Laufband, auf dem die Transponder an der Antenne vorbeigeführt wurden, waren einheitlich für jeden Versuchsdurchgang in Orientierungen von 0°, 45° oder 90° eingestellt. Die Entfernung zwischen dem Laufband und der Antenne blieb konstant bei 45 cm. Dieser Abstand entspricht der Mittellinie eines Durchgangs im Tierstall von 90 cm Breite. Auch in der Praxis ist davon auszugehen, daß der Transponder je nach Tiergröße etwa in diesem Abstand an der Antenne vorbeigeführt wird. Zwar befindet er sich beim Injektionsort Scutulum etwas neben

der Mittellinie, jedoch wurde bei diesem Abstand auch die Möglichkeit einer geringfügigen seitlichen Kopfbewegung mit einkalkuliert. Der weitere Grund, der für die Wahl dieser Entfernung sprach, war daß sie für kombinierte Antennen, die links und rechts im Durchgang angebracht sind, den „schlechtesten Fall", d. h. die größtmögliche Entfernung darstellt.

Die einzelnen Varianten und Einstellungen im Versuch sind der Tab. 6 zu entnehmen. Da die kleineren Antennen (F_1, L_1, L_2) nach Herstellerangaben [55] nur einen geringen Bewegungsraum abdecken, wurden sie in den Untersuchungen zur Lesegeschwindigkeit nicht verwendet.

Tab. 6: Varianten und Einstellungen im Versuchsabschnitt 3

Versuch	Geschwindigkeit (m/s)	Entfernung (cm)	Transponderorientierung	Sendeleistung (dBµV/m)	Ladezeit (ms)
Lesegeschwindigkeit mit einzelner Antenne (L_3)	1; 1,5; 2, ...4	45	0°, 45°, 90°	131	10, 30, 50
Lesegeschwindigkeit mit kombinierten Antennen (Komb. I und II; 2 x L_3)	1; 1,5; 2, ...4	45	0°, 45°, 90°	129, 131	10, 30, 50

Es wurden drei Antennenvarianten ausgewählt, eine Einzelantenne L_3 und zwei Antennenkombinationen (2 x L_3). Bei den kombinierten Antennen wurden gleichgerichtete Felder, mit auf beiden Seiten gleicher Sendeleistung (Antennenkombination I) und entgegengerichtete Felder mit ungleicher Sendeleistung gewählt (Antennenkombination II).

In der Auswertung erschien es sinnvoll, auf eine Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung zu verzichten, da hierbei keine Information über eine sporadisch vorkommende „Nichterkennung" (0-Wert) mehr vorhanden wäre. Für die Beurteilung der Erkennungssicherheit ist vielmehr die Kenntnis der absoluten minimalen und maximalen Werte sowie des häufigsten Wertes (Modalwertes) von Bedeutung. Zur graphischen Darstellung der Abhängigkeiten wurden nur die Modalwerte herausgegriffen, die minimalen und maximalen Werte sind zusätzlich im Anhang aufgeführt.

4.1.3 Feldstärkenmessungen

Um in den Untersuchungen weitgehend gleichbleibende Versuchsbedingungen zu gewährleisten, mußten mehrere Messungen der Feldstärken von „Störsignalen" (Grundrauschen und erzeugtes Störrauschen), aber auch von „Nutzsignalen" (Sendeleistung des Aktivierungssignals) durchgeführt werden. Es galt daher zu prüfen,

- inwiefern Störsignale durch die Wahl einer weitgehend abgeschirmten Meßumgebung für die Laborversuche minimiert werden können, so daß die Stärke des Nutzsignals stets deutlich über der des Störsignals liegt,
- ob die Sendeleistung der Ausleseantennen einen bestimmten Wert einhält und dieser konstant bleibt und
- ob die im Labor „künstlich" erzeugten Störsignale (white noise) von gleichbleibender Stärke sind.

Zur Bestimmung der genannten Parameter wurde ein geeichtes Feldstärkenmeßgerät verwendet (Firma Schwarzbeck; weitere Daten Tab. A4, Meßfehler +/- 1 dBµV/m). Von entscheidender Bedeutung für die Wiederholbarkeit der Meßwerte ist die gleichbleibende Positionierung der Meßantenne. Die Feldlinien weisen im Nahfeld (bis ca. 2 m) eine stärkere Krümmung auf, im Fernfeld dagegen verlaufen sie zunehmend parallel. Dies bedeutet, daß mit geringerem Abstand der Meßantenne zur Sendeantenne auch eine genauere Positionierung auf einer gemeinsamen Achse und eine parallele Ausrichtung beider Antennen erfolgen sollte.

Da bei den einzelnen Messungen jeweils unterschiedliche Positionen der Meßantenne gewählt wurden, werden diese im folgenden näher beschrieben.

4.1.3.1 Grundrauschen am Meßort

Zur Bestimmung des Grundrauschens wurde die Meßantenne des Feldstärkenmeßgerätes an der Stelle positioniert, an der später die Ausleseantenne aufgestellt wurde (Abb. 18). Ein an das Feldstärkenmeßgerät angeschlossener Plotter zeichnete die Meßwerte für den Frequenzbereich von 50 bis 150 kHz auf. In den ersten Messungen wurde das Grundrauschen in drei Richtungen des Raumes für 50 bis

150 kHz ermittelt und später im gesamten Versuchszeitraum stichprobenartig für einen engeren Frequenzbereich (130 - 140 kHz) wiederholt. Um das Störrauschen auch während der Messungen mit laufender Testanlage zu bestimmen, wurden nacheinander die Anlagensteuerung, die beiden Computer und schließlich die Elektromotoren zum Antrieb der Laufbänder zugeschaltet. Die Ausleseeinheit wurde hierbei nicht zugeschaltet. Die beiden Computer wurden in 5 m Entfernung zur Ausleseantenne aufgestellt, um mögliche Beeinträchtigungen durch Störsignale (ausgehend von Prozessoren) weitgehend auszuschließen.

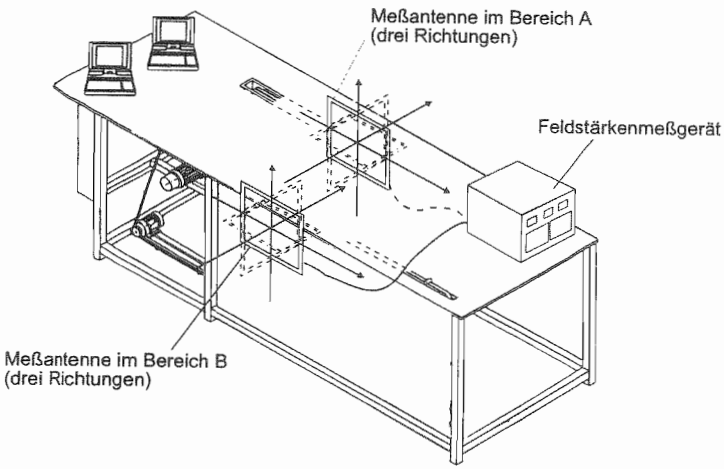


Abb. 18: Messung des Gundrauschens

4.1.3.2 Sendeleistung der Ausleseantennen

Vor jedem Versuchsdurchgang wurde nach dem Abgleich der Antennenschwingkreise die Sendeleistung der Ausleseantennen überprüft und eingestellt (Werte siehe Tab. 3 bis 5, Aufbau Abb. 19). Die Entfernung von 3 m wurde gewählt, weil ab dieser Distanz und mit den hier verwendeten Antennen bereits mit einem weitgehend homogen ausgebildeten Feld zu rechnen ist [55]. Die Mittelpunkte der Auslese- und

Meßantenne lagen auf einer gemeinsamen Achse, ihre Ebenen standen parallel zueinander. Bei der Ermittlung der Sendeleistung von kombinierten Antennen wurde die Meßantenne auf beiden Seiten der Antennen (symmetrisch, jeweils in 3 m Entfernung) aufgestellt.

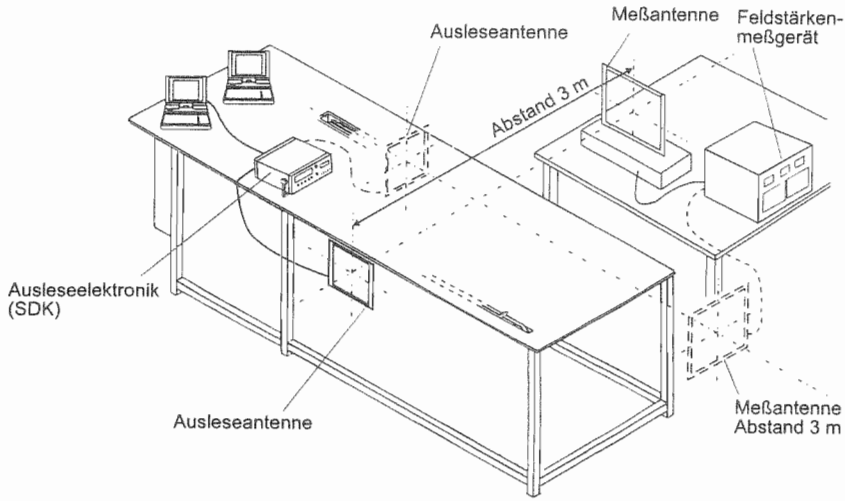


Abb. 19: Messung der Sendeleistung der Ausleseantennen

4.1.3.3 Weißes Rauschen des Störsenders

Zur Bestimmung der Anfälligkeit des Systems gegenüber externen Störsignalen wurde die Ausleseantenne einem weißen Rauschen ausgesetzt, das über eine Bandbreite von 10 bis 200 kHz eine gleichmäßige Stärke besitzt. Die Störantenne befand sich in einem Abstand von 50 cm zur Ausleseantenne (Abb. 20). Um die Sendeleistung der Störantenne zu bestimmen, wurde an der Stelle der Ausleseantenne die Meßantenne des Feldstärkenmeßgerätes aufgestellt, wobei die Achsen beider Antennen übereinstimmten. Das „Rauschspektrum" wurde, wie in den Messungen des Grundrauschens, durch einen Plotter aufgezeichnet.

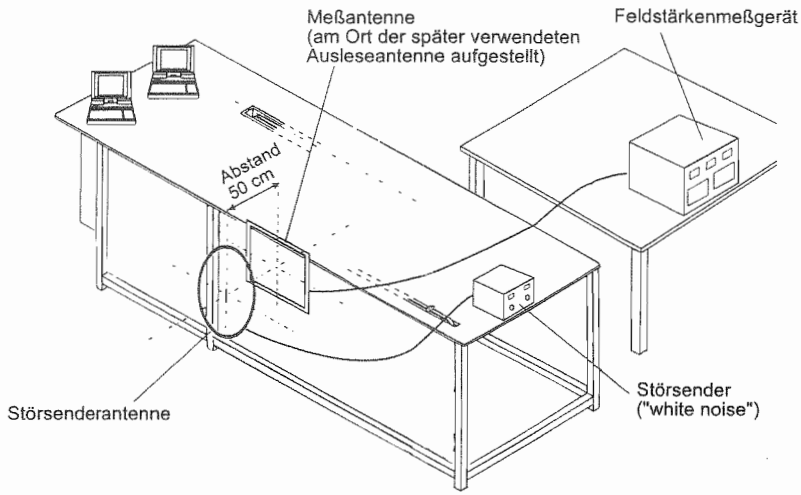


Abb. 20: Messung der Sendeleistung des Störsenders („white noise generator")

4.2 Ergebnisse der technischen Laborversuche und Diskussion

Im folgenden werden die Einflüsse ausgewählter systeminterner und systemexterner Faktoren auf die Lesereichweite behandelt. Im Anschluß daran sollen die Auswirkungen der Transponder- bzw. Tierbewegung auf die Erkennungssicherheit dargestellt und diskutiert werden.

4.2.1 Grundrauschen im Labor

Die Messungen des Grundrauschens dienten der Dokumentation der Versuchsbedingungen. Das Grundrauschen in der Umgebung des Meßortes überstieg im relevanten Frequenzbereich von 100 bis 150 kHz in keinem Falle die Feldstärke von 25 dBµV/m, auch zu späteren Zeitpunkten durchgeführte Messungen ergaben nur geringfügige Abweichungen (siehe Anhang, Abb. A1). Bei der Zuschaltung der Steuerungseinheit, der Elektromotoren und der beiden Computer traten höhere Werte auf, die jedoch mit 30 bis 40 dBµV/m, bzw. im Maximum mit 50 dBµV/m als gering einzustufen sind. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Laufbandes auf

4 m/s verlagerten sich die Peaks von 115 auf 112 kHz, bzw. von 143 auf 139 kHz. Ihre Amplitude veränderte sich nur geringfügig.

Aufgrund dieser Messungen ist davon auszugehen, daß das Grundrauschen stets unter der Feldstärke des Nutzsignals lag und durch den Betrieb der Testanlage keine Beeinträchtigung der Signalübertragung erfolgte.

4.2.2 Streuung der Lesereichweite

Die maximale Lesereichweite ist ein erster Anhaltspunkt für die Leistungsfähigkeit eines Identifizierungssystems. Bevor jedoch Kennwerte über die Abhängigkeit der Lesereichweite von bestimmten Einflußfaktoren ermittelt werden, ist es wichtig, ihre Streuung unter gleichbleibenden Bedingungen zu kennen. Dabei ist zu erwarten, daß an der Stelle der maximalen Lesereichweite auch die Abweichungen vom Mittelwert am größten sind. Daher wurde dieser Punkt für die Beurteilung der Streuung der Lesereichweite gewählt (20 Transponder, jeweils 50 mal ausgelesen).

Die Streuung der maximalen Lesereichweite (Mittelwert 52,2 cm) war mit einer Standardabweichung von +/- 1,2 cm innerhalb eines Transponders und +/- 1,9 cm zwischen verschiedenen Transpondern niedrig (Abb. 21). Dies entspricht einer Abwei-

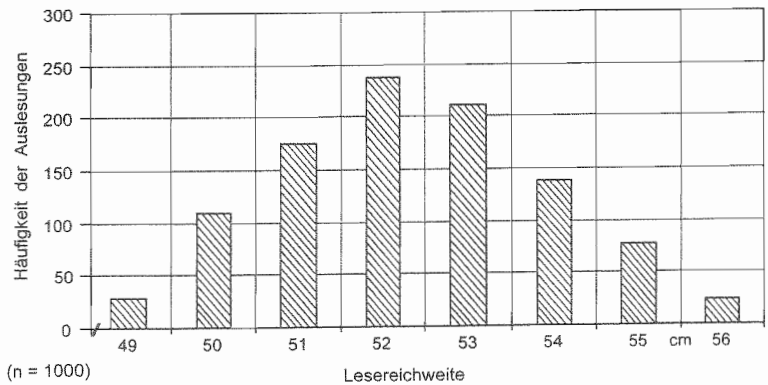


Abb. 21 Streuung der Lesereichweite im Laborversuch (123 dBµV/m, Antenne L_1)

chung von 2,4 bzw. 3,8 %. Da diese Abweichungen insgesamt als gering einzustufen sind, wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Für die Streuung der Meßwerte im Laborversuch ist die nur geringe Störung durch systemexterne Signale im Meßlabor mitverantwortlich (Anhang Abb. A1). Eine wichtige Rolle spielt hierbei sicherlich auch die Qualität der elektronischen Bauteile.

4.2.3 Abhängigkeit der Lesereichweite

4.2.3.1 Einfluß der Sendeleistung

Mit steigender Sendeleistung ist eine lineare Zunahme der Lesereichweite im Bereich von 118 bis 138 dBµV/m festzustellen (Abb. 22). Die Abhängigkeit der Lesereichweite von der Sendeleistung wurde ermittelt, indem mehrere Antennen nacheinander an eine Ausleseeinheit angeschlossen und zwei in ihrer Leistung unterschiedliche RF- Module (siehe Abb. 9) verwendet wurden. Dabei decken die Antennen L_2 und L_3 in Verbindung mit einem RF-Modul den Bereich zwischen 118 und 131 dBµV/m ab. Die kleineren Antennen (F_1 und L_1) weisen eine geringere Sendeleistung auf.

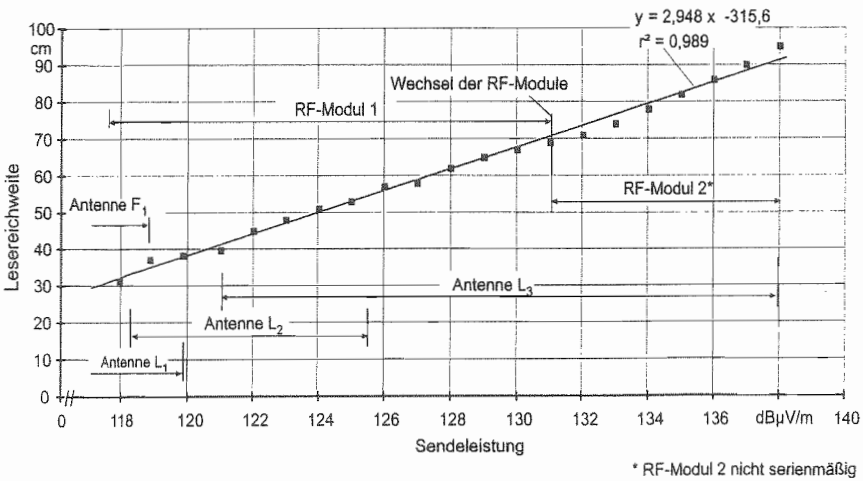


Abb. 22: Lesereichweite in Abhängigkeit von der Sendeleistung

Nach diesen Ergebnissen wäre anzunehmen, daß - entsprechend der angelegten Spannung an der Antenne - eine beliebige Steigerung der Sendeleistung erreicht werden könnte. Eine Einschränkung ist jedoch dadurch gegeben, daß die Energieaufnahme des Transponder begrenzt ist (Kapazität des Kondensators) bzw. diese nicht in ein stärkeres Erkennungssignal umsetzen kann, so daß die hier ermittelte lineare Beziehung nicht für den Bereich höherer Sendeleistungen gilt. Festzuhalten ist, daß in diesen Versuchen mit den verfügbaren RF-Modulen noch keine Grenze erreicht wurde. Als begrenzender Faktor ist sicherlich eine stärkere Erwärmung der Antennenmaterialien und die damit einsetzende Veränderung ihrer Güte[14] zu erwarten.

Beim Wechsel der Antennen bleibt die Lesereichweite unverändert, wenn die gleiche Sendeleistung und Antennengüte zugrundegelegt werden. Die Leistung muß daher in der Praxis bei jedem Wechsel - vor allem zu größeren Antennen - neu eingestellt werden.

Mit der Antenne L_3 und dem vom Hersteller vorgesehenen RF-Modul wird ein Leistungsbereich von 123 bis 131 dBµV/m abgedeckt. Damit wird der zur Zeit für Deutschland zulässige Wert (123 dBµV/m) mit dieser Antenne überschritten. Es ist jedoch davon auszugehen, daß zukünftig eine Erhöhung der zulässigen Sendeleistung erfolgt. Der Einsatz eines „stärkeren" RF-Moduls erfolgte hier, um die Leistungsreserven aufzuzeigen (131 bis 138 dBµV/m).

4.2.3.2 Einfluß der Ladezeit

Zum Aufladen des Kondensators im Transponder (HDX-System, Kap. 4.1.1) wird eine bestimmte Zeitspanne (Ladezeit) benötigt. Wie die Ergebnisse zeigen, steigt mit zunehmender Ladezeit die Lesereichweite an (Abb. 23), allerdings nur im Bereich von 10 bis 50 ms. Bis 50 ms ist der einer Sättigungskurve entsprechende Verlauf der Lesereichweite zu verzeichnen.

---

[14] Güte der Antenne: Q-Faktor, wird durch Materialeigenschaften und durch Abstimmung vorgegeben

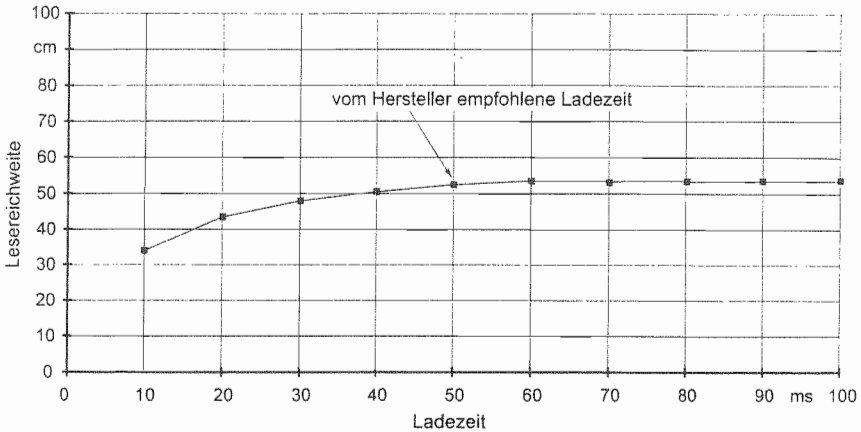


Abb. 23: Lesereichweite in Abhängigkeit von der Ladezeit (Antenne L_2, Sendeleistung 123 dBµV/m)

Die Ladezeit wirkt sich direkt auf die realisierbare Lesegeschwindigkeit aus, da sie Teil des Übertragungszyklus ist (siehe Abb. 10). Nach dem Anteil der Ladezeit kann die Dauer der gesamten Übertragung zwischen 50 und 140 ms variieren.

Aus den Ergebnissen folgt, daß

- eine höhere Ladezeit als 50 ms keinen Gewinn an Lesereichweite bringt und daß
- bei hohen Anforderungen an die Lesegeschwindigkeit eine möglichst kurze Ladezeit zwischen 30 und 40 ms eingestellt werden sollte. Unterhalb von 30 ms fällt die Lesereichweite stark ab.

4.2.3.3 Einfluß des Störrauschens

Mit zunehmender Stärke des Störsignals ist für alle vier Antennen bis zu 60 dBµV/m keine Verringerung der Lesereichweite festzustellen (bei gleicher Sendeleistung, 123 dBµV/m). Ab diesem Wert jedoch fallen die Kurven unterschiedlich stark ab (Abb. 24, Meßergebnisse zur Überprüfung des Störsignals siehe Abb. A1).

Während die Lesereichweite bei der Ferritantenne (F_1) durch das Störsignal nur relativ wenig beeinflußt wird und auch bei voller Störsignalstärke noch 23 cm erreicht werden (geringer Abfall der Kurve), nimmt sie bei den Luftspulenantennen mit zu-

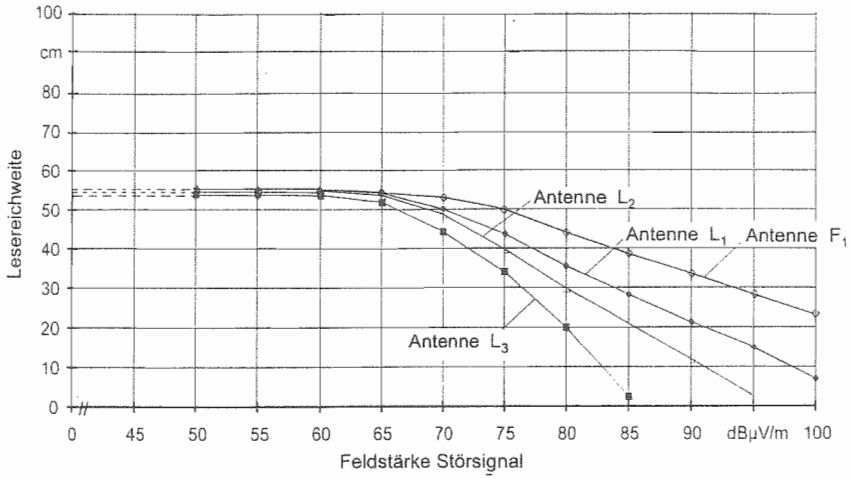


Abb. 24: Lesereichweite verschiedener Antennen in Abhängigkeit vom Störrauschen (Sendeleistung 123 dBµV/m)

nehmender Baugröße stärker ab. So liegt die Reichweite der Ferritantenne bei einer Störsignalstärke von 80 dBµV/m bei etwa 40 cm (Reduktion um 20 %), bei der größten Antenne (L_3) dagegen nur noch bei 20 cm (Reduktion um 60 %).

Da mit zunehmender Entfernung zwischen Transponder und Ausleseantenne auch ein entsprechend schwächeres Erkennungssignal von der Ausleseantenne empfangen wird, kann dieses auch von einem relativ schwachen Störsignal überdeckt werden. Hierbei ist der Abstand zwischen „Stör"- und „Nutzsignal" zu gering (Störabstand unterschritten). Der Knickpunkt der Kurve stellt den Schwellenwert dar, an dem das Störsignal größer als das Nutzsignal ist.

Bei geringer Störsignalstärke führt eine höhere Sendeleistung der Ausleseantenne (L_3) zu einer höheren Lesereichweite, allerdings setzt eine Verringerung der Lesereichweite bereits bei einer geringen Zunahme des Störsignals ein (Abb. 25). Mit zunehmender Störsignalstärke sind keine Unterschiede der Lesereichweite mehr festzustellen (Angleichung der Kurven).

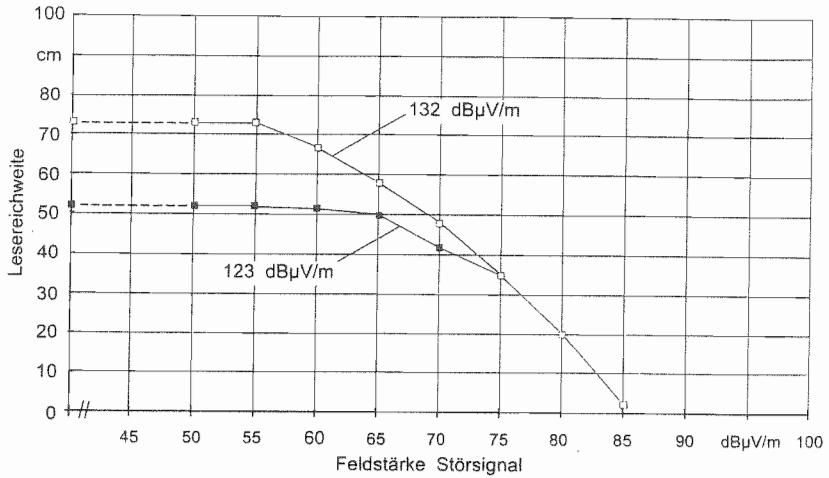


Abb. 25: Lesereichweite der Antenne L_3 in Abhängigkeit vom Störrauschen bei zwei verschiedenen Sendeleistungen

Daraus ist zu folgern, daß die Kompensation eines Störsignals über die Erhöhung der Sendeleistung nur eingeschränkt möglich ist. Bei einem vollen Ausgleich müßte sich die Kurve nach rechts verlagern.

Bei kombinierten Antennen (2 x L_3) ist die Bestimmung der Auswirkung von Störsignalen auf die Lesereichweite nach dem oben durchgeführten Meßverfahren nicht möglich (Kap. 4.2.1). Daher wurde die Veränderung der Breite des Erkennungsbereiches im Abstand von 45 cm (in der Mitte eines Durchgangs) ermittelt. Als Vergleich diente die Einzelantenne L_3. Die Breite ihres Erkennungsbereiches wurde in der gleichen Entfernung gemessen.

Hierbei zeigte sich, daß bei kombinierten Antennen die Empfindlichkeit gegenüber dem Störsignal im Vergleich zur Einzelantenne L_3 geringer ist (Abb. 26). Erst ab einer Stärke von 55 dBµV/m bewirkte das Störsignal eine Reduktion der Breite des Erkennungsbereiches. Dagegen setzte die Verringerung der Breite bei der Einzelantenne bereits bei 45 dBµV/m ein. Dieser Abstand zwischen den Kurven von 10 dBµV/m verringerte sich jedoch zunehmend.

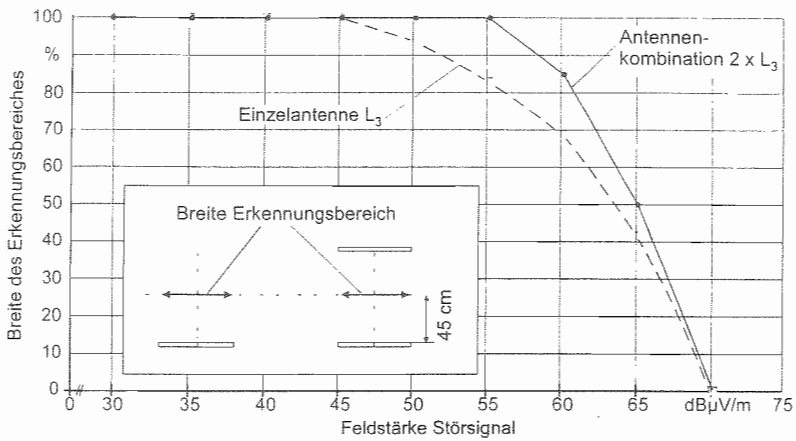


Abb. 26: Auswirkung des Störrauschens auf die Breite des Erkennungsbereiches in 45 cm Entfernung bei kombinierten Antennen (Kombination II, 2 x L_3) und einer Einzelantenne (L_3)

Demnach „reagieren" die kombinierten Antennen erst später auf die Störsignale. Erst bei stärkeren Störsignalen gleichen sich die beiden Kurven wieder an. Eine Ursache hierfür könnte in unterschiedlichen elektromagnetischen Feldern zwischen den kombinierten Antennen liegen, die im Vergleich zur Einzelantenne eine bessere Energieversorgung des Transponders zur Folge haben.

Ein direkter Vergleich dieser Ergebnisse mit denen der weiteren Einzelantennen ist nicht möglich, da sich die Versuchsbedingungen unterscheiden (z. B. 45 cm Abstand zum Transponder). Es ist jedoch im Vergleich mit der Antenne L_3 festzustellen, daß die kombinierten Antennen im Bereich geringerer Störsignalstärke deutliche Vorteile besitzen und in ihrer Empfindlichkeit zwischen den Antennen L_2 und F_1 anzusiedeln sind.

Aufgrund der Ergebnisse kann gesagt werden, daß

- für Einsatzbedingungen, bei denen eine stärkere Beeinträchtigung durch Störsignale zu erwarten ist, eine relativ kleine Antenne ausgewählt werden sollte und
- eine qualitative Bestimmung der Störsignalstärke erfolgen kann, indem bei bekannter Sendeleistung die maximale Lesereichweite als Maß für die Stärke des Störsignals verwendet wird.

Noch ungeklärt ist die Frage, welche Störsignalstärken im relevanten Frequenzbereich von 132 bis 136 kHz in der Praxis auftreten können und welche Streuung dabei vorhanden ist. Erst anhand dieser Daten ist es möglich, die Empfindlichkeit der verschiedenen Antennen hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu beurteilen und die für den jeweiligen Einsatzort geeignete auszuwählen. Schließlich können auch weitere Antennenformen eine unterschiedliche Störsignalempfindlichkeit aufweisen.

4.2.3.4 Auswirkungen eines zweiten Transponders

Die Lesereichweite eines Transponders (Testtransponder) kann durch einen zweiten, ebenfalls im Erkennungsbereich befindlichen Transponder (Störtransponder) verringert werden. Die hier gewählten Beispiele geben zwei Situationen wieder: ein zusätzlicher Transponder kann direkt neben dem ersten zu liegen kommen (Injektion am gleichen Ort) oder auf der gegenüberliegenden Kopfseite injiziert werden. Im ersten Fall befinden sich beide Transponder in einer parallelen, im zweiten Fall in einer axialen Anordnung. Eine rechtwinklige Anordnung beider Transponder zueinander wurde als unwahrscheinlich erachtet und daher nicht untersucht.

Die Auslesung des Testtransponders ist bei paralleler Anordnung des Störtransponders erst ab einem Abstand von > 4 cm möglich (Abb. 27). Danach nimmt die Lesereichweite, mit zunehmendem Abstand beider Transponder voneinander zu. Bei einem Abstand von 13 cm ist keine Beeinflussung durch den Störtransponder mehr festzustellen.

Bei axialer Anordnung (Abb. 28), wenn sich der Störtransponder „hinter" dem Testtransponder befindet, sind nur geringe Auswirkungen auf die Reichweite festzustellen. Bereits bei einem Abstand von > 1 cm ist keine Beeinträchtigung der Signalübertragung des Testtransponders mehr zu verzeichnen.

Für die Reduktion der Lesereichweite ist vermutlich, neben der Überlagerung der Erkennungssignale, auch eine gegenseitige Verstimmung der Schwingkreise der Transponder ausschlaggebend. Während die Verstimmung dann im Vordergrund steht, wenn sich die Transponder sehr nahe kommen, kommt die Überlagerung der Signale eher bei größeren Abständen zueinander zur Geltung.

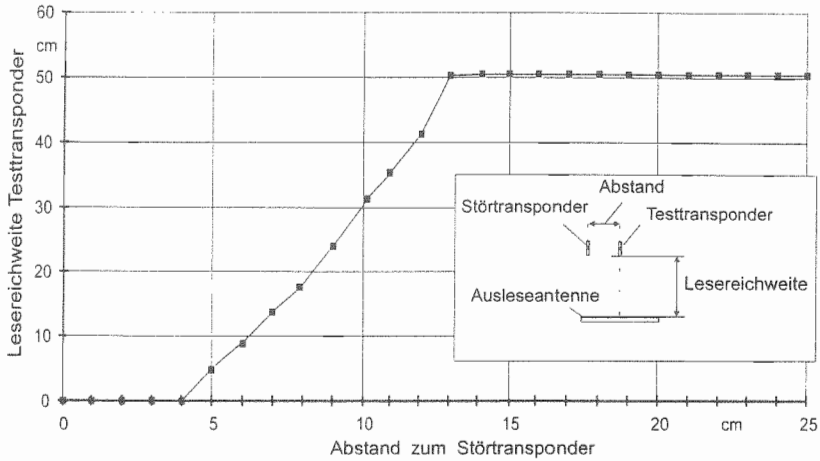


Abb. 27: Beeinflussung der Lesereichweite des Testtransponders durch einen zweiten, parallel angeordneten Störtransponder

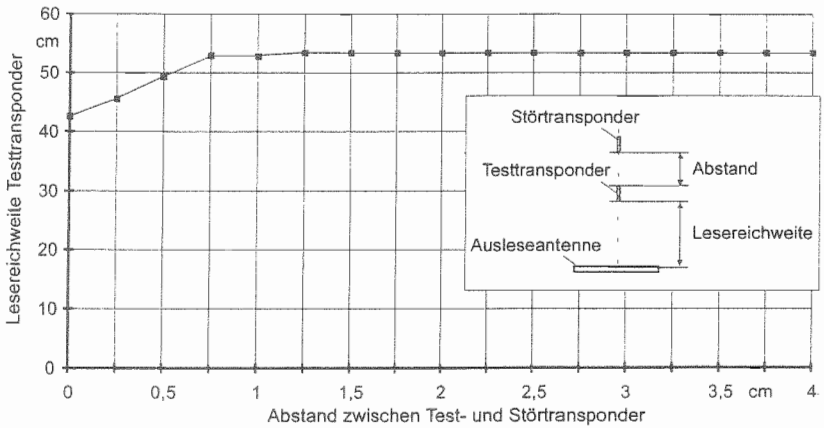


Abb. 28: Beeinflussung der Lesereichweite des Testtransponders durch einen zweiten, axial angeordneten Störtransponder

Beide Resultate verdeutlichen, daß aus der Injektion eines zweiten Transponders in den Tierkörper eine erhebliche Verminderung der Lesereichweite resultieren kann. Diese Ergebnisse gelten jedoch für den ungünstigen Fall, daß beide Injektate noch

funktionsfähig sind. Im Falle, daß einer der Transponder defekt (möglicherweise zerbrochen) ist, wird keine Überlagerung der Signale mehr stattfinden, sondern nur noch die gegenseitige Verstimmung der Schwingkreise zum Tragen kommen. In jedem Fall sollte jedoch ein zweiter Transponder auf der gegenüberliegenden Kopfseite injiziert werden, da so ein größtmöglicher Abstand eingehalten werden kann.

4.2.4 Erkennungsbereiche

Die Erkennungsbereiche dienen dazu abzuschätzen, welche Ausleseantennen dem Bewegungsbereich des Tieres im Stand oder im Durchgang entsprechen. Bisher wurde bei der Ermittlung der maximalen Lesereichweite nur jeweils ein Meßpunkt auf der Antennenachse erfaßt. Durch eine Verbindung weiterer Meßpunkte parallel zu dieser Achse ergeben sich bei jeweils konstanter Orientierung des Transponders (Abb. 14) verschiedene Kurven, die den Erkennungsbereich um die Antenne wiedergeben.

4.2.4.1 Einzelne Antennen

Die Ergebnisse zeigen, daß sich der Erkennungsbereich in Abhängigkeit von der Transponderposition, der Antennengröße und der Sendeleistung verändert (Abb. 29 bis Abb. 33). Die Abbildungen sind nach zunehmender Antennengröße und ihrer Stellung (hochkant, waagerecht) geordnet. Bei der Antenne L_1 können aufgrund ihrer quadratischen Abmessungen (20 x 20 cm) keine unterschiedlichen Stellungen unterschieden werden.

Die Auswirkung der *Orientierung* wird im Beispiel in Abb. 29 deutlich (Antenne L_1, Sendeleistung 123 dBµV/m). Der Erkennungsbereich teilt sich in mehrere Segmente auf. In der 0°-Orientierung des Transponders sind drei Segmente zu unterscheiden, das in der Mitte der Antenne liegende Hauptsegment und zwei kleinere, seitlich angeordnete Nebensegmente.

Bei einer Änderung der Transponderorientierung von 0° auf 45° sind nur noch zwei Segmente vorzufinden, wobei sich das Hauptsegment gegenüber der 0°-Orientierung zur Seite verlagert hat. Eines der Nebensegmente ist „verschwunden", das

andere hat sich ausgedehnt. Beide verbliebenen Segmente, das Haupt- und Nebensegment, sind asymmetrisch angeordnet und liegen mit ihrer maximalen Lesereichweite seitlich von der Antennenachse. Eine weitere Änderung der Transponderorientierung zu 90° ergibt zwar ebenfalls zwei Segmente, diese sind jedoch nun gleich groß und symmetrisch zur Antennenachse angeordnet. Die maximale Lesereichweite liegt nun seitlich von der Antennenachse.

Das Hauptsegment weist in 0°-Orientierung eine Lesereichweite von 53 cm auf, in 45° liegt sie geringfügig darunter (49 cm), während sie in 90° schließlich auf 40 cm abnimmt. Daraus ergibt sich eine Reduktion der Lesereichweite um ca. 25 %.

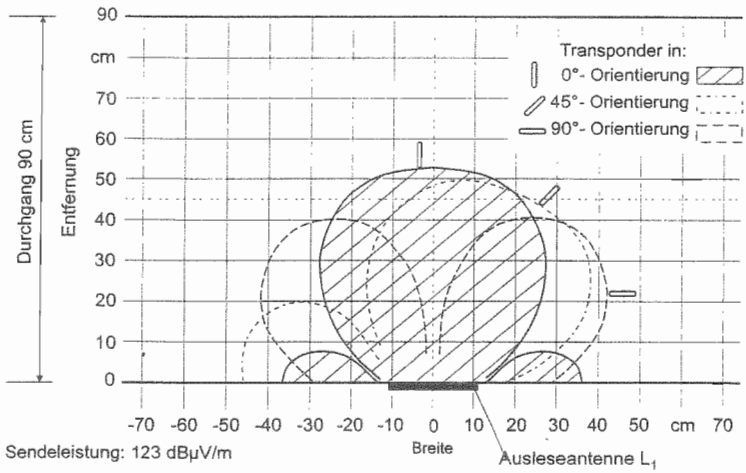


Abb. 29: Erkennungsbereich der Antenne L_1 in 0°, 45° und 90°-Orientierung

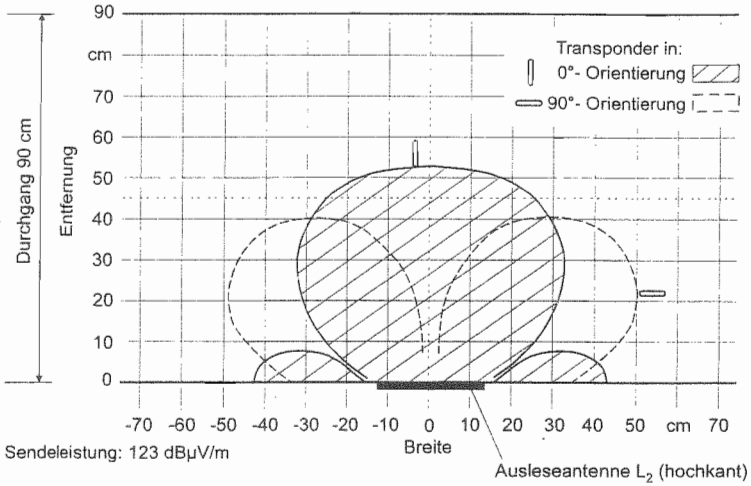


Abb. 30: Erkennungsbereiche der Antenne L_2 in aufrechter Stellung (hochkant) bei 0° und 90°-Orientierung

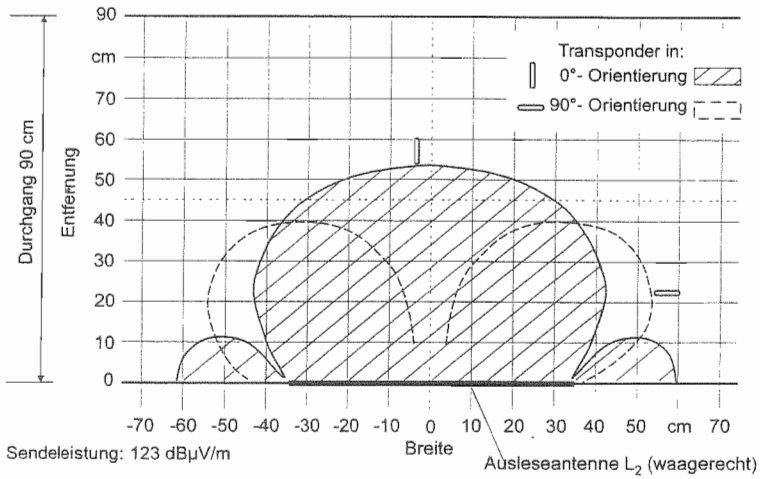


Abb. 31: Erkennungsbereiche der Antenne L_2 in waagerechter Stellung bei 0° und 90°-Orientierung

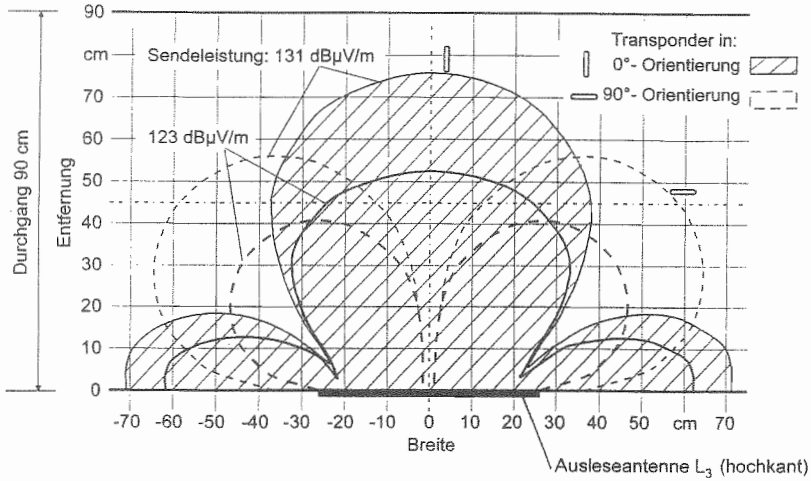


Abb. 32: Erkennungsbereiche der Antenne L_3 in aufrechter Stellung (hochkant) bei 0° und 90°-Orientierung bei verschiedenen Sendeleistungen

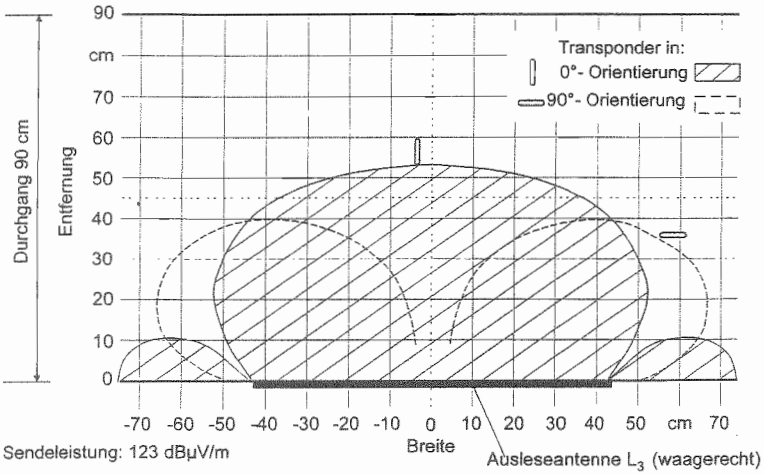


Abb. 33: Erkennungsbereiche der Antenne L_3 in waagerechter Stellung bei 0° und 90°-Orientierung (FLAMMANN (17))

Die *Auswirkung der Antennengröße* auf den Erkennungsbereich zeigt sich im Vergleich der Abb. 29, Abb. 30, Abb. 32 bzw. Abb. 29, Abb. 31, Abb. 33. Die Erkennungsbereiche der Antennen sind einander, bei jeweils gleicher Transponderorientierung und Sendeleistung, in der Aufteilung der Segmente und der maximalen Lesereichweite ähnlich. Als wesentlicher Unterschied ergibt sich eine abweichende seitliche Ausdehnung der Segmente. Die Breite des 0°-Segmentes beträgt bei der Antenne L_1 in 45 cm Entfernung 44 cm (= 2 x 22 cm, Abb. 29). Diese Strecke erweitert sich bei der Antenne L_3 auf bis zu 70 cm (waagerecht, Abb. 33). Die weiteren Erkennungsbereiche sind nach der Antennengröße und der jeweils gewählten Stellung (hochkant oder waagerecht) dazwischen einzuordnen.

Die *Auswirkung der Sendeleistung* geht aus Abb. 32 hervor (Antenne L_3, Sendeleistung 123 und 131 dBµV/m): Die Erhöhung der Sendeleistung führt zu einer symmetrischen Ausweitung des Erkennungsbereiches, die Aufteilung in die verschiedenen Segmente bleibt bestehen.

Für eine sichere Tiererkennung ist es erforderlich, daß der Bewegungsbereich des Tieres (im Stand und im Durchgang) möglichst vollständig abgedeckt wird. Daher gilt es, die jeweils günstigsten Konstellationen der drei genannten Einflußfaktoren Orientierung, Antennengröße und Sendeleistung auszuwählen.

Für die Orientierung des Transponders im Tierkörper und die Anforderung an seine Lagestabilität ergibt sich, daß eine Änderung der Orientierung von 0° um +/- 45° toleriert werden kann, ohne daß ein deutlicher Rückgang der Reichweite zu verzeichnen ist. Gleichzeitig kann mit einer Erhöhung der Sendeleistung eine Ausweitung und mit der Wahl einer größeren Antenne eine Verbreiterung des Erkennungsbereiches erreicht werden. Dabei stellt sich die Frage, ob selbst mit dieser „günstigen" Zusammenstellung eine Abdeckung des Bewegungsraumes erzielt werden kann.

Aus den Darstellungen der Erkennungsbereiche geht hervor, daß im Stand eine Abdeckung des Bewegungsraumes erreicht werden kann. Im Durchgang hingegen, mit einer Breite bis zu 90 cm, wäre dies nur in Verbindung mit einer starken Erhöhung der Sendeleistung möglich. So könnte sich bei einer Sendeleistung von ca. 140 dBµV/m das 0°-Segment soweit ausweiten, daß es eine Durchgangsbreite von 90 cm abdecken würde (siehe Kap. 4.1.2.1). Allerdings sind der beliebigen Steige-

rung der Sendeleistung durch die technische Leistungsfähigkeit der RF-Module, die mögliche Erwärmung der Antennen und vor allem durch die bestehenden gesetzlichen Vorgaben über die maximale Sendeleistung Grenzen gesetzt (123 dBµV/m). Um bei unterschiedlichen Orientierungen der Transponder (Abweichungen über +/- 45°), auch das 90-°-Segment über die gesamte Durchgangsbreite zu schließen, wären ca. 153 dBµV/m erforderlich, was einer knapp zehnfachen Erhöhung der derzeitigen Sendeleistung entspräche (eine Erhöhung um 10 dB entspricht einer Erhöhung der Sendeleistung um den Faktor 3,16).

4.2.4.2 Kombinierte Antennen

In den Untersuchungen zum Erkennungsbereich kombinierter Antennen wurden folgende Varianten berücksichtigt:

- Eine unterschiedliche Richtung der Felder (entgegen- oder gleichgerichtet) sowie
- unterschiedliche Sendeleistungen,
- die wiederum auf beiden Antennen gleich oder unterschiedlich („ungleich") waren.

Bei *gleichgerichteten Feldern*[15] und *gleicher Sendeleistung* (je 123 dBµV/m) bildet sich zwischen den Antennen ein geschlossener Erkennungsbereich für die 0°-Orientierung des Transponders (Abb. 34). Innerhalb dieses 0°-Segmentes wird er in jeder Position entweder auf der ersten, auf der zweiten oder auf beiden Auslese-einheiten gleichzeitig ausgelesen.

Bei der 90°-Orientierung gehen von beiden Antennen nur relativ kleine 90°-Segmente aus und es verbleibt ein großer Bereich zwischen ihnen, der in dieser Orientierung nicht abgedeckt wird. Bei einer höheren Sendeleistung auf beiden Antennen (je 131 dBµV/m) ist ein breiterer Erkennungsbereich für die 0°-Orientierung zu verzeichnen, auch die 90°-Segmente vergrößern sich.

---

15 Überprüfung der Feldrichtung mit Speicheroszilloskop

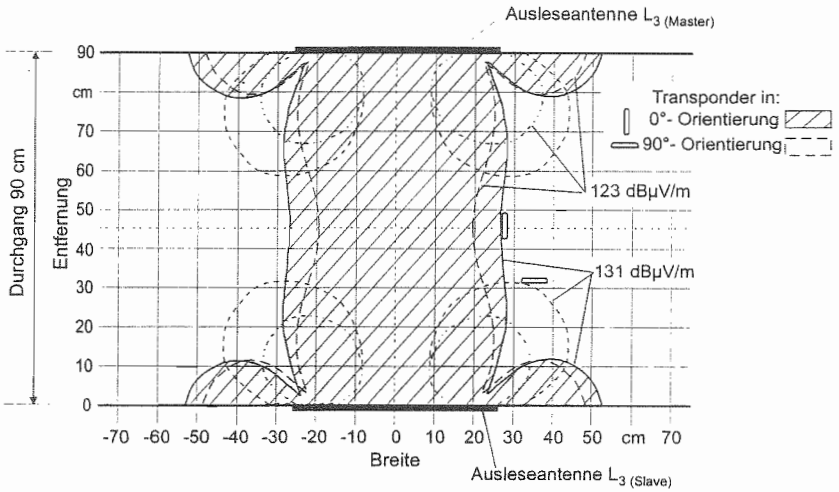


Abb. 34: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) mit gleichgerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (123 bzw. 131 dBµV/m, nach [17])

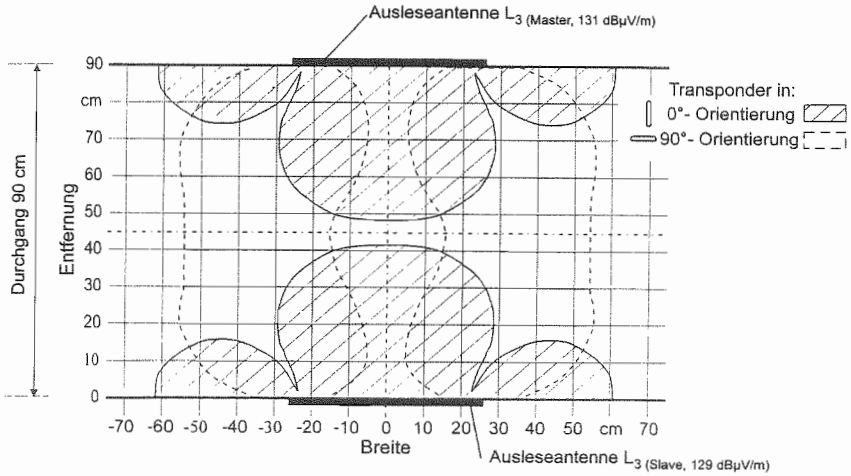


Abb. 35: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) mit entgegengerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (131 dBµV/m)

Im Gegensatz zu den gleichgerichteten Feldern, sind nun bei *entgegengerichteten Feldern* und *gleichen Sendeleistungen* vier getrennte Segmente für 0° vorzufinden, die den Durchgangsbereich zwischen den Antennen nicht mehr abdecken. Allerdings haben sich nun für die 90°-Orientierung zwei geschlossene Segmente gebildet (Abb. 35; eine Variante mit geringerer Sendeleistung als 131 dBµV/m wurde nicht untersucht).

Bei der Einstellung *entgegengerichtete Felder* und *ungleiche Sendeleistung* (129 und 131 dBµV/m) bilden sich sowohl für die 0°- als auch für die 90°-Orientierung geschlossene Segmente (Abb. 36). Dies bedeutet, daß der Transponder auf einer beliebigen Linie zwischen den Antennen unabhängig von seiner Orientierung ausgelesen wird. Daraus ist zu folgern, daß er mit dieser Antennenanpassung auch im Tierkörper unabhängig von seiner Position zur Antenne ausgelesen werden kann.

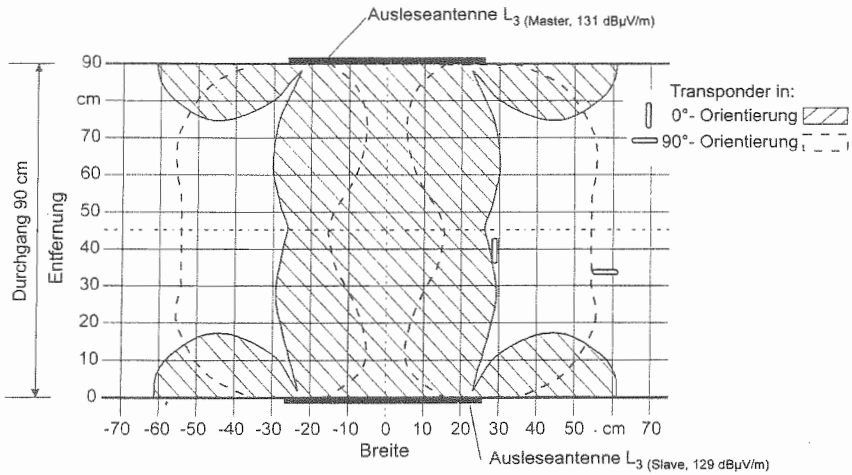


Abb. 36: Erkennungsbereiche für 2 kombinierte Antennen (L_3) bei entgegengesetzten Feldern und ungleicher Sendeleistung auf beiden Seiten (129 und 131 dBµV/m, nach [17])

Der Zusammenschluß beider Segmente ist offensichtlich neben der Richtung der Felder auch davon abhängig, daß sie ein bestimmtes „Kräfteverhältnis" zueinander erreichen (hier: 129 dBµV/m auf der einen, 131 dBµV/m auf der anderen Antenne). Im folgenden wird versucht, anhand von Modellen zum Verlauf von magnetischen

Feldlinien ihre Richtung und das Kräfteverhältnis darzustellen und damit eine Erklärung für die unterschiedlichen Ausbildungen der Erkennungsbereiche (bei einzelnen und bei kombinierten Antennen) zu finden.

In der Literatur werden elektromagnetische Feldlinien als permanente magnetische Feldinien dargestellt, daher wird dies im folgenden beibehalten. Nach KALTENBACH et al. [28] ist bei der Darstellung der Feldlinien um eine Antenne ein Innenfeld und ein Außenfeld zu unterscheiden (Abb. 37, siehe auch Fern- und Nahfeld, Kap. 4.1.3). Während im Innenfeld ein fast paralleler Verlauf der Feldlinien vorzufinden ist, (POHL [40]), sind die Linien im Außenfeld mehr oder weniger stark gekrümmt.

Aus der Ausbreitungscharakteristik der Feldlinien resultieren die unterschiedlichen Erkennungsbereiche um die Ausleseantennen. Dabei kann der Transponder nur dann mit Energie versorgt werden, wenn seine Längsachse in etwa mit dem Verlauf der Feldlinien übereinstimmt (Abb. 37, angedeutete Transponder in verschiedenen Orientierungen). Durch die ständig alternierende Richtung des Feldes (134,2 kHz) wird in seiner Spule (Ferritantenne) ein Strom induziert. Steht der Transponder quer zu den Feldlinien, kann keine Energie übertragen werden. Hinzu kommt, daß die Feldstärke mit zunehmender Entfernung abnimmt, d. h. das Feld eine geringere

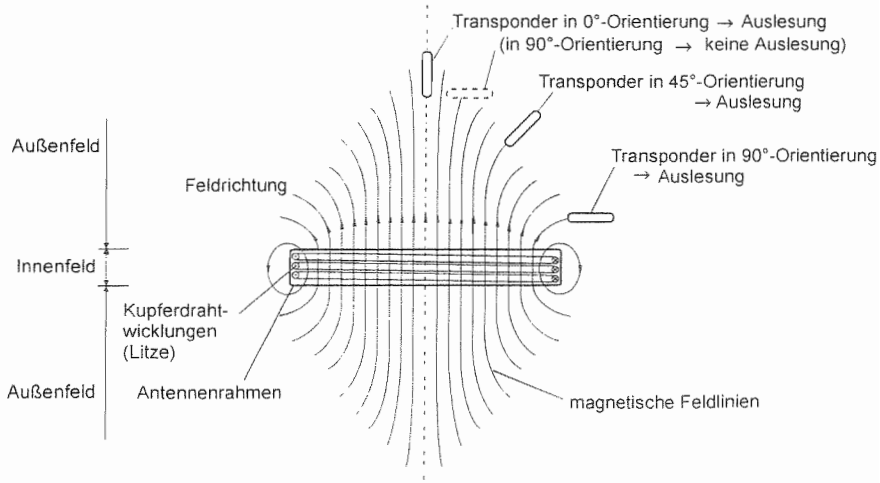


Abb. 37: Verlauf der Feldlinien bei einer Einzelantenne und die Auswirkung auf die Transponderauslesung (nach [55])

„Dichte“ besitzt. Ab einem bestimmten Punkt ist die Feldstärke nicht mehr ausreichend, um den Transponder ausreichend mit Energie zu versorgen, so daß er kein Erkennungssignal mehr zurücksenden kann (Grenzlinie des Erkennungsbereiches).

In der Mitte der Einzelantenne verlaufen die Feldlinien mehr oder weniger gerade, wodurch sich das Segment für die 0°-Orientierung des Transponders ergibt. An den Seiten der Antenne sind die Feldlinien stark seitlich gekrümmt, so daß der Transponder in der 90°-Orientierung ausgelesen wird.

Während der Verlauf der Feldlinien bei einzelnen Antennen einfach nachzuvollziehen ist, ergeben sich, den unterschiedlichen Erkennungsbereichen nach zu schließen, für die kombinierten Antennen komplexere Bilder.

Bei den kombinierten Antennen mit *gleichgerichteten Feldern* und *gleicher Sendeleistung* ist anzunehmen, daß sich die Feldlinien zwischen den Antennen parallel ausrichten (Abb. 38) wobei das Prinzip nach Helmholtz zur Erzeugung eines homogenen elektromagnetischen Feldes gilt (POHL [40]). Sie ermöglichen eine gleichmäßige Energieversorgung des Transponders im gesamten Bereich zwischen den Antennen, was der beobachteten, durchgehenden Auslesung in der 0°-Orientierung entspricht (siehe Abb. 34).

Bei kombinierten Antennen mit *entgegengerichteten Feldern* und *gleicher Sendeleistung* stoßen sich die Felder gegenseitig ab (Abb. 39) und treten zur Seite hin aus. Aus diesem Grund können die Transponder in der 90°-Orientierung in einem Segment rechts und links von der gemeinsamen Achse der Antennen ausgelesen werden (siehe Abb. 35). Aufgrund der geringen „Dichte“ der Feldlinien in der Mitte können die Transponder dort weder in der 0°- noch in der 90°-Orientierung ausgelesen werden.

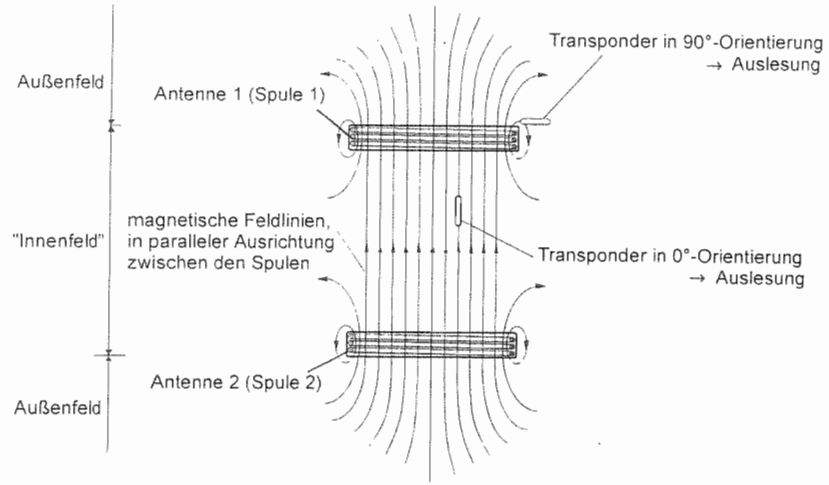


Abb. 38: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit gleichgerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung (Helmholtz-Spulenanordnung, nach POHL [40])

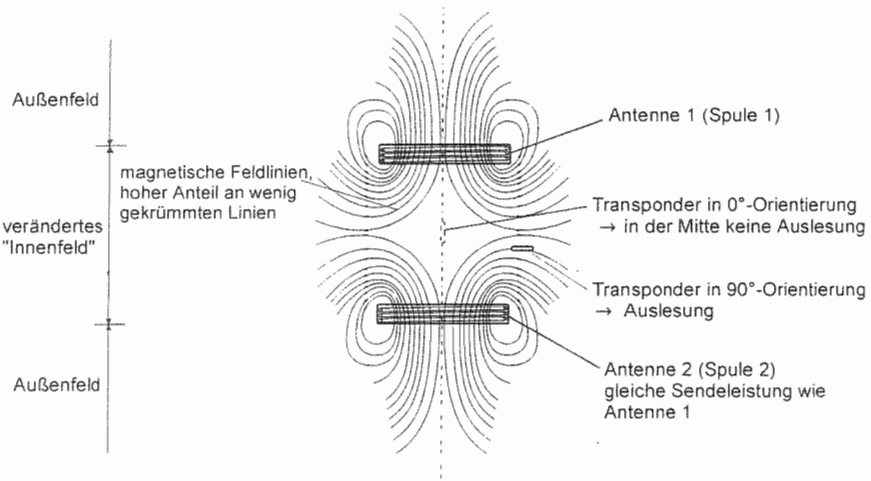


Abb. 39: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung

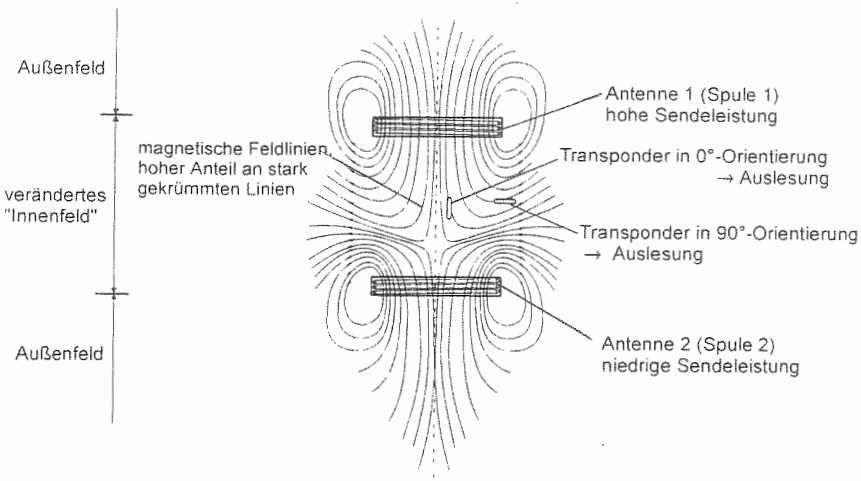


Abb. 40: Möglicher Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und ungleicher Sendeleistung

Für die Ausbildung geschlossener Segmente in der 0°- und der 90°-Orientierung bei kombinierten Antennen mit *entgegengesetzten Feldern* und *ungleicher Sendeleistung* liegt eine andere Verteilung der Feldlinien vor, bei der das stärkere Feld das schwächere „zusammenschiebt" (Abb. 40, siehe Abb. 36). Eine mögliche Ursache für die geschlossenen Segmente könnte im unterschiedlichen Anteil an Feldlinien in 0°, 45° und 90° zur Antennenachse liegen (Abb. 41): Während bei den Feldern mit gleicher Stärke der Anteil der Linien, die einen 0°- oder 90°- Verlauf aufwiesen, relativ gering ist, knicken die Linien durch das „Zusammenschieben" stärker ab. Hierdurch ist der Anteil an Feldlinien in 45° reduziert, derjenige der 0°- und 90°-Linien erhöht. Gleichzeitig weichen sie in der Mitte zwischen den Antennen erst zu einem späteren Zeitpunkt voneinander ab, so daß ihre „Dichte" in diesem Bereich insgesamt höher ist. Dies würde erklären, weshalb die Transponder im gesamten Innenbereich der Antennen sowohl in der 0°-Orientierung als auch in der 90°-Orientierung ausgelesen werden.

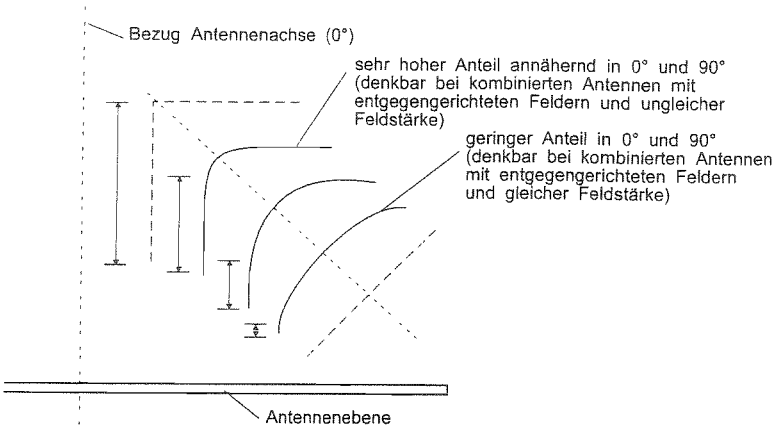


Abb. 41: Ergänzende Darstellung zum Verlauf der Feldlinien bei kombinierten Antennen mit entgegengerichteten Feldern und ungleicher Sendeleistung

Eine endgültige Überprüfung der Modelle zum Verlauf der Feldlinien kann hier nicht erbracht werden. Um die Vorgänge nachzuvollziehen, wäre die Bestimmung der magnetischen Feldstärke an einzelnen Punkten auf einer Fläche zwischen den Antennen notwendig, oder die Darstellung von permanenten Magnetfeldern.

Das dargestellte Modell bietet allerdings eine schlüssige Erklärung der erzielten Ergebnisse. Es ist zwar auch denkbar, daß die „orientierungunabhängige" Auslesung der Transponder durch eine starke Verwirbelung der Linien ermöglicht wird, dem widerspräche jedoch die streng geometrische Anordnung der Segmente.

Neben dem Einsatz der bisher genannten Antennenkombinationen sind auch weitere Varianten denkbar, mit deren Hilfe eine vollständige Abdeckung des Durchgangsbereiches möglich wäre.

- Dabei ist vor allem die Möglichkeit des seitlichen Versatzes von zwei Antennen zu nennen. Es ist anzunehmen, daß sich die Felder aneinander „vorbeischieben" und aufgrund der Schrägstellung der Feldlinien eine Auslesung der Transponder in 0°- und 90° erlauben. Allerdings ist davon auszugehen, daß in diesem Fall nur eine

der beiden möglichen 45°-Orientierungen mit erfaßt wird und folglich ein Segment fehlt.

- Als weitere Möglichkeit ist das sogenannte „Multiplexen", d. h. das abwechselnde Pulsen beider Antennen zu nennen. Der Vorteil läge hierbei in der Einsparung einer zweiten Ausleseelektronik, da zwischen den Antennen ständig hin- und hergeschaltet wird. Allerdings wäre damit auch eine Verringerung (Halbierung) der maximalen Lesegeschwindigkeit verbunden.
- Zu erwähnen ist auch die Verwendung eines sogenannten Drehfeldes, bei dem ebenfalls eine weitere Orientierung (0° und 90°) mit abgedeckt wird. Allerdings ist die Erzeugung eines solchen Feldes mit einem hohen technischen Aufwand verbunden.
- Schließlich könnten für die Abgabe des Aktivierungssignals und den Empfang des Erkennungssignals auch getrennte Antennen verwendet werden. Diese Kombination würde zwar zu einem höheren technischen Aufwand führen, sie ließe jedoch eine starke Verminderung der Empfindlichkeit gegenüber Störfeldern und eine Veränderung der Felder erwarten. Durch große Antennen könnte eine hohe Energiezufuhr erreicht werden, durch kleinere Leseantennen eine nur geringe Aufnahme von Störsignalen (siehe Kap. 4.2.1.4).

4.2.5 Lesegeschwindigkeit

In den Versuchen zur Lesegeschwindigkeit wurde die Erkennung von Tieren simuliert, die an einer Ausleseantenne vorbeilaufen. Dabei galt es zu untersuchen, ob und mit welchen Antennen bzw. Einstellungen eine möglichst hohe Erkennungssicherheit erreicht werden kann. Je höher die Anzahl an empfangenen Signalen pro Durchgang, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, daß „Nichterkennungen" auftreten. Aus diesem Grund wurde die Anzahl der empfangenen/nicht empfangenen Erkennungssignale pro Durchgang registriert.

4.2.5.1 Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und Orientierung der Transponder

Der bei allen drei Antennenvarianten festzustellende Rückgang der Anzahl der empfangenen Erkennungssignale mit zunehmender Transpondergeschwindigkeit

läßt sich mit einer Exponentialfunktion beschreiben (Abb. 42, 43, 44; Berechnungen [35]). Bei den gegebenen Versuchsbedingungen (0°-, 45°- und 90°-Orientierung, Entfernung 45 cm, Sendeleistung 131 dBµV/m bzw. 129/131 dBµV/m, Ladezeit 50 ms) wurden bis auf eine Ausnahme (Antennenkombination I in 90°-Orientierung) mit jeder der drei Antennen alle Transponder ausgelesen. Dabei verringerte sich auch die Streubreite mit zunehmender Geschwindigkeit (Tab. A6 bis Tab. A8).

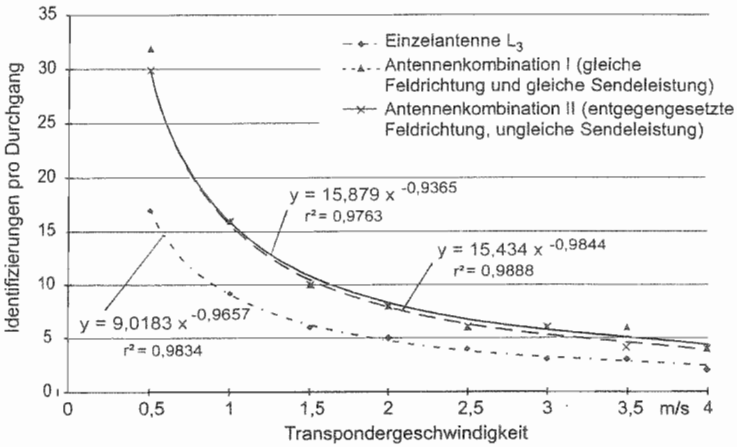


Abb. 42: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*0°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; FLAMMANN [17])

Mit der *Einzelantenne* wurden in 0°-Orientierung bei der geringsten Geschwindigkeit 16 bis 18, bei der höchsten Geschwindigkeit noch 2 bis 3 Erkennungssignale empfangen. Mit der 45°-Orientierung stieg die Anzahl der Auslesungen auf 20 bis 27, die geringste lag wiederum bei 2 bis 3. In der 90°-Orientierung ist im geringeren Geschwindigkeitsbereich keine Steigerung mehr zu verzeichnen (21 bis 26 Signale), dagegen wurden im Bereich 4 m/s nun 3 bis 4 Auslesungen erreicht. Die Abweichung der Werte vom Median ist im gesamten Geschwindigkeitsbereich und bei allen verschiedenen Orientierungen gering und liegt bei +/- 4 Auslesungen pro Durchgang.

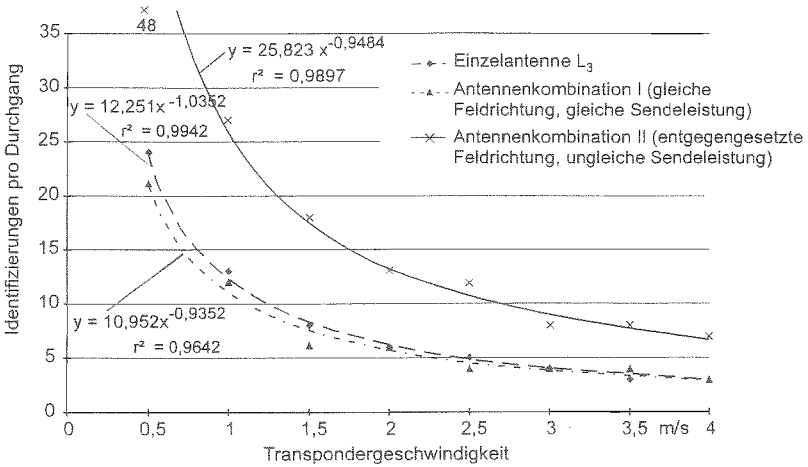


Abb. 43: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*45°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; [17])

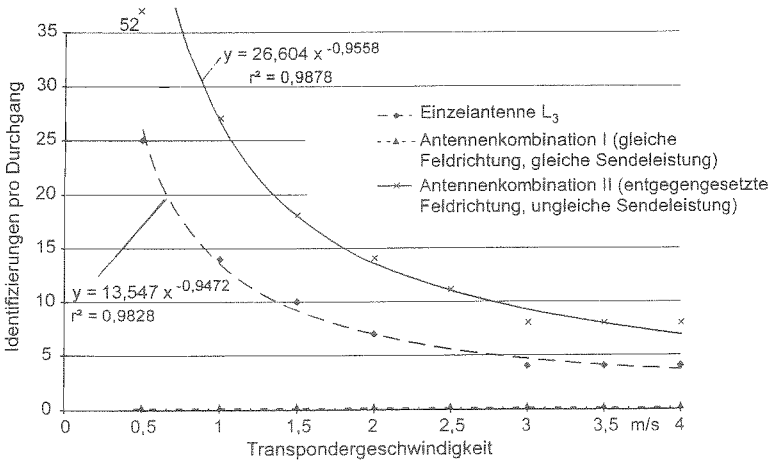


Abb. 44: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (*90°-Orientierung*, 50 ms Ladezeit, n = 50; [17])

Bei der *Antennenkombination I* (gleichgerichtete Felder und gleiche Sendeleistung) lag die maximale Anzahl der Auslesungen bei der 0°-Orientierung bei 30 bis 34, im hohen Geschwindigkeitsbereich bei 4 Signalen. Mit der Änderung auf 45° verringerte sich die Anzahl auf 20 bis 26, bzw. 2 bis 4 Auslesungen und lag somit auf dem Niveau der Einzelantenne. In 90° war im gesamten Geschwindigkeitsbereich keine Auslesung der Transponder möglich. Bei den anderen Orientierungen lagen die Abweichungen bei maximal +/- 4 Auslesungen.

Mit der *Antennenkombination II* (entgegengerichtete Felder und ungleiche Sendeleistung) wurden auch bei hoher Geschwindigkeit und 90°-Orientierung mindestens 3 Auslesungen pro Durchgang und Transponder erzielt. Die Anzahl der empfangenen Erkennungssignale lag damit doppelt so hoch wie bei der Einzelantenne. Auch die Abweichungen waren im Vergleich zur Antennenkombination I mit bis zu +/- 8 Identifizierungen pro Durchgang deutlich höher, allerdings nur im Bereich geringer Geschwindigkeiten.

4.2.5.2 Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Transponder und der Ladezeit

Um festzustellen, wie sich die Anzahl der Identifizierungen im Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit ändert, wurden drei verschiedene Stufen der Ladezeit ausgewählt (10, 30 und 50 ms). Darüber hinaus war von Interesse, ob zwischen den verschiedenen Antennenformen Unterschiede auftreten, d. h. ob sie in gleicher Weise auf verschiedene Ladezeiten „reagieren" oder nicht. Die Orientierung von 0° wurde in allen Versuchen beibehalten.

Die Ergebnisse zeigen, daß sich bei einer Ladezeit von 30 ms bei allen drei Antennenvarianten die höchste Anzahl an Identifizierungen ergibt (Abb. 45, 46, 47; Tab. A9 bis Tab. A11). Allerdings sind die Abstände zwischen den Kurven unterschiedlich. Bei der Einzelantenne sind die Unterschiede zwischen den drei Ladezeiten am geringsten. Bei der Antennenkombination I liegen die Kurven für 10 und 50 ms Ladezeit sehr nahe beieinander, bei der Antennenkombination II sind die größten Abstände zwischen den Kurven gegeben.

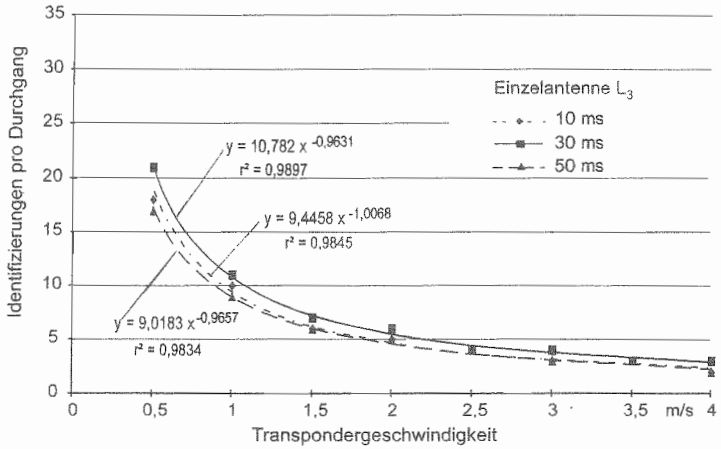


Abb. 45: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Einzelantenne L_3*, n = 50; [17])

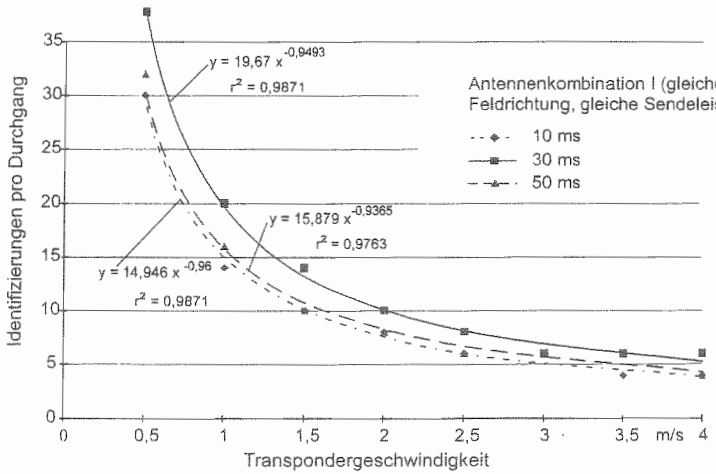


Abb. 46: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Antennenkombination I*, n = 50; [17])

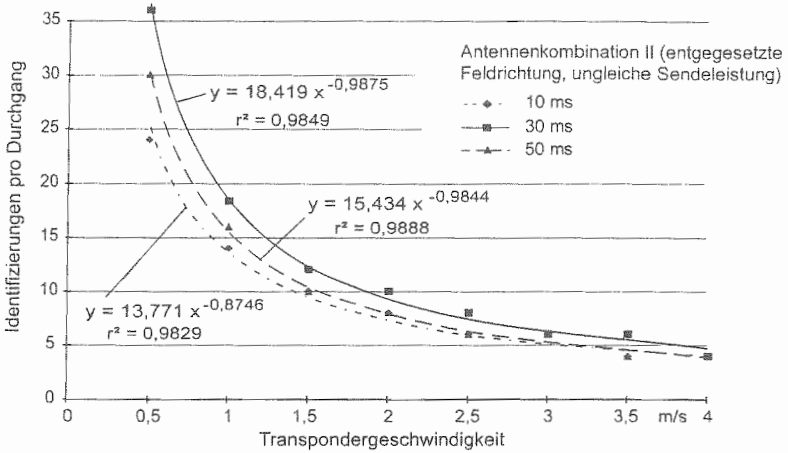


Abb. 47: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Transpondergeschwindigkeit und der Ladezeit (0°-Orientierung, *Antennenkombination II*, n = 50; [17])

Die Ladezeit beeinflußt sowohl die Lesereichweite (Kap. 4.3.2.3), als auch die Anzahl der Auslesungen pro Durchgang. Dabei hat zunächst eine höhere Ladezeit auch eine stärkere Aufladung des Transponders zur Folge, so daß dieser sein Erkennungssignal über eine größere Distanz hinweg abgeben kann. Auf die Anzahl an Signalen pro Durchgang - und damit auf die mögliche Lesegeschwindigkeit - wirkt sich dies jedoch negativ aus. Da die Gesamtzeit, die zur Auslesung des bewegten Transponders vor der Antenne zur Verfügung steht, mit zunehmender Geschwindigkeit geringer wird, führt eine längere Ladezeit zu einer geringeren Anzahl empfangener Signale.

Vom Hersteller des hier untersuchten Identifizierungssystems [56] wird eine Ladezeit von 50 ms empfohlen, weil dabei die Lesereichweite ein Maximum erreicht (siehe Kap. 4.2.3.2). Auch in ISO/DIS 11785 [24] wird eine Ladezeit von 50 ms festgeschrieben. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist jedoch eine geringere Ladezeit, etwa zwischen 30 und 40 ms, zu fordern. Der Rückgang der Lesereichweite wäre in diesem Falle schätzungsweise gering (ca. 2 %), der Gewinn an Lesesicherheit durch eine kürzere Auslesezeit im Durchgang relativ hoch (ca. 22 %).

Der Transponder gelangt zu einem zufälligen Zeitpunkt in den Erkennungsbereich. Im günstigen Fall gibt die Ausleseantenne gerade beim Eintritt des Transponders in den Erkennungsbereich ein Aktivierungssignal ab, er wird sofort geladen und kann das Erkennungssignal zurückgeben (siehe Abb. 10). Im ungünstigen Fall dagegen wird das Aktivierungssignal gerade dann abgeschaltet, wenn der Transponder in den Erkennungsbereich eintritt. Der Transponder muß auf den nächsten Abfragezyklus „warten". Demnach ist erst ab zwei Auslesungen pro Durchgang im Laborversuch eine „sichere Erkennung" möglich (Empfang von 1 - 2 anstatt 0 - 1 Signalen).

4.3 Beurteilung der verschiedenen Antennen für ihre Einsatzfähigkeit im Stand und im Durchgang

Aufgrund der im Labor konstant gehaltenen Versuchsbedingungen ist eine vergleichende Einordnung der verschiedenen Antennen möglich (Tab. 7). Die wichtigsten Eigenschaften und die daraus resultierenden Eignungen der Antennen für die Einsatzbereiche „Erkennung im Stand" und „Erkennung im Durchgang" sollen im folgenden diskutiert werden.

Tab. 7: Einordnung der verschiedenen Ausleseantennen

Antennen **Eigenschaften**	F_1	L_1	L_2	L_3	$2 \times L_3$ (I)	$2 \times L_3$ (II)
Toleranz gegenüber Störsignalen	++++	+++	++	+	+	+++
Abdeckung des Bewegungsraumes						
0°	n.u.	+	++	+++	++++	++++
45°		+	++	+++	+++	++++
90		-	+	++	-	++++
Lesegeschwindigkeit im Durchgang						
0°	n.u.	n.u.	n.u.	+++	+++	++++
45°				++	++	++++
90				++	-	++++
Einsatzmöglichkeiten						
Stand	(++) n.u.	++	++	+	+	+
Durchgang	-	-	(+)	++	++	++++

- ungünstig, ungeeignet; + gering, wenig geeignet; ++ ausreichend geeignet; +++ gut geeignet, ++++ sehr gut, für besonders schwierige Bedingungen geeignet; n.u.: nicht untersucht

Toleranz gegenüber Störsignalen

Die geringste Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störsignalen besitzt die Ferritantenne (F_1, Abb. 11). Mit zunehmender Größe der Rahmenantennen nimmt die Empfindlichkeit zu. Kombinierte Antennen mit gleichgerichteten Feldern und gleichen Sendeleistungen (Antennenkombination I) weisen ein ähnliches Niveau auf wie die Einzelantenne L_3. Bei entgegengerichteten Feldern ist eine geringere Empfindlichkeit vorzufinden.

Abdeckung des Bewegungsraumes

Es ist davon auszugehen, daß bei der vorgegebenen Sendeleistung (123 dBµV/m) weder mit Einzelantennen noch mit kombinierten Antennen eine zuverlässige Erkennung im Durchgang möglich ist, da der Erkennungsbereich nur eine geringe Ausdehnung besitzt und daher bereits ein geringfügiges seitliches Ausweichen des Tieres zum Ausbleiben der Signalübertragung führt. Es stellt sich die Frage, mit welcher geringstmöglichen Erhöhung der Sendeleistung die gewünschte Abdeckung erreicht werden kann.

Um eine vollständige Abdeckung der gesamten Durchgangsbreite für die 0°- und 90°-Orientierung auch mit einer Einzelantenne zu erreichen, müßte ihre maximale Reichweite bei der 0°-Orientierung mindestens 120 cm betragen. Die Sendeleistung läge dann bei ca. 153 dBµV/m (Kap. 4.2.1.2). Der Vorteil der kombinierten Antennen (II) gegenüber der Einzelantenne liegt folglich darin, daß mit einer relativ geringeren Erhöhung der Sendeleistung (123 auf 129/131 dBµV/m) eine volle Abdeckung des Durchgangs auch für die 90°-Orientierung erreichbar und dabei keine spezielle Ausleseelektronik (stärkeres RF-Modul) erforderlich ist.

Lesegeschwindigkeit

Die Ergebnisse zur Lesegeschwindigkeit zeigten, daß die Erkennung von Transpondern im Durchgang bei höherer Sendeleistung (131 anstatt 123 dBµV/m) auch mit einer Einzelantenne möglich ist. Die alleinige Beurteilung der Tauglichkeit von Einzelantennen für die Praxis ist jedoch anhand der Laborversuche nicht möglich, da der Transponder bei einer Einzelantenne im Durchgang nur einen geringen Teil des Erkennungsbereiches „streift". Es stellt sich die Frage, wie weit er mit zunehmender Geschwindigkeit in den Erkennungsbereich „hineintauchen" muß, um noch mindestens zwei Auslesungen pro Durchgang zu erreichen. Sicherlich liegt dieser *effektive Leseabstand* weiter innerhalb des bisher ermittelten Erkennungsbereiches. Damit

wäre der im Laborversuch ermittelte Erkennungsbereich nur scheinbar ausreichend groß.

Einsatzmöglichkeiten im Stand und im Durchgang

Ein stehendes Tier, dessen Transponder sich im Umkreis von ca. 40 cm zur Antenne befindet, kann unter den bestehenden Richtlinien für die Sendeleistung mit allen untersuchten Antennen sicher erkannt werden. Aus Gründen des Platzbedarfes, der geringeren Empfindlichkeit gegenüber Störsignalen, aber auch aus Kostengründen sind die *kleineren Einzelantennen für die Erkennung im Stand ausreichend* (Tab. 6).

Aufgrund des größeren Bewegungsraumes der Tiere und der höheren Anforderung an die Lesereichweite sind für den *Durchgang kombinierte Antennen erforderlich.* Der Hauptgrund für eine bessere Beurteilung der kombinierten Antennen liegt darin, daß ein seitliches Ausweichen des Tieres und / oder eine Umorientierung des Transponders für die Auslesung nicht mehr von Belang ist.

Als wesentlicher Nachteil der kombinierten Antennen ist der hohe technische Aufwand (zwei anstatt einer Erkennungseinheit) und die damit verbundenen höheren Kosten zu nennen. Sollen größere Einzelantennen im Durchgang verwendet werden, so ist es offen, in wieweit eine Ausnutzung der Leistungsreserven (Sendeleistung, Anpassung der Ladezeit und Stabilisierung der Transponderorientierung im Tier) ausreichend sind. Ferner ist zu untersuchen, ob andere Antennenanpassungen für eine sichere Erkennung ausreichen. Schließlich, da die „wirklichen" Bewegungen des Transponders zur Antenne mit dem Tier weit stärker als im Laborversuch variieren können, ist die Überprüfung der Erkennungssicherheit mit Einzelantennen und kombinierten Antennen in der Praxis notwendig (Kap. 6.2).

5. Versuche zum Verhalten injizierter Transponder im Tierkörper

Aus den technischen Laborversuchen geht hervor, daß die Transponderorientierung einen starken Einfluß auf die Erkennungssicherheit besitzt. Neben der Erkennungssicherheit kann sich die Transponderlage im Tier jedoch auch auf die Tiergesundheit, die allgemeine Funktionsfähigkeit des Transponders (Verlust oder Defekt) und die Möglichkeit der Entnahme aus dem Schlachtkörper auswirken.

Es gilt daher - unter weitgehend kontrollierten Bedingungen in der Praxis - zu untersuchen, wie groß die Migration des Transponders vom Injektionsort jeweils aus der Sicht der Erkennung, der Gewebeverträglichkeit und der Entnahme sein darf. Aus der Kenntnis einzelner Einflußfaktoren ist es möglich, Aussagen zu treffen, mit welchen Maßnahmen Lageveränderungen minimiert werden können. Die eigentliche „Praxistauglichkeit" wird erst in den späteren Einsatzuntersuchungen (Kap. 6) überprüft und mit den Ergebnissen der vorhergehenden Versuchsabschnitte verglichen.

5.1 Material und Methoden

Die Versuche zum Verhalten der Transponder im Tierkörper sind in zwei Teile untergliedert. Im ersten Teil wird durch die Injektion von Transpondern in Kälber post mortem (bzw. in Gewebeproben) geklärt,

- ab welchem Mindestalter des Kalbes eine Injektion am Scutulum möglich ist, d. h. in welchem Wachstumstadium ein ausreichender Raum für das Injektat zwischen dem Knorpel und dem Schädelknochen gegeben ist und wie die Injektion gegebenenfalls angepaßt werden muß. Für die praktische Durchführung der Entnahme im Schlachthof gilt es, einen Bereich zu definieren, im dem der Transponder sich befindet, damit ein zügiges Herausschneiden möglich ist. Schließlich dienen die Untersuchungen dazu, bei der Bestimmung von Lageveränderungen des Transponders seine „Ausgangslage" direkt nach der Injektion festzustellen. Die Ausgangslage wird in den Versuchen mit lebenden Kälbern mit der „Endlage" verglichen, um daraus eine zurückgelegte Wegstrecke zu bestimmen.

- Es gilt ferner zu untersuchen, ob sich in Abhängigkeit von der Oberfläche des Transponders eine unterschiedliche Haftung an der Innenfläche des Einstichka-

nals ergibt. Aus dem Vergleich verschiedener Transponderoberflächen kann die Verlustgefahr durch Wiederaustritt des Injektates aus dem Einstichkanal beurteilt und möglicherweise minimiert werden (siehe Kap. 2.2).

Im zweiten Teil wird an lebenden Kälbern untersucht,

- ob sich die Lage des Transponders im Tierkörper in Abhängigkeit von der Altersstufe bei der Injektion, der Transpondergröße und der Oberflächenart verändert und welches Ausmaß diese Veränderungen annehmen können. Im Hinblick auf die Tierverträglichkeit wird der Heilungsverlauf beobachtet. Um mögliche Veränderungen des umliegenden Gewebes zu dokumentieren, werden nach der Schlachtung der Kälber Gewebeproben entnommen und hinsichtlich Entzündungsreaktionen mikroskopisch untersucht.

Bevor der eigentliche Versuchsaufbau beschrieben wird, sollen zunächst die verwendeten Transponder, das Injektionsverfahren und das Verfahren zur Bestimmung der Transponderlage dargestellt werden.

5.1.1 Transponder

Die Transponder werden nach ihrer Baugröße und der Oberflächenbehandlung unterschieden (Abb. 48). Transponder mit 32 mm Länge (32,5 x 3,8 mm) und glatter Glasoberfläche werden im folgenden auch als Standardtransponder bezeichnet. Das bereits in den technischen Laborversuchen verwendete TIRIS-System umfaßte außerdem die Transponder mit Abmessungen von 23 x 3,8 mm. Da von diesem System keine kleineren Transponder als 23 x 3,8 mm verfügbar waren, wurde ein weiteres System der Firma Trovan mit den Abmessungen 12 x 2,2 mm verwendet[16]. Im folgenden wird bei Größenangaben nur die Länge genannt.

Bei der Transponderoberfläche sind vier Varianten zu unterscheiden, eine glatte und eine angerauhte Glasoberfläche sowie zwei Kunststoffbeschichtungen.

---

[16] Transponder mit 12 mm Länge und 2,2 mm Dicke; Vertrieb/ Hersteller: Fa. Anitech, Produkt Trovan/EURO-ID, Hoeltsch 8, Deindrup / Vechta

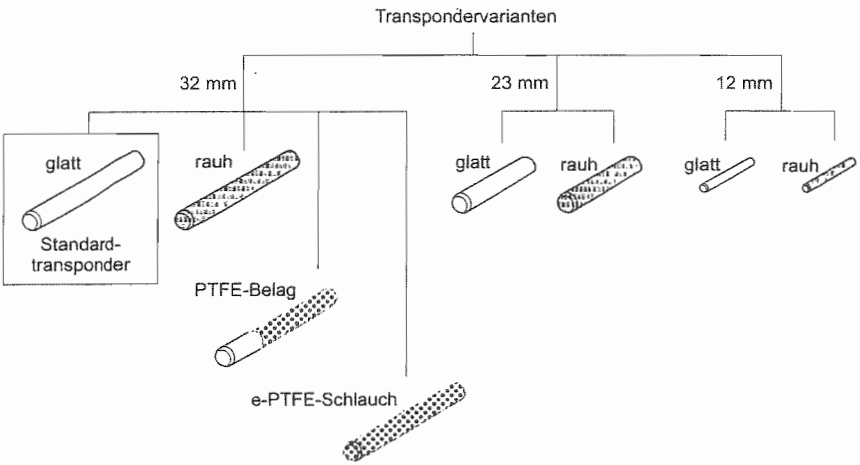


Abb. 48: Transpondervarianten

Die Oberfläche der *glatten Transponder* war nach Angaben des Glasherstellers[17] durch eine Flammenbehandlung poliert worden, wodurch feine Risse und Unebenheiten auf der Glasoberfläche verschmolzen und geglättet werden. Für die Versuche mit diesen Transpondern wurde keine weitere Behandlung durchgeführt.

Die *rauhen Transponder* wurden für 2 Minuten in ein Bad mit 15-prozentiger Flußsäure getaucht und erhielten dadurch eine etwa vierfach rauhere Oberfläche als die feuerpolierten Transponder (keine genaueren Angaben vom Hersteller verfügbar). Auf eine stärkere Anrauhung wurde verzichtet, weil dadurch die Dicke des Glases vermindert und bereits vorhandene Mikrorisse weiter vertieft worden wären. Hieraus hätte eine starke Verringerung der Bruchfestigkeit resultiert.

Die beiden zusätzlichen Beschichtungen der Transponder bestanden aus einem Kunststoff mit einer mikroporösen Oberflächenstruktur (Poly-Tetra-Fluor-Ethylen, PTFE). Dieses Material wird auch in der Humanmedizin für Implantate verwendet (STOLTZ [53], BOYCE [7]).

---

[17] Anfertigung durch die Firma Schott Glaswerke, Christoph-Dorner-Str. 29, 84028 Landshut

- In der ersten Beschichtung wurde der Transponder zu ¾ seiner Länge in den verflüssigten Kunststoff eingetaucht, so daß eine direkte Verbindung mit dem Glas bestand. Das anschließend verfestigte Material besaß eine unregelmäßige Porenstruktur mit einer Weite von 5 bis 30 µm („PTFE-Belag"[18]).
- In der zweiten Beschichtung wurde der Transponder mit einem „gereckten", sogenannten e-PTFE (expanded-PTFE, unverändertes Material für Gefäßersatz aus der Humanmedizin) überzogen, das eine einheitliche Porengröße von etwa 30 µm besaß. Das schlauchförmige Material wurde an beiden Enden des Transponders verschweißt. Es bestand demnach keine direkte Verbindung zwischen Glas und Kunststoff („PTFE-Schlauch").

5.1.2 Injektionsverfahren

Die Injektion der Transponder mit 32 und 23 mm Länge erfolgte mit einem Mehrfachinjektionsgerät (Abb. 49). Dieses Gerät nimmt ein Magazin mit je 10 Transpondern auf. Jedes Injektat ist einzeln in einer Kammer gelagert und von einem Desinfektionsmittel (Betadine® [56]) umgeben. Die beschichteten Transponder waren einzeln verpackt und durch Autoklavieren (2 Stunden bei 120 °C) sterilisiert worden. Sie wurden beim Einsetzen in die Hohlnadel ebenfalls mit dem Desinfektionsmittel Betadine® versehen. Für die Injektion der 12 mm langen Transponder wurde ein Einzelinjektionsgerät verwendet, wobei sich jedoch das Prinzip der Transponderablage nicht von dem des Mehrfachinjektionsgerätes unterschied.

Wesentlich ist bei der Injektion, daß ein Ausschiebedorn den Transponder während des Zurückziehens der Hohlnadel in einer vorgegebenen Position hält, so daß dieser am Ende des Stichkanals „abgelegt" und nicht „hineingedrückt" wird (Abb. 50). Die Einstichtiefe der Hohlnadel beträgt 42 mm (Außendurchmesser 4,8 mm), so daß der Transponder (32 mm) mit einer Gewebeüberdeckung von ca. 10 mm abgelegt wird.

---

18 Anfertigung durch die Fa. Gore and Associates GmbH, Hermann-Oberth-Straße 24, 85640 Putzbrunn

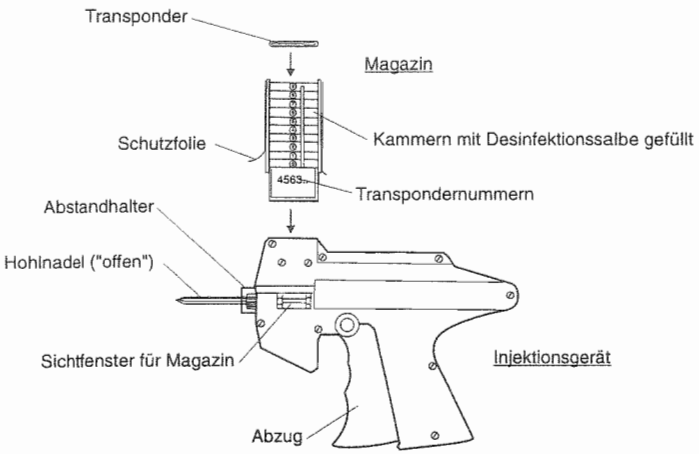


Abb. 49: Mehrfachinjektionsgerät mit Transpondermagazin (nach [56])

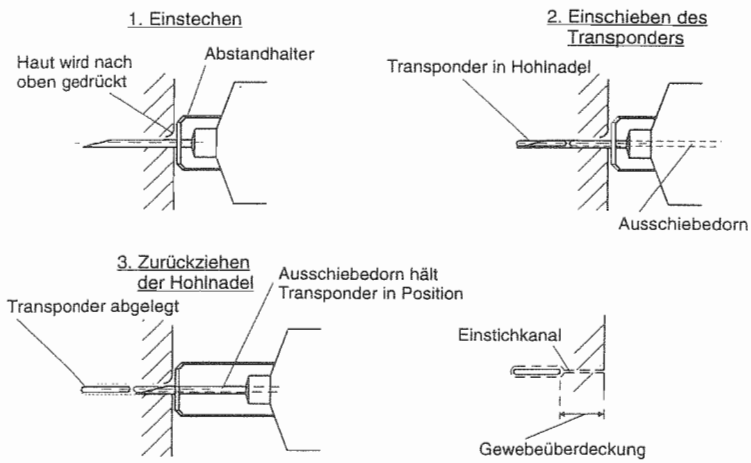


Abb. 50: Ablauf der Injektion (nach JONG, De [25])

5.1.3 Sezierverfahren zur Bestimmung der Transponderlage

Zur Bestimmung der Transponderlage im Tierkörper wurde das Gewebe schichtweise bis auf das Injektat abgetragen. Um seine Position zusammen mit dem Scutulum abzubilden, wurde in jeder Schicht eine Transparentfolie aufgelegt und zuerst das Scutulum und schließlich der Transponder eingezeichnet. In diesem Sezierverfahren sind sechs Schritte zu unterscheiden (Abb. 51):

Im Bereich des Scutulums wird zunächst die Haut entfernt, so daß der darunterliegende Knorpel sichtbar wird (1). Mit Hilfe eines Markierungsstiftes wird nun der Umriß des Knorpels auf der Gewebeoberfläche eingezeichnet (2), daraufhin eine Transparentfolie aufgelegt und der Umriß auf dieser nachgezogen (3). Zu beachten ist hierbei, daß mindestens zwei Referenzpunkte (hier: Augenwinkel und Hornansatz) mit auf die Folie aufgenommen werden, damit diese später, beim wiederholten Auflegen, entsprechend ihrer vorhergehenden Lage ausgerichtet werden kann.

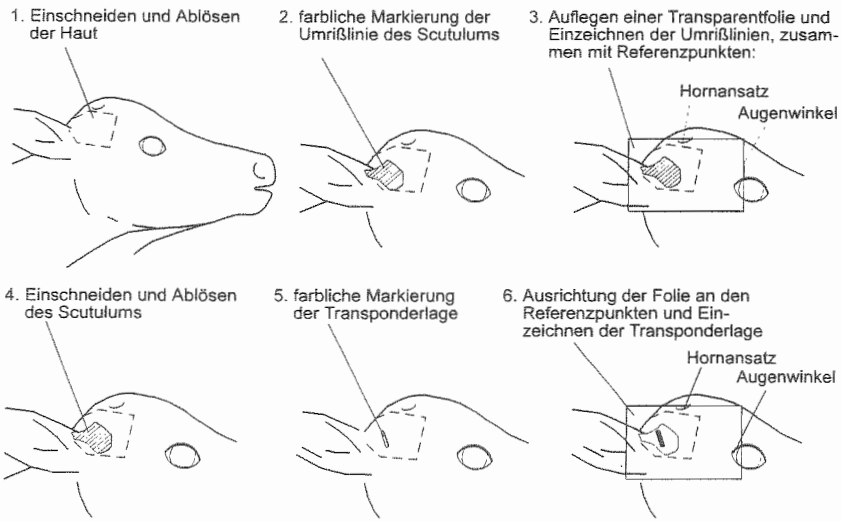


Abb. 51: Sezierverfahren zur Bestimmung der Transponderlage

Im folgenden Schritt (4) wird, nach dem Entfernen der Folie, das Scutulum herauspräpariert. Der darunterliegende Transponder wird farblich markiert (5). Schließlich wird im letzten Schritt (6) die Folie wieder aufgelegt, ausgerichtet und die Lage des Transponders darauf eingezeichnet. Hieraus ergibt sich eine Abbildung der Transponderlage unter dem Scutulum.

5.1.4 Voruntersuchungen

5.1.4.1 Injektionsort

In den Voruntersuchungen zum Injektionsort wurden die Transponder bei insgesamt 14 Kälbern post mortem (totgeborene Kälber mit ca. 40 kg LG und ältere Kälber bis ca. 180 kg LG) in drei verschiedenen Richtungen unter das Scutulum injiziert und anschließend wieder nach dem zuvor beschriebenen Sezierverfahren (5.1.3) herauspräpariert. Es wurden ausschließlich Standardtransponder (32 mm) verwendet.

Im folgenden werden drei Injektionsrichtungen dargestellt (Abb. 52). Sie lassen sich anhand der Stellung, die die Hohlnadel zum Median des Tieres hin einnimmt, beschreiben:

- Die „axiale" Richtung (R_{ax}) entspricht der „Längsachse" des Ohres, einer Stellung von etwa 90° bis 100° zum Median. Diese Injektionsrichtung wird in der Literatur empfohlen (FALLON [16]).
- Die „laterale" Richtung (R_{lat}), entspricht etwa 40° zum Median. Die Hohlnadel wird von vorne unter den Rand des Scutulums eingestochen und seitlich zum Schädelknochen geführt.
- Die „okzipitale" Richtung (R_{ok}) entspricht etwa 65° zum Median. Die Hohlnadel wird zwischen den beiden vorigen Einstichpunkten angesetzt und in Richtung des Hinterhauptbeines geführt.

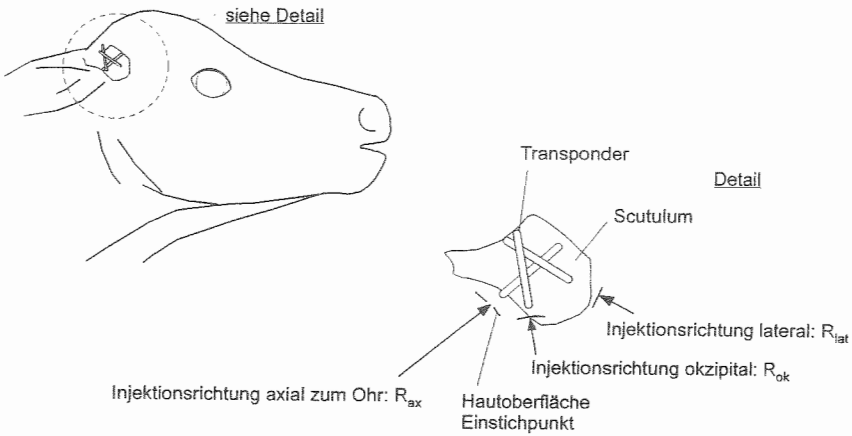
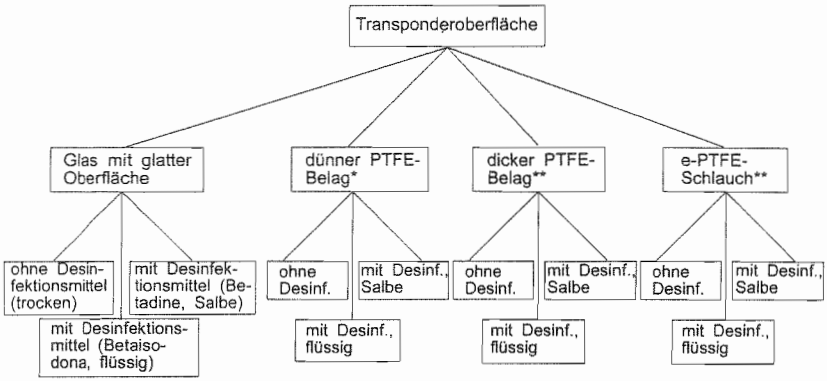


Abb. 52: Transponderinjektion in verschiedenen Richtungen

5.1.4.2 Bestimmung der Transponderhaftung im Einstichkanal

Der Verlust des Transponders aus dem Einstichkanal kann mit seiner Haftung im Gewebe nach der Injektion in Zusammenhang stehen (siehe Kap. 2.2). Zur Bestimmung der Haftung im Gewebe wurden Transponder mit unterschiedlichen Oberflächen in ein Muskelgewebe injiziert und anschließend mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit mittels einer Materialprüfmaschine wieder herausgezogen (Abb. 53).

Die dabei aufgewendete Kraft wurde anhand der Lastabnahme auf einer elektronischen Waage ermittelt (Wiegebereich 6000 g /0,1). Die Zugrichtung entsprach der Injektionsrichtung, um möglichst geringe seitliche Reibungskräfte durch ein Verkanten des Transponders im Stichkanal entstehen zu lassen. Jeder Zugversuch wurde mit einem neu präparierten Transponder (32 mm) fünfmal wiederholt. Die ausgewählten Oberflächen- und Desinfektionsvarianten sind in Abb. 54 aufgeführt. Als zusätzliche Varianten wurde für diesen Versuch eine verstärkte Beschichtung (PTFE-Belag) und die Art der Desinfektion (trocken/steril, Betadine®-Salbe [31] und Betaisodona® -flüssig) mit aufgenommen.



Anzahl Wiederholungen: n = 5 je Variante
Transponderlänge: 32 mm

Außendurchmesser:
* 3,9 - 4,0 mm
** 4,2 - 4,3 mm

Abb. 53: Varianten bei der Bestimmung der Haftung von Transpondern im Einstichkanal

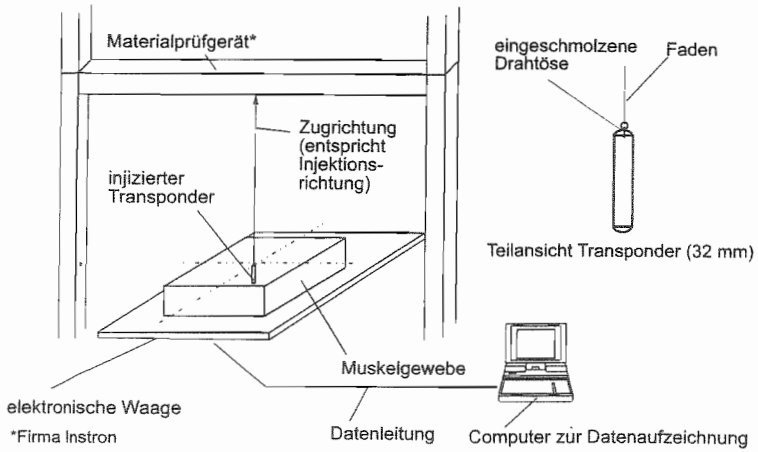


Abb. 54: Zugkraftmessung bei der Entfernung eines Transponders aus dem Einstichkanal

5.1.5 Versuche zur Lageveränderung der Transponder im Tierkörper

Im zweiten Versuchsteil wurde an Mastkälbern untersucht, ob und in welchem Ausmaß sich Transponder im Körper verlagern können. Bevor die Versuchstiere und die Verfahren zur Bestimmung von Lageveränderungen näher beschrieben werden, soll zunächst der Versuchsaufbau erläutert werden.

5.1.5.1 Versuchsaufbau

Die verschiedenen Transponder wurden bei insgesamt 117 Mastkälbern unter das Scutulum injiziert. Die Tiere waren in 12 Gruppen mit jeweils 9 bis 10 Tieren eingeteilt (Abb. 55 bis 57), die Variablen waren das Lebendgewicht bei der Injektion, die verschiedenen Transponderoberflächen und Transpondergrößen.

Um die Anzahl der Meßdaten zu erhöhen, wurden zwei Transponder je Tier, d. h. ein Transponder auf jeder Seite des Kopfes (2 x 117 = 234 Transponder) injiziert. Da nicht bekannt war, ob sich Lageänderungen auf der rechten oder linken Kopfseite in unterschiedlichem Ausmaß ergeben können, wurde ein Vorversuch mit 10 Kälbern und Standardtranspondern durchgeführt (Abb. 55, Gruppe 1, Vergleich der Abweichungen innerhalb eines Tieres und zwischen den Tieren einer Gruppe).

Im Hauptversuch I (Abb. 56, Gruppen 2 bis 10) wurde die Transponderoberfläche (Glas mit glatter und rauher Oberfläche), die Transpondergröße (12, 23 und 32 mm Länge) sowie die Gewichtsstufe bei der Injektion variiert (40, 60, 80 kg LG). Die Verweildauer der Transponder im Tier betrug entsprechend den einzelnen Gewichtsstufen und der anschließenden Mastperiode bis zu einem Lebendgewicht von 180 bis 220 kg zwischen 4,5 und 5,5 Monate.

Der Hauptversuch II (Abb. 57, Gruppen 11 und 12) ist in zwei Teilversuche (A, B) untergliedert, um die Wirkung der zwei verschiedenen PTFE-Beschichtungen im Vergleich zu Standardtranspondern zu untersuchen. Jedem Kalb wurde ein Standardtransponder und ein beschichteter Transponder injiziert. Die Transpondergröße mit 32 mm und das Lebendgewicht bei der Injektion mit 60 kg blieben konstant.

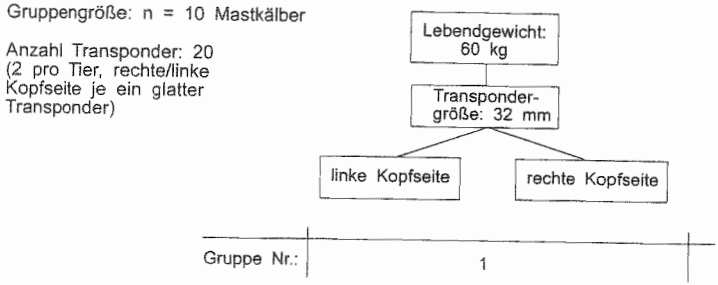
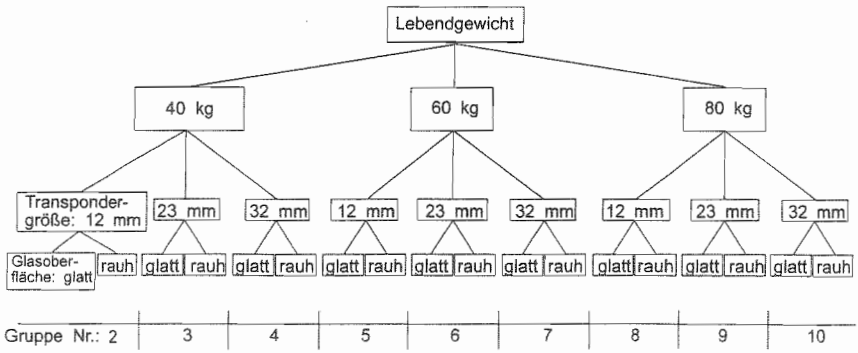
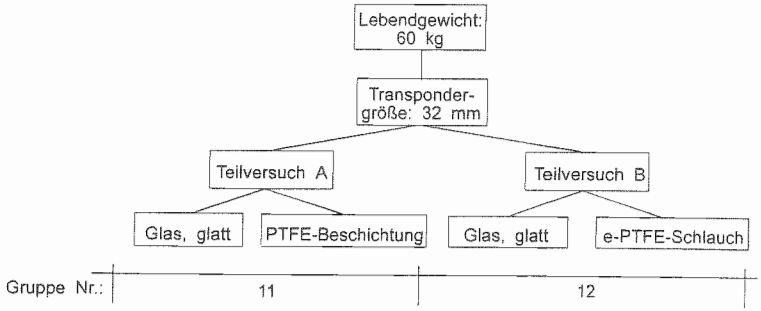


Abb. 55: Vorversuch



Gruppengröße: n = 10 Mastkälber, 90 Tiere insgesamt
Anzahl Transponder: 180 (2 pro Tier, rechte/linke Kopfseite je ein glatter/rauher)

Abb. 56: Varianten im Hauptversuch I



Gruppengröße: n = 9 Mastkälber
Anzahl Transponder je Gruppe: 18
(2 pro Tier, rechte/linke Kopfseite je ein glatter/beschichteter)

Abb. 57: Varianten im Hauptversuch II

5.1.5.2 Versuchstiere

Um festzustellen, in welchem frühestmöglichen Alter die Transponder beim Kalb injiziert werden können, befanden sich in den Gruppen 2 und 4 Kälber im Alter von 1 bis 2 Tagen nach der Geburt (Lebendgewicht ca. 40 kg). Die weiteren Tiere waren im Alter von 3 bis 4 Wochen (Lebendgewicht ca. 60 kg) und 6 bis 8 Wochen (Lebendgewicht ca. 80 kg). Zur Begrenzung der Versuchsdauer wurden ausschließlich Mastkälber ausgewählt, die nach einer relativ kurzen Periode geschlachtet werden konnten[19].

Die Gruppen waren nach Rasse und Geschlecht heterogen zusammengesetzt (zufällige Auswahl der Tiere). Es waren die Rassen Braunvieh, Fleckvieh, Schwarzbunt sowie Rotbunt in den Gruppen vertreten.

[19] Antrag auf Genehmigung eines Tierversuchsvorhabens nach § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes, Antragstellung am 28.05.1991

5.1.5.3 Injektionsort in den Tierversuchen

Die Injektion der Transponder unter das Scutulum erfolgte nur in laterale Richtung R_{lat} (Kap. 5.1.4.1). Um einen möglichst geringen Eintrag von Schmutzpartikeln und Keimen zu gewährleisten, wurden die Haare im Bereich des Scutulum geschoren und ein Desinfektionsmittel auf die Haut gesprüht (Kodan®). Um systematische Fehler bei der Injektion auf der rechten oder linken Kopfseite auszuschließen, wurden die Transponder mit unterschiedlicher Oberfläche jeweils wechselseitig (z. B. rauher Transponder rechts, glatter Transponder links, beim nächsten Tier umgekehrt) injiziert.

5.1.5.4 Verfahren zur Bestimmung von Lageveränderungen

Die Unterscheidung der Verschiebung im Einstichkanal, der Migration und der Orientierungsänderung ist nach folgenden Kriterien definiert (Abb. 58, siehe Kap. 2.2).

- Bei einer Verschiebung des Transponders im Einstichkanal ist dieser frei im Einstichkanal beweglich, es hat sich keine eng umschließende Gewebekapsel gebildet. Der Transponder kann sich in Richtung Einstichpunkt unter dem Scutulum heraus bewegen. Die Verschiebung kann durch Sezieren post mortem, durch Ertasten sowie durch Röntgenaufnahmen intra vitam festgestellt werden (Tab. 8).

- Die Migration besteht in einer Verlagerung des Transponders im Körpergewebe, die nach dem Abschluß der Heilung und der Bildung einer Bindegewebskapsel einsetzt. Die Distanz zwischen der Transpondermitte und dem Referenzpunkt Mitte Scutulum hat sich vergrößert. Entsprechend der Größe des Scutulums hat der Transponder bei einer Wegstrecke von > 3 cm den Bereich unter dem Knorpel teilweise oder ganz verlassen. Die Migration kann durch das Sezierverfahren und das Röntgenverfahren festgestellt werden.

- Eine Orientierungsänderung des Transponders besteht in einer Veränderung seiner Ausrichtung zum Median des Tieres. Sie kann im Röntgenbild dargestellt werden (Übereinanderlegen zweier Röntgenbilder).

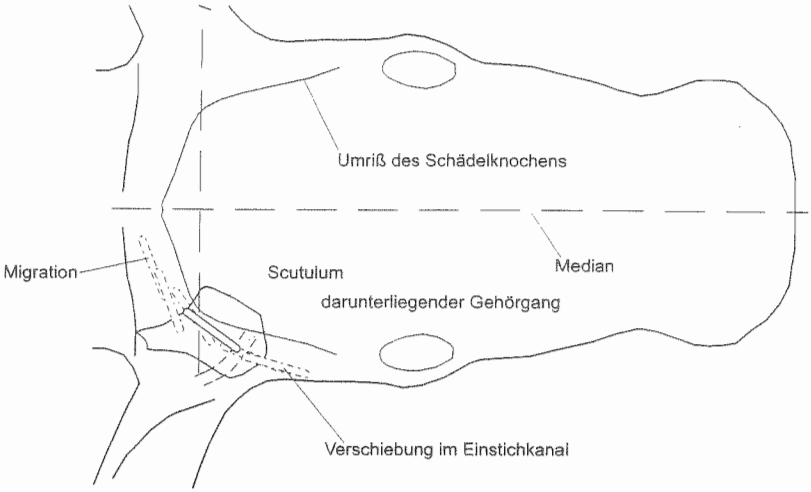


Abb. 58: Schematische Darstellung von Lageveränderungen beim Kalb in Draufsicht

Tab. 8: Gewählte Verfahren zur Bestimmung von Lageveränderungen

	Art der Lageveränderung		
Verfahren	**Verschiebung im Einstichkanal**	**Migration**	**Orientierungsänderung**
Abtasten	X		
Sezieren	X	X	
Röntgen	X	X	X

Die *Abtastung der Einstichstellen* erfolgte innerhalb der ersten zwei Wochen nach der Injektion täglich, danach einmal wöchentlich bis zum Ende der Mastperiode, um das Auftreten von möglichen Verschiebungen im Einstichkanal zeitlich einzugrenzen.

Das *Sezierverfahren* wurde zum Zeitpunkt der Schlachtung angewendet. Es entsprach dem in Kap. 5.1.3 dargestellten Verfahren zur Lagebestimmung. Die in den Voruntersuchungen festgestellte Position des Transponders wurde mit der im Tierversuch ermittelten Position verglichen und die Differenz zwischen der „Ausgangsposition" und der „Endposition" gemessen. Es handelte sich um eine Schätzung der Wegstrecke des Transponders. Von besonderer Bedeutung für die Genauigkeit dieser Art der Lagebestimmung war die Wahl eines nahe am Transponder gelegenen Referenzpunktes (Mitte Scutulum). Hierdurch sollte der Einfluß der

„normalen Wachstumsveränderungen" minimiert werden (mit zunehmender Entfernung des Transponders könnte dieser Einfluß stärker zum Tragen kommen).

Das *Röntgenverfahren* wurde nur bei einer ausgewählten Kälbergruppe (Gruppe 4, Kap. 5.1.5.1, Abb. 56) angewendet. Die Röntgenbilder wurden im Abstand von jeweils vier Wochen nach der Injektion in einem dorsoventralen und lateralen Strahlengang aufgenommen[20]. Um das zu untersuchende Kalb während der Aufnahmen ruhig zu stellen, wurde es zuvor sediert (Rompun®, Dosierung nach Lebendgewicht und Konstitution).

Um eine deutliche Abbildung eines Objektes (hier Schädelumrisse und Transponder) auf dem Röntgenfilm zu gewährleisten, sollte der Abstand zwischen Objekt und Filmebene möglichst gering sein. Das Kalb wurde daher in eine Rückenlage gebracht und sein Kopf auf einer am Boden liegenden Filmkassette fixiert (dorsoventrale Aufnahme). Eine Hilfsperson hielt den Körper des Kalbes in der Rückenlage. Die Strahlenquelle des Röntgengerätes befand sich im Abstand von ca. 1 m über dem Kopf des Tieres (mobiles Röntgengerät). In der lateralen Aufnahme wurde das Kalb auf die Seite gelegt und sein Kopf waagerecht auf der Filmebene ausgerichtet. Die erforderliche Strahlendosis wurde in mehreren Voruntersuchungen ausgearbeitet und entsprechend dem Tieralter angepaßt.

Um bei der Auswertung der Aufnahmen die wachstumsbedingten Lageveränderungen weitgehend zu eliminieren, wurde der Referenzpunkt, wie beim Sezierverfahren, sehr nahe am Transponder gewählt (darunterliegender Gehörgang). Die Schädelumrisse aus den Röntgenaufnahmen wurden schließlich in ein Graphikprogramm übertragen und proportional verkleinert. Die Ausgangsaufnahme war hierbei das erste Bild nach der Injektion, alle weiteren Bilder wurden bis auf die Größe dieser ersten Aufnahme reduziert.

---

[20] Durchführung: Dr. med. vet. Grevemeier, Chirurgische Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität, Oberwiesenfeld, München

5.1.6 Beobachtung des Gesundheitszustandes

Die Beobachtung des Gesundheitszustandes der Versuchstiere ist eine Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den Lageveränderungen. Einerseits können bereits kranke Tiere in unterschiedlichem Maße auf die Injektion des Transponders reagieren, andererseits ist es nicht auszuschließen, daß durch die Injektion selbst akute Entzündungen auftreten können. Daher wurde dokumentiert, ob nach der Injektion Schwellungen oder eitriger Ausfluß, oder schmerzbedingten Reaktionen der Tiere beim Abtasten der Einstichstelle auftraten. Zur Kontrolle möglicher Entzündungsprozesse bis 14 Tage nach der Injektion erfolgte eine tägliche Überprüfung der rektalen Körpertemperatur, danach wurde sie im wöchentlichen Rhythmus bis zur Schlachtung fortgeführt. Zusätzlich wurde das Auftreten von Blutungen nach der Injektion beobachtet (Kriterium: schwächere Blutung mit Stillstand nach ca. 5 min, stärkere Blutung: > 5 min Dauer).

5.1.7 Histologische Untersuchungen

Zweck der histologischen Untersuchungen war es, die Gewebereaktionen auf die unterschiedlichen Transponderoberflächen zu dokumentieren und die Resultate mit Ergebnissen aus der Literatur zu vergleichen (z.B. Anrauhung der Glasoberfläche sowie das Beschichtungsmaterial PTFE). Sie wurden nur exemplarisch an ausgewählten Proben durchgeführt, da eine generelle Eignung der Transponder für verschiedene Injektionsorte und Materialien (Glas und Polyethylen) bereits durch eine Reihe von Ergebnissen anderer Autoren bestätigt wird ([5], [14], [19], [20], [30], [31], [32]). Die ausgewählten Gewebeproben sind der Tab. 9 zu entnehmen.

Tab. 9: Ausgewählte Gewebeproben zur histologischen Untersuchung

Proben aus Tiergruppe	Anzahl	Transpondermaterial
7	5	Glas - glatt; Glas - rauh
11 und 12	3	Glas - glatt; PTFE-Belag; e-PTFE-Schlauch

Aufbereitung der Gewebeproben

Die Entnahme der Transponder zusammen mit dem umgebenden Gewebe erfolgte unmittelbar nach der Schlachtung. Die Proben wurden in Formalinlösung fixiert und

nach der in Abb. 58 dargestellten Vorgehensweise weiterbehandelt (Hämalaun-Eosin-Färbung, Tab. A 15). Vor Anfertigung der Schnitte wurde der Transponder aus der Probe entfernt[21].

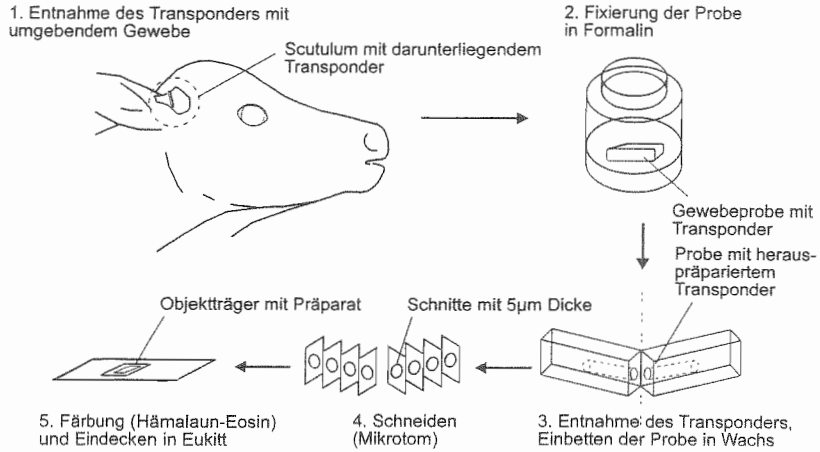


Abb. 59: Entnahme und Aufbereitung der Gewebeproben

Vermessung der Wandstärke der Gewebekapsel

Um eine Aussage über die Intensität der Verwachsung der Gewebekapsel mit dem umliegenden Gewebe zu erhalten, wurde die Wandstärke der Gewebeneubildung um den Transponder bestimmt. Die Vermessung erfolgte mit einem Mikroskop, dessen Okular im Bildfeld mit einer Skala ausgestattet war. Die Bestimmung der minimalen und maximalen Wandstärke erfolgte an vier Stellen.

Schätzung des Anteils an Leukozyten

Zur Beurteilung entzündlicher Reaktionen diente der relative Anteil an weißen Blutkörperchen (Leukozyten) im Bereich des Transponders, da diese maßgeblich an Abwehrreaktionen beteiligt sind. In den Untersuchungen wurde daher ihr Anteil im unmittelbaren Bereich der Bindegewebskapsel mit ihrem Anteil im weiter entfernten

[21] Herstellung der Präparate und Photographien: Institut für Tierwissenschaften, Lehrstuhl für Tierhygiene der Technischen Universität München - Weihenstephan

Gewebe verglichen, das von der Injektion nicht beeinflußt war. Es wurden vier Kategorien gebildet (Tab. 10), wobei die einzelnen Abstufungen jeweils einer Verdoppelung des Anteils entsprechen.

Tab. 10: Einstufung des Anteils an Leukozyten um den Transponder

-	sehr geringer Anteil an Leukozyten, entspricht dem weiter entfernten, „normalen" Gewebe
+	geringgradige Infiltration
++	erhöhter Anteil
+++	stark erhöhter Anteil, herdförmige Ansammlungen von Leukozyten

5.1.8 Statistische Auswertung

Versuche zur Haftung der Transponder

Der Einfluß der verschiedenen Oberflächenarten und Behandlungen auf die Haftung wurde mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Sie überprüft dabei die Nullhypothese (H_0), daß die Varianzen (Summen der Abweichungsquadrate) aus mehreren Stichproben gleich sind. Stimmen diese nicht überein, so wird die Nullhypothese verworfen und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenmittelwerten.

Es wurde folgendes Modell (zweifaktorielle Varianzanalyse) zugrundegelegt [47][22]:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\,\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

wobei:

x_{ij} = beobachteter Wert (gemessene Zugkraft)

μ = Gesamtmittelwert

α_i = Effekt der i-ten Stufe des Faktors A (Abweichungen durch Desinfektionsbehandlung)

β_j = Effekt der j-ten Stufe des Faktors B (Abweichungen durch Oberfläche)

$(\alpha\,\beta)_{ij}$ = Wechselwirkungseffekt zwischen der i-ten Stufe des Faktors A und der j-ten Stufe des Faktors B

ε_{ij} = Versuchsfehler

22 a.a.O. S. 398

Die Durchführung der Varianzanalyse erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS ([48] Prozedur GLM). Zur Überprüfung, ob sich jeweils zwei der Gruppenmittelwerte signifikant voneinander unterscheiden, wurde der Test nach Scheffé (SACHS, [47], multiple Erweiterung des F-Tests)[23] angewendet. Zur weiteren Unterscheidung wurde die Grenzdifferenz ($GD_{5\%}$) herangezogen. Ist die Differenz zwischen zwei Mittelwerten größer / gleich der Grenzdifferenz, so unterscheiden sich die beiden Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von < 5 % statistisch gesichert.

Versuche zur Migration der Transponder

Vorversuch

Im Vorversuch werden die Wegstrecken von gleichen Transpondern (auf der rechten und der linken Seite des Kopfes) verglichen, um festzustellen, wie groß die Streuung der Meßwerte ist und ob die Transponder auf jeder Seite ihre Lage in unterschiedlichem oder in gleichem Maße verändern. Es wird davon ausgegangen, daß kein Unterschied zwischen den beiden Mittelwerten besteht. Bei Stichproben, die kleiner als etwa 10 sind, ist der t-Test für die Unterscheidung der Mittelwerte geeignet, wobei die Ungenauigkeit des geschätzten Standardfehlers $s/\sqrt{n}$ mit berücksichtigt wird.

Hauptversuch I

Im Hauptversuch I wird, wie in den Untersuchungen zur Haftung der Transponder, eine Varianzanalyse (Kovarianzanalyse, aufgrund des qualitativen Merkmals Oberflächenrauhigkeit) angewendet. Unterschiedliche Gruppengrößen wurden berücksichtigt (SAS, Prozedur GLM, [48]). Die Auswahl der Tiere in den einzelnen Gruppen erfolgte zufällig (randomisiert, im Hauptversuch I und II). Die Nullhypothese (H_0) lautet, daß sich die Gruppenmittelwerte nicht signifikant vom Gesamtmittelwert unterscheiden.

Es wurde die folgende allgemeine Modellgleichung (dreifaktorielle Varianzanalyse) zugrundegelegt:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{jk} + (\beta\gamma_{ik}) + \varepsilon_{ijk}$$

[23] a.a.O. S. 227 ff.

wobei:

x_{ij} = beobachteter Wert (gemessene Weglänge)

μ = Gesamtmittelwert

α_i = Effekt der i-ten Stufe des Faktors A (Abweichungen durch Oberfläche)

β_j = Effekt der j-ten Stufe des Faktors B (Abweichungen durch Transponder-größe)

γ_k = Effekt der k-ten Stufe des Faktors C (Abweichungen durch Tiergewicht bei der Injektion)

$(\alpha.\ \beta)_{ij}$; $(\alpha\gamma)_{jk}$; $(\beta\gamma_{ik})$ = Wechselwirkungseffekte

ε_{ijk} = Versuchsfehler

Zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten wurde der F-Test verwendet. Um einen Hinweis darauf zu erhalten, ob Migrationen „sporadisch" auftreten können, d. h. die Werte auch außerhalb eines erwarteten Bereiches liegen, wurden die Meßwerte auf „Ausreißer" hin analysiert (Residuenanalyse, R-Student „Ausreißer"-Test).

Hauptversuch II

Der Vergleich der beiden Mittelwerte in den Gruppen 11 und 12 (Mittelwerte der glatten Standardtransponder mit PTFE-Belag, sowie Standardtransponder mit e-PTFE-Schlauch) erfolgte mit Hilfe eines t-Tests (unabhängige Stichproben, unterschiedliche Varianzen). Ein Test auf Ausreißer wurde in diesem Falle nicht durchgeführt.

5.2 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Voruntersuchungen zum Injektionsort und zur Haftung der Transponder im Gewebe dargestellt und diskutiert. Im Anschluß daran werden die Ergebnisse der Tierversuche zur Lageveränderung der Transponder im Körper dargestellt, sowie die Resultate der histologischen Untersuchungen aufgezeigt. Abschließend werden die Ergebnisse der Versuchsabschnitte zusammenfassend diskutiert und eingeordnet.

5.2.1 Injektionsort und Tieralter

In den anatomischen Voruntersuchungen zeigte sich, daß die Injektion von 32 mm langen Transpondern bei jüngeren Kälbern mit 40 bis 60 kg LG nur dann möglich ist, wenn eine laterale oder okzipitale Injektionsrichtungen gewählt wird (R_{lat} oder $R_{ok.}$). Bei axialer Injektionsrichtung (R_{ax}) stößt die Hohlnadel nach ca. 2 cm Tiefe an den Schädelknochen, so daß der Transponder nicht auf seine gesamte Länge injiziert werden kann. Bei älteren Kälbern (ca. 80 kg LG) dagegen kann die Injektionsrichtung frei gewählt werden.

Für alle drei Injektionsrichtungen ergab sich eine seitliche Abweichung der Transponderlage von ca. +/- 1 cm. Der Transponder war dabei stets vollständig vom Knorpel abgedeckt. Die Richtung variierte in einem Bereich von +/- 5°, während die Tiefenablage unter dem Scutulum durch den Schädelknochen begrenzt war (ca. 2 cm).

Da bei den jungen Tieren (ca. 40 kg LG) die Fettschicht unter dem Knorpel noch sehr dünn ausgebildet ist, steht für das Injektat nur wenig „Raum" zur Verfügung. Die beiden Enden des Transponders können unter dem Scutulum ertastet werden. Die Distanz des Injektionsortes zu Organen, wie z. B. dem Drüsengewebe der Parotis oder zu größeren Blutgefäßen und Nerven, erscheint beim Einhalten der drei genannten Injektionsrichtungen ausreichend groß, so daß keine Verletzungen dieser Bereiche zu erwarten sind (NICKEL et al. [38][24]).

[24] a.a.O. Bd. 1, S. 267; Bd. 3, S. 112, 138, 139; Bd. 4, S. 269

Die Durchführung der Injektion von 32 mm langen Transpondern erfordert vor allem bei jungen Kälbern ein gewisses Maß an Übung der ausführenden Person. Die Schwierigkeit der Ertastung der richtigen Einstichstelle und -richtung nimmt mit zunehmenden Lebendgewicht des Kalbes ab (Tab. 11). Die Injektion in axialer Richtung ist am einfachsten durchzuführen, gefolgt von der lateralen und schließlich der okzipitalen Richtung ($R_{ax} < R_{lat} < R_{ok}$). Als wichtig erscheint es, daß das Ohr von unten mit der Hand umfaßt und der Knorpel durch eine seitliche Druckausübung nach oben gewölbt wird, so daß der Einstichpunkt deutlich sichtbar ist.

Tab. 11: Schwierigkeitsgrad der Injektion von 32 mm-Transpondern am Scutulum in Abhängigkeit vom Lebendgewicht des Kalbes und der Injektionsrichtung (Hohlnadellänge 40 mm; - nicht möglich, + schwierig, ++ wenig schwierig, +++ einfach)

	Injektionsrichtung		
Lebendgewicht ca.	R_{ax}	R_{lat}	R_{ok}
40 kg	-	++	+
60 kg	-	+++	++
80 kg	+++	+++	++

Weitere, von FALLON [16] ebenfalls überprüfte Varianten der Injektionsorte und -richtungen wurden nicht untersucht, da die Injektionsstellen weniger genau zu definieren waren und dadurch eine größere Streuung der Transponderlage bei der Entnahme im Schlachthof zu erwarten war.

Da die Injektion in Richtung R_{ax} beim neugeborenen Kalb nicht möglich und die Injektionsrichtung R_{ok} am schwierigsten durchzuführen war, wurden die Transponder in den weiteren Tierversuchen für alle Gewichtsklassen lateral (R_{lat}) injiziert.

5.2.2 Haftung der Transponder im Einstichkanal

Die Zugkraft, die für die Entfernung eines Transponders aus dem Einstichkanal aufgewendet werden muß, nimmt solange zu, bis der Transponder nicht mehr im Gewebe haftet (Beispiel Abb. 60). Ab diesem Punkt fällt die Kurve wieder ab, da der Transponder im Stichkanal gleitet. Da davon auszugehen ist, daß sich ein Trans-

ponder auch in der Praxis erst dann im Einstichkanal verschiebt, wenn eine „Mindestkraft" auf ihn einwirkt, wurden für die weitere Auswertung nur die Maximalwerte der Kurven verwendet.

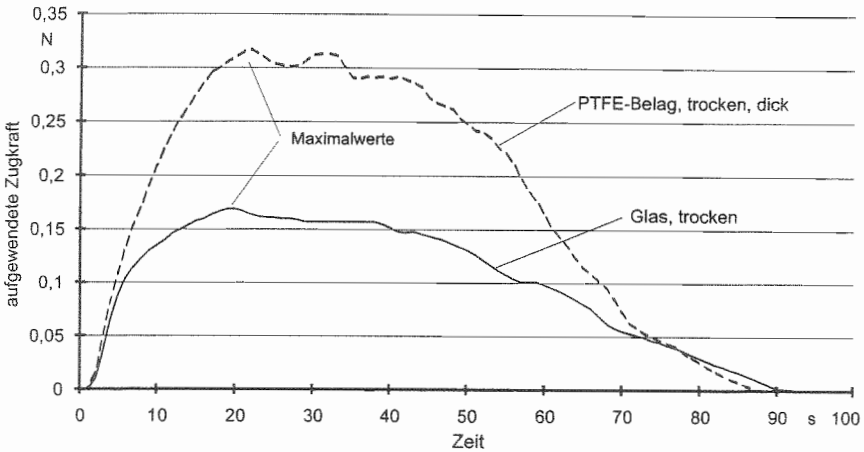


Abb. 60: Aufgewendete Zugkraft bei zwei verschiedenen Transpondern (Glas ohne Desinfektionsmittel und „dicker" PTFE-Belag ohne Desinfektionsmittel)

Die Zugkraft variierte in einer weiten Spanne zwischen 0,15 und 0,45 N. Die statistische Auswertung zeigt, daß sich die Gruppenmittelwerte signifikant vom Gesamtmittelwert unterscheiden (Irrtumswahrscheinlichkeit: $0{,}01 \geq P > 0{,}001$, n=5). Bei Vergleich der Mittelwerte untereinander sind vor allem die Werte der kunststoffbeschichteten Transponder gegenüber den Standardtranspondern (Glasoberfläche) signifikant unterschiedlich (Abb. 61). Im folgenden sollen die Unterschiede zwischen den Varianten näher erläutert werden.

Glastransponder:

Zum Entfernen der Glastransponder war eine Zugkraft von 0,16 bis 0,20 N erforderlich. Bei der glatten Glasoberfläche scheinen die beiden aufgebrachten Desinfektionsmittel (Betadine®-Salbe und Betaisodona®-flüssig) eine geringfügig bessere Haftung gegenüber den unbehandelten Transpondern zu gewährleisten, allerdings

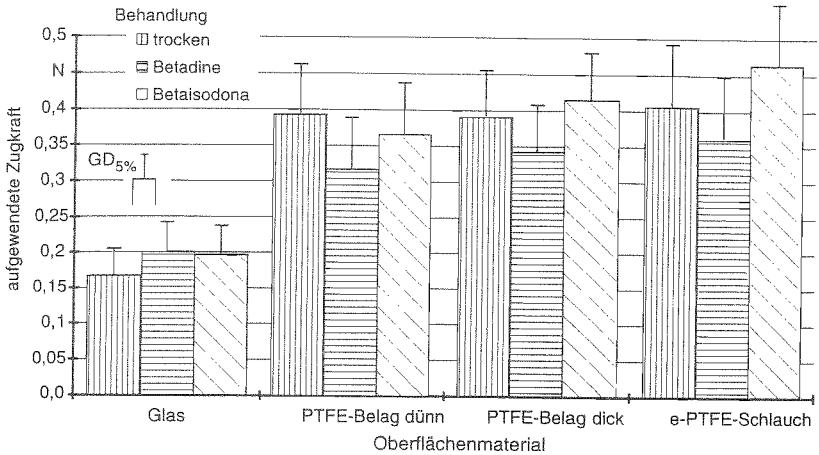


Abb. 61: Auswirkungen von Transponderoberfläche und Desinfektionsmittel auf die Haftung im Einstichkanal (n=5 je Variante)

ist der Unterschied nicht signifikant. Zwischen den Desinfektionsmitteln ergibt sich für diese Gruppe kein Unterschied.

Mit PTFE beschichtete Transponder (PTFE-Belag „dick" und PTFE-Belag „dünn"):
Für die Entfernung der PTFE-Transponder war etwa die zweifache Kraft gegenüber den glatten Glastranspondern aufzuwenden (0,32 bis 0,42 N). Die trockenen, beschichteten Injektate hafteten gegenüber den mit der Desinfektionssalbe behandelten stärker im Gewebe. Die mit Betaisodona behandelten Transponder hafteten wiederum gleich stark wie die trockenen. Ein Unterschied zwischen den beiden Varianten „Belag dick" und „Belag dünn" war bei den trockenen Transpondern nicht vorzufinden.

Mit e-PTFE-Schlauch überzogene Transponder:
Mit Werten bis zu 0,47 N erreichte die Variante mit e-PTFE-Schlauch und Betaisodona die stärkste Haftung im Gewebe. Auch hier wirkte sich, wie bei den Transpondern mit dickem PTFE-Belag, die Art der Desinfektionsmittel unterschiedlich aus, d. h. die Salbe bewirkte eine Verringerung, das flüssige Mittel eine Erhöhung der Haftung.

Die Ursache für den deutlich höheren Kraftaufwand bei der Entfernung der PTFE-Transponder ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die größere Oberfläche bzw. die Porenstruktur des Kunststoffes zurückzuführen, die zu einer erhöhten Adhäsion im umgebenden Gewebe führt. Für die stets geringere Haftung der mit Betadine® behandelten PTFE-Transponder ist vermutlich ein „Schmiereffekt" verantwortlich, wobei sich die Salbe in die Poren der Beschichtung eindrückt und so zu einer geringeren Adhäsion im Gewebe führt.

Insgesamt besitzt die Art der Oberfläche einen deutlich stärkeren Einfluß auf die Transponderhaftung im Gewebe als die Art des Desinfektionsmittels. Demnach ist das Desinfektionsmittel aus „technischer" Sicht frei wählbar. Der Einsatz einer Desinfektionssalbe anstatt eines flüssigen Mittels wird derzeit dadurch begründet, daß der Transponder im Magazin des Injektionsgerätes gehalten wird [56]. Eine wesentliche Frage jedoch, welche Art des Desinfektionsmittels sich am günstigsten auf den Heilungsverlauf auswirkt und welche Menge an Desinfektionsmittel in Abhängigkeit von seiner Form (Salbe/flüssig) mit in den Einstichkanal eingebracht wird, ist noch ungeklärt (LAMBOOIJ [31]).

Aus den Ergebnissen ist zu folgern, daß:

- durch die Beschichtung mit einem PTFE-Kunststoff eine verbesserte Haftung im Einstichkanal gegenüber Glastranspondern erreicht wird und dadurch die Wahrscheinlichkeit des Herausgleitens nach der Injektion bzw. die Gefahr der Verschiebung im Einstichkanal vermindert wird. Ferner sind
- die Unterschiede zwischen den Beschichtungen PTFE-Belag und e-PTFE-Schlauch vergleichsweise gering. Dies bedeutet, daß beide Varianten zur Verbesserung der Haftung geeignet sind.

5.2.3 Lageveränderungen der Transponder im Tierkörper

Die Lageveränderungen von Transpondern im Tierkörper wurden mit verschiedenen Methoden erfaßt. Im folgenden sollen zunächst die Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen und anschließend die Resultate der Untersuchungen mit dem Sezierverfahren dargestellt werden.

5.2.3.1 Lageveränderungen im Röntgenverfahren

Die Wegdiagramme zu den Lageveränderungen der Transponder, die sich nach der proportionalen Verkleinerung der Röntgenbilder ergeben, sind in den Abb. 62 bis 64 für 8 Versuchstiere der Gruppe 4 (40 kg LG, 32 mm Transponder, rauhe/glatte Glasoberfläche) in der Draufsicht wiedergegeben (beim Kalb Nr. 9 wurde wegen seines labilen Gesundheitszustandes auf die vollständige Aufnahme aller Röntgenbilder verzichtet).

Im Zeitraum von 6 bis 7 Monaten veränderten insgesamt 12 von 16 Injektaten ihre Lage zum Ausgangspunkt um mehr als 1 cm (Abb. 63 und 64). Darin sind 5 Injektate enthalten, die sich im Einstichkanal verschobenen hatten. Die Orientierung änderte sich bis zu 35°. Hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit war keine Auswirkung auf die Lageveränderung festzustellen, da Migrationen und Verschiebungen bei den glatten und den rauhen Transpondern gleichermaßen auftraten.

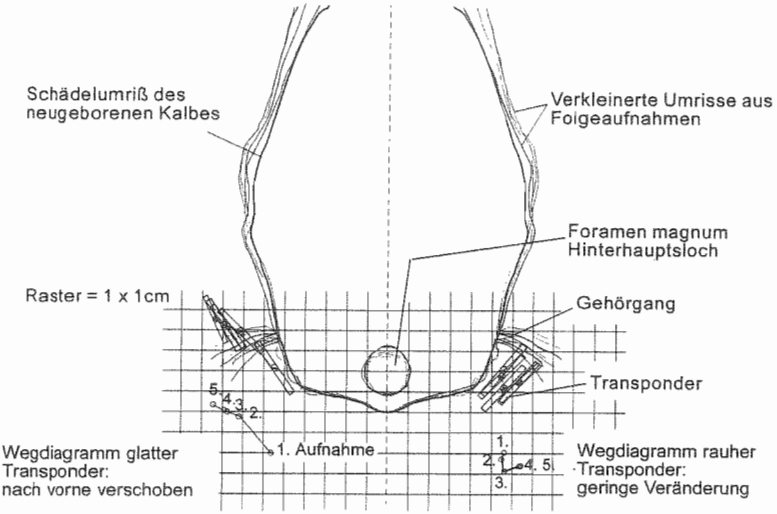


Abb. 62: Lageveränderungen der injizierten Transponder beim Kalb Nr. 5 (Beispiel der Verkleinerung der Schädelumrisse)

Bei den *verschobenen Transpondern* zeigte sich in Bezug auf den zeitlichen Verlauf ein klares Bild. Die Verschiebung trat stets kurze Zeit nach der Injektion innerhalb von 2 Tagen auf. Einer der 5 verschobenen Transponder trat vollständig aus dem Einstichkanal aus (nach Röntgenaufnahme 1, Kalb Nr. 1, Abb. 63). Zwei Transponder hatten sich bereits vor der ersten Aufnahme (1 Tag nach der Injektion) verschoben. Beim Kalb Nr. 5 traten beide Arten der Lageveränderung nacheinander auf.

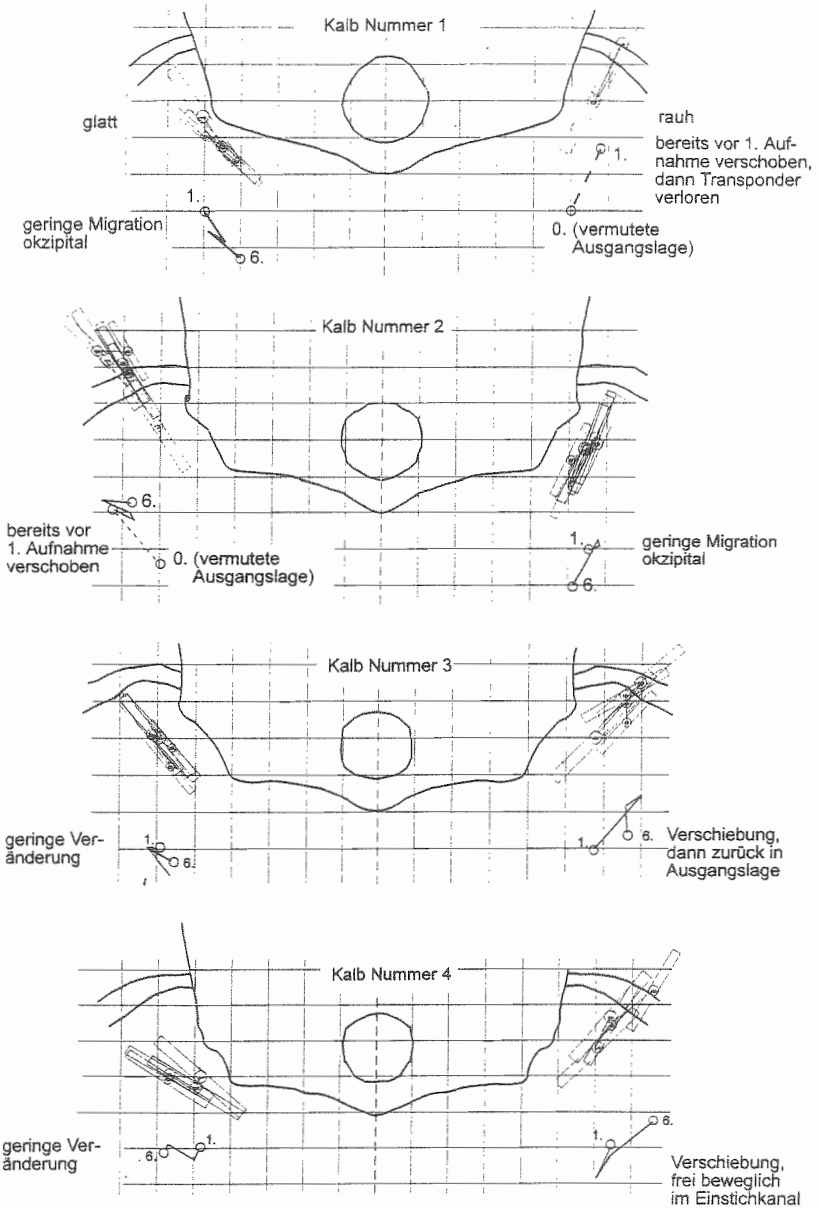


Abb. 63: Lageveränderungen der injizierten Transponder bei den Kälbern Nr. 1 bis 4

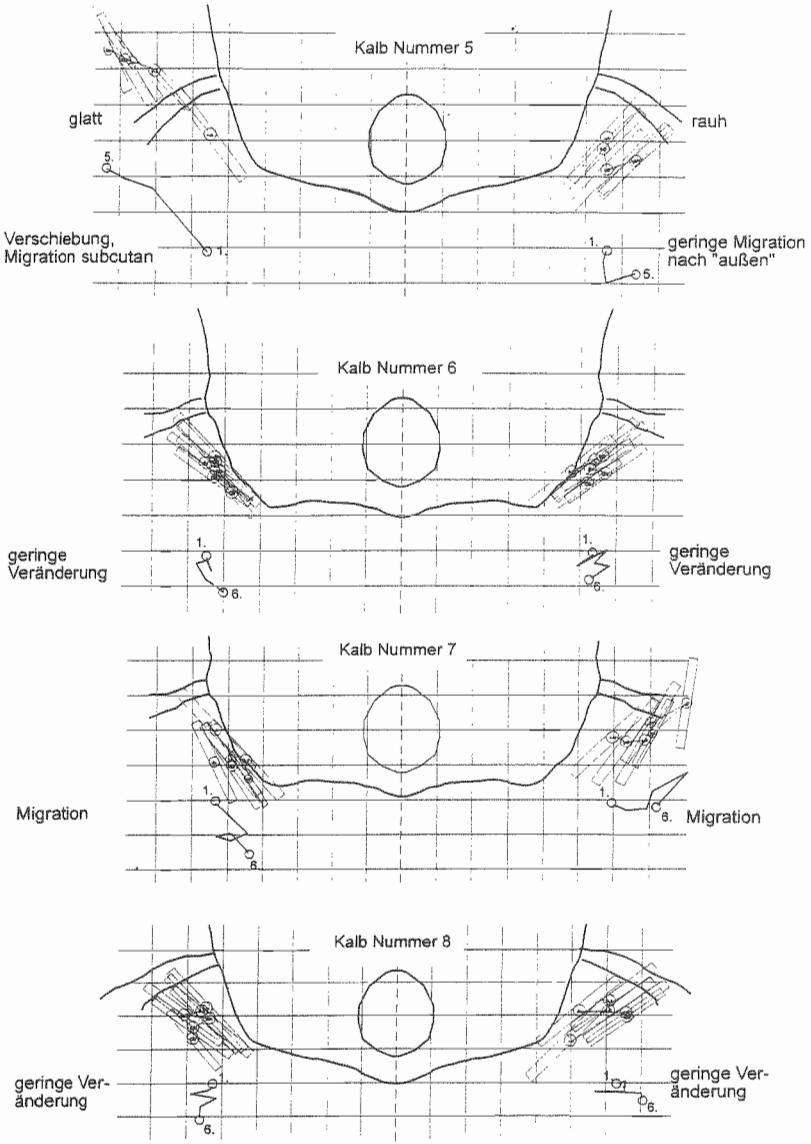


Abb. 64: Lageveränderung der injizierten Transponder bei den Kälbern Nr. 5 bis 8

Die begrenzten *Migrationen* wiesen eine unregelmäßige zeitliche Verteilung auf, d. h. bei manchen Versuchstieren setzte die Lageveränderung nach 1 oder 2 Wochen, bei anderen erst gegen Ende des Untersuchungszeitraumes ein. Hierbei waren zwei Richtungen zu unterscheiden, entweder bewegte sich der Transponder vom Ausgangspunkt zum hinteren Kopfbereich (okzipital) oder er entfernte sich vom Schädelknochen in Richtung Ohrmuschel.

Die *Orientierungsänderungen* blieben bis auf eine Ausnahme (Kalb Nr. 7, Abweichung 35°) auf 0° bis 15° begrenzt.

Die im Kapitel 5.1.5.4 genannten lateralen Röntgenaufnahmen dienten der Dokumentation für den Fall, daß die Transponder in stärkerem Maße in den unteren Kopfbereich wandern sollten. Da diese Änderungen kaum auftraten, wurde auf eine gesonderte Darstellung dieser Bilder verzichtet.

5.2.3.2 Lageveränderungen im Sezierverfahren

Vorversuch

Im Vorversuch galt es die Frage zu klären, in welchem Bereich um das Scutulum Lageveränderungen auftreten können und ob mehrere Transponder in einem Tier getestet werden können oder ob die Transponder einzeln auf mehrere Tiere zu verteilen sind.

Von den ursprünglich 10 Kälbern der Gruppe 1 wurde ein Tier nicht gewertet (Tab. 12, Tab. A12), da es einen Transponder innerhalb von 2 Stunden nach der Injektion verloren hatte und der zweite im Einstichkanal verschoben war. Bei den anderen Kälbern lagen die ermittelten Wegstrecken zwischen 0 und 3,5 cm. Während sich in den Mittelwerten (rechte Seite: 1,7 und linke Seite: 1,8 cm) keine signifikanten Unterschiede zeigten, war eine unterschiedliche Streuung der Werte auf der rechten und linken Kopfseite erkennbar (0,94 und 2,56). Da diese Differenz in einer unterschiedlichen „Qualität" der Injektion begründet sein kann (unterschiedliche Handhabung der Injektionspistole je nach der gewählten Kopfseite), wurden die Transponder in den Folgeversuchen bei unterschiedlichen Oberflächen auf jeweils wechselnden Kopfseiten injiziert.

Tab. 12: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Vorversuch

Gruppe Nr.	Gewicht bei Injektion (kg LG)*	Transpondergröße (mm)	Oberfläche ** (g=glatt)	Anzahl injizierter Transponder	Anzahl verschobener Transponder	davon verloren
1	40	32	g	10	1	-
			g	10	1	1

*Schlachtung der Kälber bei 180 bis 200 kg LG ** rechte und linke Kopfseite

Hauptversuch I: unbeschichtete Transponder

In den Gruppen 2 bis 10 wurden Verschiebungen im Einstichkanal, Verluste der Transponder und Migrationen in unterschiedlichem Ausmaß beobachtet. Die Aufteilung der Resultate in die beiden ersten Kategorien ist Tab. 13 zu entnehmen.

Tab. 13: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Hauptversuch I

Gruppe Nr.	Gewicht bei Injektion (kg LG)*	Transpondergröße (mm)	Oberfläche ** (r=rauh g=glatt)	Anzahl injizierter Transponder	Anzahl verschobener Transponder	davon verloren
2	40	12	r	10	-	-
			g	10	-	-
3		23	r	10	-	-
			g	10	-	-
4		32	r	9	5	2
			g	9	4	2
5	60	12	r	10	-	-
			g	10	-	-
6		23	r	10	2	2
			g	10	-	-
7		32	r	10	-	-
			g	10	1	-
8	80	12	r	10	-	-
			g	10	-	-
9		23	r	10	2	2
			g	10	3	-
10		32	r	10	3	-
			g	10	3	1

*Schlachtung der Kälber bei 180 bis 200 kg LG ** rechte und linke Kopfseite

Verschiebungen im Einstichkanal

Eine Wirkung der unterschiedlichen Oberflächenrauhigkeit auf die Häufigkeit von Verschiebungen bzw. Verlusten konnte nicht festgestellt werden, sie traten sowohl bei glatten als auch rauhen Transpondern auf. In der Gruppe 4 verschoben sich 5

bzw. 4 Transponder, von denen anschließend jeweils 2 verloren gingen. Ein ähnliches Bild zeigte sich in der Gruppe 10 mit jeweils 3 Injektaten. Die Gruppen mit 12 mm-Transpondern bildeten eine Ausnahme, da bei diesen keine Verschiebungen festzustellen waren.

Migrationen

Ähnlich wie bei den Verschiebungen zeigt sich bei den Migrationen ein insgesamt uneinheitliches Bild (Abb. 65). Zunächst fällt auf, daß die Werte in einem Bereich bis zu 6 cm um den Ausgangspunkt variieren. Zwar überschreiten die Mittelwerte 3 cm nicht, aber die Maximalwerte zeigen deutlich, daß erhebliche Streuungen auftreten können. Einzelne Werte fielen innerhalb einer Residuenanalyse aus dem „erwarteten" Rahmen (5,5; 6,0; 6,0 cm). Sie können jedoch aufgrund der als sicher zu erachtenden Messungen nicht als Ausreißer bezeichnet werden und wurden daher in den weiteren Auswertungen mit berücksichtigt.

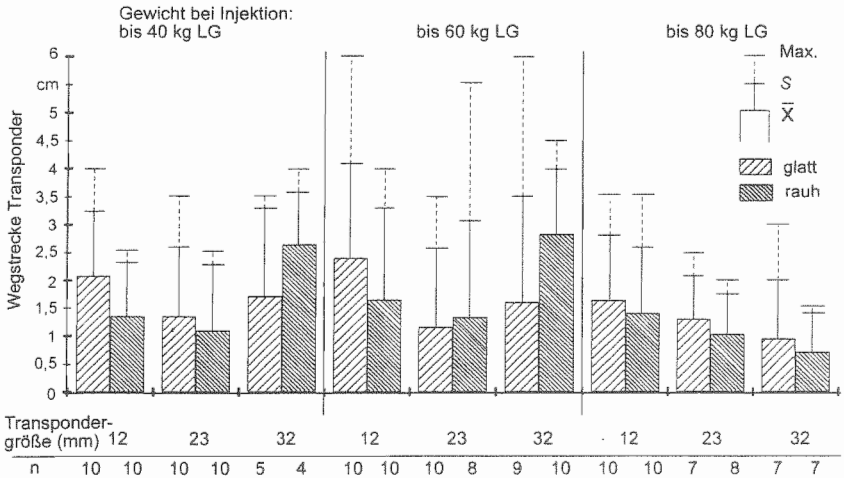


Abb. 65: Migration von Transpondern in Abhängigkeit von der Injektatgröße, dem Lebendgewicht bei der Injektion und der Oberflächenrauhigkeit

Die Varianzanalyse belegt, daß sich die Gruppenmittelwerte signifikant vom Gesamtmittelwert unterscheiden (Signifikanzniveau P=0,01). Die weiterer Vergleich der Mittelwerte zeigt, daß der Einfluß der *Glasoberfläche* nicht signifikant ist (F-Test; Tab. 14). Demgegenüber ist der Einfluß der *Gewichtsklasse bei der Injektion* mit einem Signifikanzniveau von P=0,05 gesichert. Wechselwirkungen zwischen der Transpondergröße und der Gewichtsklasse konnten nicht nachgewiesen werden. Mit einem Signifikanzniveau von P=0,008 ist ein Einfluß der *Transpondergröße* festzustellen. Die Verteilung der gemessenen Wegstrecken ist in den Abb. 66 bis 68 wiedergegeben. Daraus ist für jede der 3 Gewichtsklassen zu entnehmen, daß bei 23 mm langen Transpondern die geringsten Migrationen auftraten.

Tab. 14: Signifikanz der Einflußfaktoren (Hauptversuch I)

Einflußfaktor	**Signifikanz des Einflusses auf die Migration bzw. der Interaktionen**
Oberfläche	n.s.
Transpondergröße	*
Gewichtsklasse	*
Transpondergröße x Gewichtsklasse	n.s.

***: $P \leq 0{,}001$; **: $0{,}01 \geq P > 0{,}001$; *: $0{,}5 \geq P > 0{,}01$; n.s.: nicht signifikant

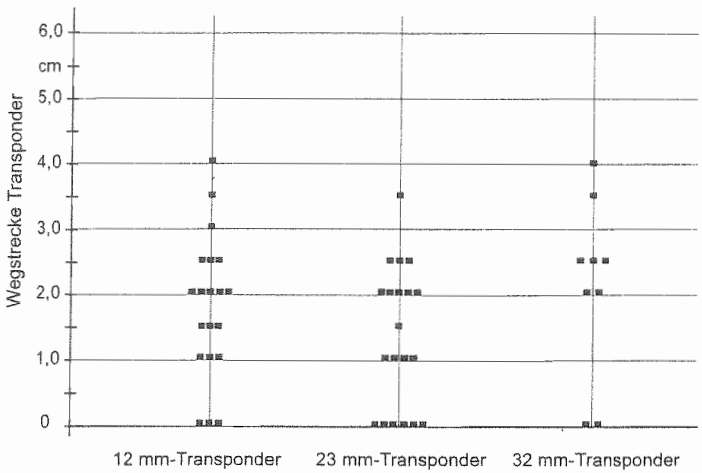


Abb. 66: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 40 kg LG

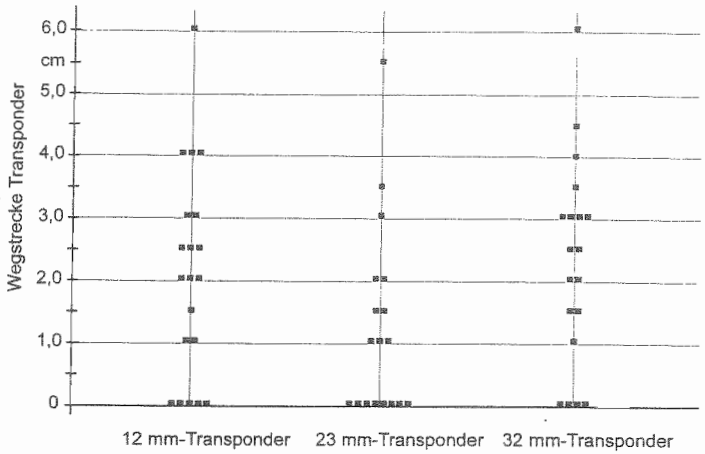


Abb. 67: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 60 kg LG

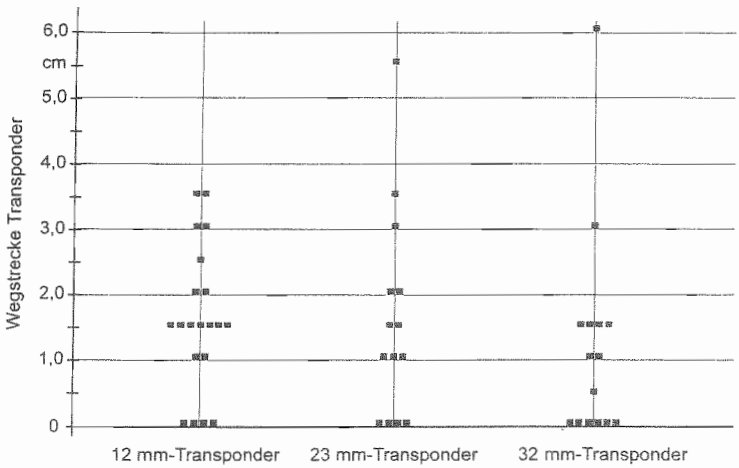


Abb. 68: Verteilung der Meßwerte in Abhängigkeit von der Transpondergröße bei Kälbern der Gewichtsklasse 80 kg LG

Hauptversuch II: beschichtete Transponder

Im Hauptversuch II wurden zwei Varianten PTFE-beschichteter Transponder gegenüber glatten Glastranspondern untersucht (32 mm, Tab. 15, Abb. 69). Verschiebungen im Stichkanal traten in beiden Gruppen nur bei den Glastranspondern auf. Die Analyse der Werte mit Hilfe eines t-Tests belegt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von P=0,05 bzw. 0,01, daß die beiden Varianten der PTFE-Transponder eine deutlich geringere Lageveränderung als die Glastransponder aufweisen (Tab. 16; Tab. A14). Hervorzuheben ist dabei, daß die Streuung der gemessenen Wegstrecken bei den PTFE-Transpondern deutlich geringer war als bei den Glastranspondern. Beide Varianten, die PTFE-Beschichtung und der e-PTFE-Schlauch, zeigen vergleichbare Meßwerte und Streuungen. Die Wegstrecken der Glastransponder lagen etwa in der gleichen Größenordnung wie in den zuvor untersuchten Gruppen.

Tab. 15: Verschiebungen und Verluste der Transponder im Hauptversuch II

Gruppe Nr.	Gewicht bei Injektion (kg LG)*	Transpondergröße (mm)	Oberfläche	Anzahl injizierter Transponder	Anzahl verschobener Transponder	davon verloren
11	60	32	Glas, glatt	9	1	-
			PTFE-Belag	9	-	-
12	60	32	Glas, glatt	9	1	-
			PTFE-Schlauch	9	-	-

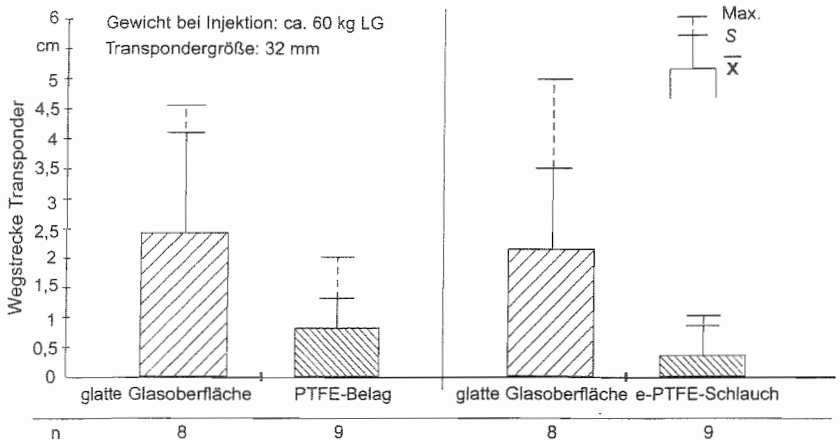


Abb. 69: Migration von 32 mm-Transpondern in Abhängigkeit vom Oberflächenmaterial

Tab. 16: Statistischer Vergleich der Mittelwerte im Hauptversuch II

Vergleich der Mittelwerte	Signifikanzniveau
Glastransponder - PTFE-Belag	*
Glastransponder - PTFE-Schlauch	***
PTFE-Belag - PTFE-Schlauch	n.s.
Glastransponder - Glastransponder	n.s.

***: $P \leq 0{,}001$; **: $0{,}01 \geq P > 00{,}01$; *: $0{,}5 \geq P > 0{,}01$; n.s.: nicht signifikant

Die Ergebnisse zu den Verschiebungen und Migrationen verdeutlichen, daß ein sicherer Verbleib des Transponders am Injektionsort Scutulum nicht generell gegeben ist. Daher sind zusätzliche Maßnahmen zur Lagestabilisierung im Tierkörper notwendig.

Eine *Anrauhung der Glasoberfläche* des Transponders (Faktor 4 gegenüber Standardtranspondern) führt zu keiner verbesserten Haftung im umgebenden Gewebe. Fraglich ist es, ob nicht ein höherer Grad der Oberflächenrauhigkeit zu einer besseren Lagestabilität führen könnte. Zur Klärung der Fragestellung wären Versuche mit Transpondern erforderlich, deren Oberfläche um ein Vielfaches stärker angerauht wurde. Der weiteren Anrauhung steht allerdings entgegen, daß daraus eine Absenkung der Bruchsicherheit des Glases resultiert (Aufhebung der Vorspannung, Vertiefung von Rissen, Kap. 5.1.1). Angesichts dieser Einschränkungen erscheint es sinnvoller, andere Möglichkeiten zur Verbesserung der Lagestabilität zu nutzen.

Die *Verringerung der Transpondergröße* bewirkt eine Verminderung von Lageveränderungen, sowohl von Verschiebungen als auch Migrationen. Die geringere Häufigkeit von Verschiebungen ist vermutlich auf zwei Effekte zurückzuführen: Bei den kleineren Transpondern (12 und 23 mm) ist eine stärkere Gewebeüberdeckung gegeben (die Hohlnadellänge blieb bei der Injektion konstant, um die verschiedenen Transponder an der gleichen Stelle wie die 32 mm-Transponder unter dem Scutulum abzulegen). Es ist aber nicht auszuschließen, daß kleinere Transponder bei gleicher Gewebeüberdeckung (ca. 1 cm) nicht eine ähnlich hohe Verlustrate wie die 32 mm-Transponder aufweisen. Schließlich bieten die kleineren Transponder gegenüber den Bewegungen des umliegenden Gewebes möglicherweise einen geringeren Widerstand. Dieser Effekt kann sowohl für die geringere Häufigkeit der Verschiebungen als auch das geringere Ausmaß der Migrationen ausschlaggebend sein.

Die längeren Wegstrecken der 12 mm- gegenüber den 23 mm-Transpondern (Abb. 66 bis 68) sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß bei den kleineren Injektaten die Ablagegenauigkeit unter der Mitte des Scutulums geringer war und sich dieser Fehler auch in den Resultaten widerspiegelte. Ihre „wahre" Migration könnte daher in einem ähnlich niedrigen Bereich wie bei den 23 mm-Transpondern liegen.

Der Trend, daß mit zunehmendem *Tieralter / höherem Lebendgewicht* bei der Injektion Lageveränderungen in geringerem Maße auftreten, kann ebenfalls mit dem Widerstand gegenüber dem umgebenden Gewebe in Zusammenhang gebracht werden. Bei zunehmendem Lebendgewicht vergrößert sich der „Raum" um den Transponder. Dadurch könnten seitliche oder axiale Kräfte in geringerem Maße wirksam werden, die den Transponder in eine bestimmte Richtung bewegen. Es gilt jedoch beim Vergleich der Gewichtsgruppen auch zu berücksichtigen, daß die Verweildauer der Transponder in den älteren Tieren (60 bzw. 80 kg LG) bis zur Schlachtung geringer war und dadurch dem Injektat eine geringere Zeitspanne für Lageveränderungen zur Verfügung stand. Bei gleicher Zeitspanne könnten sich daher ähnliche Werte wie bei der jüngsten Gruppe ergeben.

Schließlich ist aus den Röntgenbildern eine generelle Zu- oder Abnahme der Migrationen mit der Verweildauer im Tier nicht erkennbar. Wäre eine Verminderung der Migration mit zunehmendem „Raum" für den Transponder im Zuge des Tierwachstums festzustellen, so wäre die Aussage „je später die Injektion erfolgt, desto geringer ist die Migration" möglich. Aufgrund der vorliegenden Resultate kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß Migrationen in einem späteren Lebensabschnitt „sporadisch" auftreten können und damit unabhängig vom Injektionszeitpunkt und der Verweildauer sind.

Eine klare Gewichtung der verschiedenen Einflüsse im Hauptversuch I auf die Migration ist nicht möglich. Entsprechende Hinweise zur Abhängigkeit der Migration von Transpondern vom Tieralter, der Transpondergröße oder der Verweildauer im Tierkörper sind auch in der Literatur nicht gegeben. Um die Frage nach den langfristigen Lageveränderungen zu beantworten, sind daher Versuche mit Tieren erforderlich, die die Transponder ebenfalls zu einem frühen Zeitpunkt injiziert bekommen, aber ein höheres Lebensalter erreichen (z.B. Schlachtung als Mastbullen).

Im Gegensatz zu den Einflußfaktoren im Hauptversuch I bewirkt die *PTFE-Beschichtung* eine deutliche Verminderung von Verschiebungen bzw. Migrationen. Als Ursache für das Ausbleiben von Verschiebungen ist sicherlich die erhöhte Adhäsion im Gewebe zu sehen (Kap. 5.2.2). Bei der Verminderung der Migration kommt möglicherweise ein stärkeres Eindringen von Körperzellen in die Poren des Kunststoffes zum Tragen, wodurch eine intensivere Verbindung der Transponderoberfläche mit dem Kapselgewebe und dem umgebenden Gewebe entstehen könnte. Eine genauere Betrachtung der Zusammenhänge erfolgt im Kap. 5.2.5.

Die Resultate zu Migrationen aus dem Röntgenverfahren können nicht direkt mit den Ergebnissen zur Migration im Sezierverfahren verglichen werden, da in den Röntgenbildern eine Verkleinerung der Maßstäbe erfolgte. Wichtig erscheint es jedoch, daß die tatsächlichen Wegstrecken im Röntgenverfahren stets *kleiner* als im Sezierverfahren waren. Daher lassen sich gravierende Fehler bei der Messung der Wegstrecken im Sezierverfahren ausschließen. Die Röntgenbilder bestätigten zudem, daß die Streuung der Transponderposition bei der Injektion relativ gering war.

Aus Sicht der Transponderentnahme aus dem Schlachtkörper ist die Ermittlung der Migration auch mit dem Sezierverfahren hinreichend genau, da sie bei Überschreiten von 3 cm (von der Mitte des Scutulums) mit hoher Sicherheit festzustellen war. Da das Scutulum auch im normalen Schlachtprozeß den „Referenzpunkt" für die Entnahme des Transponders darstellt, ist davon auszugehen, daß der Transponder sicher entnommen werden kann, wenn er den Bereich unter dem Knorpel nicht verlassen hat. Der Bereich von 3 cm um das Scutulum (gemessen vom Mittelpunkt) stellt keinen Grenzwert im eigentlichen Sinne dar, da eine Überprüfung der Entnahmesicherheit unter praktischen Voraussetzungen fehlt.

Aus den Ergebnissen zur Lageveränderung der Transponder (Hauptversuch I und II) sind folgende Aussagen zusammenzufassen:

- Das Ausmaß der Migrationen ist zwar insgesamt gering, es können jedoch sporadische Lageveränderungen (bis zu 6 cm in ca. 4 Monaten) auftreten.
- Die größere Oberflächenrauhigkeit des Glases führt nicht zu geringeren Migrationen.
- Durch die Wahl eines späteren Zeitpunktes für die Injektion und die Verwendung kleinerer Transponder treten Lageveränderungen (Verschiebungen, Migrationen)

zwar seltener auf, sie sind aber nicht mit Sicherheit auszuschließen. Beide Einflußgrößen zeigen lediglich eine Tendenz zu höherer Lagestabilität.

- Die großen Streuungen der Meßwerte (Maximalwerte) bei der Migration der unbeschichteten Transpondern lassen vermuten, daß die wichtigsten Einflußgrößen, die eine hohe Lagestabilität bewirken, nicht mit erfaßt wurden.
- Eine PTFE-Beschichtung (PTFE-Belag oder e-PTFE-Schlauch) besitzt unter den untersuchten Faktoren den stärksten positiven Einfluß auf die Lagestabilität.

Da die Anzahl an Versuchstieren je Gruppe gering war, können aus diesen Untersuchungen noch keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden. Für die Glastransponder wie auch für die PTFE-Transponder ist eine Wiederholung der Versuche mit einer größeren Anzahl an Tieren notwendig.

5.2.4 Gesundheitszustand der Versuchstiere

Nach der Injektion der Transponder erfolgte zunächst täglich, dann wöchentlich eine Kontrolle der Einstichstellen durch Abtasten. Ergänzend zur palpatorischen und visuellen Kontrolle wurden bei den Kälbern während 2 Wochen nach der Injektion tägliche Messungen der rektalen Körpertemperatur durchgeführt (118 Tiere).

Während der gesamten Beobachtungsperiode konnten keine Schwellungen, Ausfluß oder schmerzbedingte Reaktionen festgestellt werden. Darüber hinaus konnten keine mit der Injektion in Zusammenhang stehenden Erhöhungen der Körpertemperatur festgestellt werden. Bei insgesamt 236 Injektionen wurden in 21 % der Fälle leichte Blutungen festgestellt, die nach spätestens 5 min gestillt waren. In 3 Fällen (1,2 %) hielten die Blutungen länger als 5 min an, jedoch waren keine Maßnahmen zur Blutungsstillung (Verband usw.) notwendig. Zwischen den einzelnen Gruppen konnten keine Unterschiede in der Häufigkeit der Blutungen gefunden werden.

Möglicherweise besitzt die Injektionsrichtung einen starken Einfluß auf die Häufigkeit und Intensität von Blutungen, da hierbei Blutgefäße in unterschiedlichem Maße verletzt werden können (NICKEL et al.[38][25]). Die Untersuchungen bezogen sich nur auf die laterale Injektionsrichtung (R_{lat}).

---

[25] a.a.O.: Bd. 3, S. 112; S.238, S. 239

5.2.5 Histologische Befunde

Bei der Entnahme der Gewebeproben war makroskopisch nur zwischen den Glastranspondern und den PTFE-beschichteten Injektaten ein Unterschied erkennbar. Die Transponder aus rauhem und glattem Glas besaßen beide eine dünne, fast durchsichtige Bindegewebskapsel. In manchen Fällen konnte der Transponder, zusammen mit dem Kapselgewebe, in einem begrenzten Bereich bewegt werden. Die mit PTFE beschichteten Injektate dagegen waren von einer deutlich stärkeren Bindegewebskapsel umgeben.

In den mikroskopischen Untersuchungen war bei allen untersuchten Proben die Bildung einer bindegewebigen Kapsel um den Transponder mit zum Teil sehr unterschiedlicher Gesamtwandstärke (W_{ges}) festzustellen. Durch eine „kompaktere" Lagerung, eine unterschiedlich starke Infiltration von Leukozyten und durch eine konzentrische Anordnung von kollagenen Fasern um den Transponder ergab sich eine Abgrenzung verschiedener Schichten. Zum umliegenden Gewebe bestanden teilweise klare Grenzen, teilweise undeutlichere, vernetzte Übergänge.

Transponder mit rauher und glatter Glasoberfläche

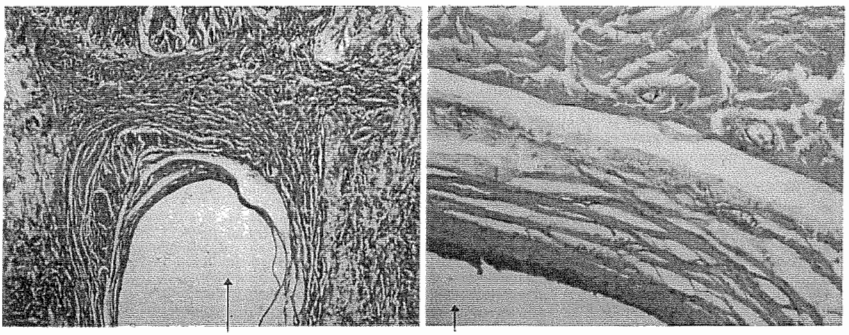
Bei umgebendem Fettgewebe (auch bei stellenweise vorhandenen Muskelfasern) war die Bindegewebskapsel stets einschichtig ausgebildet ($W_{ges} = W_1$, Tab. 17, Abb. 70). Die Dicke der Kapsel variierte zwischen 15 und 180 µm. An den Stellen mit vorwiegend lockerem Bindegewebe konnten zwei Schichten unterschieden werden (W_1 und W_2), die zusammen bis zu 350 µm Wandstärke erreichten. Unter der Voraussetzung des jeweils gleichen umgebenden Gewebes konnten zwischen den beiden Glasoberflächen glatt und rauh keine Unterschiede der Wandstärke gefunden werden.

Die Infiltration mit Leukozyten war in den meisten Fällen als gering (-) bis leicht erhöht (+) einzustufen. Es lagen keine akuten Entzündungen vor. Eine im Vergleich zum „normalen" Gewebe stärkere Konzentration an Leukozyten befand sich stets unmittelbar um den Glaskörper (+ bis maximal ++). Bezüglich der beiden Glasoberflächen waren keine Unterschiede im Anteil der Leukozyten festzustellen.

Tab. 17: Kapselbildung bei Transpondern mit rauhem und glattem Glas

Tier Nr. / Transponder oberfläche	vorwiegende Art des umgebenden Gewebes	Kapselaufbau W_1: einschichtig W_2: zweite Schicht	Wandstärke (µm)	Anteil Leukozyten
1 glatt	Fettgewebe	W_1	15 bis 180	-
1 rauh	Fettgewebe	W_1	15 bis 130	-
2 glatt	Fettgewebe	W_1	25 bis 65	- bis +
2 rauh	Fettgewebe, stellenweise Muskelfasern	W_1	40 bis 65	- bis +
3 glatt	lockeres Bindegewebe	$W_1 + W_2$	W_1 80 bis 220 W_2 40 bis 130	W_1 ++ W_2 -
3 rauh	Muskelgewebe	W_1	15 bis 25	- bis +
4 glatt	Fettgewebe, teilweise lockeres Bindegewebe	W_1 bei Fettgewebe $W_1 + W_2$ bei Bindegewebe	50 bis 65 90 bis 160	- bis + - bis +
4 rauh	Fettgewebe, teilweise lockeres Bindegewebe	W_1 bei Fettgewebe $W_1 + W_2$ bei Bindegewebe	40 bis 65 50 bis 130	- bis + - bis +

- geringer Anteil Leukozyten, dem „normalen Gewebe entsprechend, + leicht erhöhter Anteil, ++ erhöhter Anteil, +++ starke herdförmige Ansammlung



Transponder herauspräpariert

Abb. 70: Bindegewebskapsel um den Transponder mit glatter Glasoberfläche (Vergrößerung 25-fach (links) und 100-fach (rechts); H.-E.-Färbung)

Bei einem Präparat (Kalb Nr. 3) befanden sich *außerhalb* der Bindegewebskapsel Haareinschlüsse, die vermutlich bei der Injektion mit in den Einstichkanal gelangt waren. Im engen Umkreis dieser Haarpartikel befanden sich herdförmige Ansammlungen von Leukozyten, wobei ihre Konzentration an diesen Stellen deutlich stärker (+++) als im unmittelbaren Bereich des Transponders (+) war. Allerdings lag auch bei diesem Tier trotz der verstärkten Ansammlung von Leukozyten keine akute Entzündung (mit eitrigem Ausfluß oder Schwellungen) vor.

PTFE-Transponder

Die kunststoffbeschichteten Transponder waren vorwiegend von lockerem Bindegewebe, nur stellenweise von Fettgewebe umgeben. Sowohl beim PTFE-Belag als auch beim e-PTFE-Schlauch bildete sich eine mit dem umschließenden Gewebe undeutlich vernetzte Bindegewebskapsel. In beiden Fällen wurde der Kunststoff von den Gewebezellen vollständig durchwachsen. Er war beim Herausziehen des Transponders im Präparat verblieben und konnte anhand seiner helleren Farbe deutlich vom übrigen Gewebe unterschieden werden (W_k, Abb. 71 und 72).

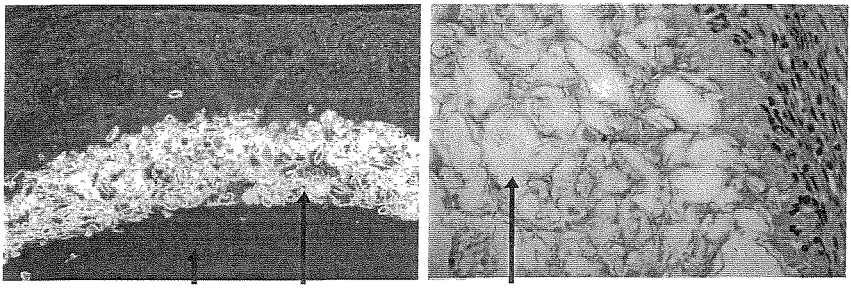
Unterschiede zwischen den beiden Beschichtungen zeigten sich im Einwachsen der Zellen in die Oberfläche (Tab. 18). Beim PTFE-Belag drangen nur Zellausläufer in die Poren ein (W_k), Zellkerne waren nur selten darin zu finden. Leukozyten befanden sich nur außerhalb der Beschichtung. Nach außen schloß sich, wie bei den Proben mit lockerem Bindegewebe, eine W_1- und W_2-Schicht an (PTFE-Belag: $W_{ges} = W_k +$

Tab. 18: Kapselbildung bei PTFE-Transpondern

Tier Nr. Oberfläche	vorwiegende Art des umgebenden Gewebes	Kapselaufbau W_1: erste Schicht W_2: zweite Schicht W_k: Kunststoff	Wandstärke (µm)	Anteil Leukozyten
5 PTFE-Belag	Fett- und lockeres Bindegewebe	$W_k + W_1 + W_2$	W_{ges} 260 bis 550	W_k - W_1 ++ W_2 - bis +
6 PTFE-Belag	Fett- und lockeres Bindegewebe	$W_k + W_1 + W_2$	W_{ges} 260 bis 570	W_k - W_1 ++ W_2 - bis +
7 e-PTFE-Schlauch	Fett- und lockeres Bindegewebe	$(W_k, W_1) + W_2$	W_{ges} 400 bis 930	(W_k, W_1) + bis ++ W_2 - bis +

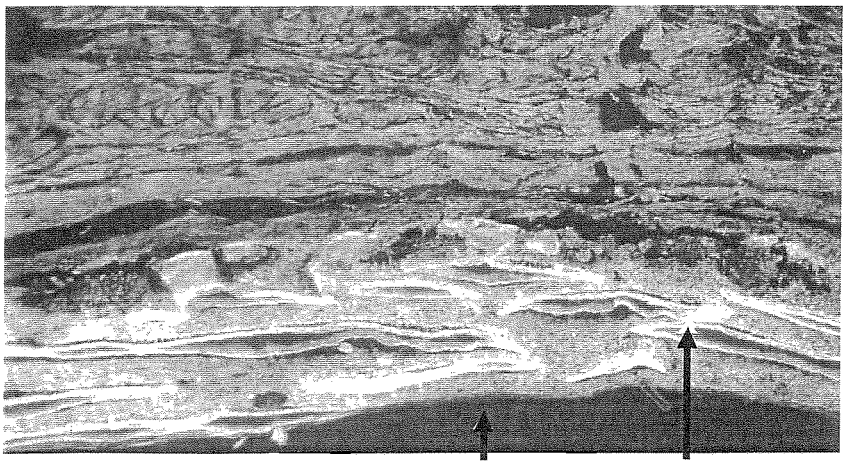
- geringer Anteil Leukozyten, dem „normalen Gewebe entsprechend, + leicht erhöhter Anteil, ++ erhöhter Anteil, +++ starke herdförmige Ansammlung

$W_1 + W_2$). Beim e-PTFE-Schlauch hingegen wanderten auch die Zellkerne zwischen die Poren ein. Die W_1-Schicht war quasi in den Zwischenräumen des e-PTFE enthalten. Der Anteil an Leukozyten in dieser Schicht lag bei + bis ++. Außerhalb des Schlauches lag die W_2-Schicht ((W_k, W_1) + W_2). Der Anteil an Leukozyten war dort bereits ähnlich gering wie im umgebenden Gewebe. Die Gesamtwandstärke der Kapsel erreichte beim e-PTFE-Schlauch Werte bis zu 900 µm.



Transponder herauspräpariert PTFE PTFE

Abb. 71: Bindegewebskapsel um den Transponder mit PTFE-Belag (Vergrößerung 100-fach (links) und 400-fach (rechts); H.-E.-Färbung)



Transponder herauspräpariert e-PTFE

Abb. 72: Bindegewebskapsel um den Transponder mit PTFE-Schlauch (Vergrösserung 100-fach; H.-E.-Färbung)

Die Verwendung injizierbarer Transponder setzt voraus, daß eine ausreichende Gewebeverträglichkeit gegeben ist (d. h. daß der Fremdkörper im Gewebe keine akuten längerfristigen Entzündungen hervorruft). Diese Vorbedingung konnte für die untersuchten Proben bestätigt werden. Die Ergebnisse decken sich für die Kapselbildung bei den Glastranspondern mit anderen, in der Literatur angegebenen Resultaten (BEHLERT [5], [6], DORN [14], GABEL et al. [19], ARNDT et al. [2]).

Von BEHLERT [6] werden für die Wandstärke der Bindegewebskapsel (12 mm-Transponder) Werte von 20 µm bis 100 µm angegeben. Seine Untersuchungen bezogen sich auf verschiedene Zootiere, wobei die Ergebnisse allerdings aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Tierarten als vergleichbar eingestuft werden. Eine Differenzierung nach verschiedenen Gewebearten wurde nicht getroffen.

In den hier dargestellten Ergebnissen lag die Wandstärke der Bindegewebskapsel bei den Glastranspondern (Fett- oder Muskelgewebe) mit 15 bis 180 µm in der gleichen Größenordnung. Wird im lockeren Bindegewebe nur die kompaktere Schicht W_1 betrachtet, so entspricht diese ebenfalls den Ergebnissen von BEHLERT ([6] 20 bis 80 µm).

Hinweise zum Unterschied zwischen rauhen und glatten Glastranspondern finden sich in der Literatur nicht. Ebenfalls sind keine Untersuchungen zum Verhalten von PTFE-beschichteten Transpondern bekannt. Vergleiche können daher nur mit Untersuchungen aus der Humanmedizin bzw. aus Tierversuchen zur allgemeinen Verträglichkeit des Materials gezogen werden.

Die Gewebeverträglichkeit des PTFE wurde von mehreren Autoren eingehend untersucht und bestätigt (BOYCE [7]; CAMILLERI et al. [9], CLOVES et al. [10], LAW [33], STOLTZ [53], WELZ et al. [57]). e-PTFE wird aufgrund seiner hohen chemischen Stabilität als immunologisch unbedenklich eingestuft und ist daher für Implantate geeignet. Da für den PTFE-Belag kein Unterschied in der chemischen Zusammensetzung besteht, ist auch hier von einem inerten Verhalten auszugehen.

Das vorrangige Ziel für den Einsatz dieses Kunststoffes besteht in der Humanmedizin darin, auf der Innenseite von z. B. künstlichen Gefäßen eine Neointima zu erhalten (Gewebeneubildung an der Schlauchinnenfläche). Dabei dringen zumeist Fibrozyten in den Kunststoff ein. Ein weiteres Beispiel sind sogenannte „patches", die als

flächige Implantate für den Ersatz von Gewebeschichten (z. B. Unterhaut) verwendet werden. Von BRANSON et al. [8] wurden die Vorgänge näher untersucht, die sich beim Einwachsen der Zellen in den Kunststoff abspielen. Sie stellten fest, daß bei bestimmten Porengrößen des PTFE innerhalb der ersten 4 Tage eine Anfüllung der Zwischenräume mit einer homogenen Proteingrundsubstanz erfolgt. Diese Substanz wird in den folgenden 3 Monaten durch kollagene Fasern ersetzt, die schließlich eine festere Verbindung mit dem umliegenden Gewebe herstellen. In den hier untersuchten PTFE-beschichteten Transpondern konnten ebenfalls in die Kunststoffoberfläche eingedrungene Zellen festgestellt werden. Je nach der Größe der Poren wuchsen entweder nur Zellausläufer (beim PTFE-Belag) oder ganze Zellen (beim e-PTFE-Schlauch) ein.

Die in den Versuchen zur Lageveränderung vermutete Ursache für eine geringere Migration von beschichteten Transpondern - nämlich eine stärkere Vernetzung des Kapselgewebes mit dem „normalen" Gewebe - konnte aus den histologischen Untersuchungen und aus der Literatur noch nicht eindeutig bestätigt werden. Die Ausbildung einer deutlich stärkeren Kapsel kann hier lediglich als ein Hinweis für einen solchen Zusammenhang dienen. Notwendig wäre hierbei ein klarer Vergleich von jeweils gleichen Transpondern in verschiedenen Gewebearten (Fett- / Muskelgewebe fehlen hier zum vollständigen Vergleich) und eine deutlichere Darstellung möglicher Vernetzungen zum umliegenden Gewebe.

Eine sogenannte „Antimigrationshülse" aus gewebeverträglichem Polypropylen, die den Transponder zur Hälfte seiner Länge abdeckt, wird von ARNDT et al. [2] beschrieben (12 mm, System INDEXEL®). Die Wirkung der Hülse bezüglich der Migration wird jedoch nicht auf ein Einwachsen von Zellen in die Oberfläche, sondern vielmehr auf einen „mechanischen Widerstand" zurückgeführt. Ein weiterer Vorteil der Polypropylenhülse liegt darin, daß der Transponder durch die Hülse in der Hohlnadel gehalten wird, was bei anderen Systemen beispielsweise durch eine Desinfektionssalbe bewirkt wird.

Die Ergebnisse zu den Beobachtungen des Gesundheitsstatus und den histologischen Untersuchungen werden wie folgt zusammengefaßt:

- Keiner der in den Tierversuchen verwendeten Transponder rief akute Abstoßungs- oder Entzündungsreaktionen hervor.

- Die unterschiedliche Rauhigkeit der Glasoberfläche ergibt keine sichtbaren Unterschiede in der Ausbildung der Bindegewebskapsel.
- Stärkere Unterschiede des Aufbaues und der Wandstärke der Gewebekapsel resultieren aus der umgebenden Gewebeart (lockeres Bindegewebe zu Fettgewebe / Muskelgewebe) und aus der Verwendung unterschiedlicher Materialien (Glas und PTFE).
- Eine direkte Verbindung durch Einwachsen von Zellen in die Transponderoberfläche ist nur bei einem porösen Material (hier: e-PTFE-Schlauch und PTFE-Belag) gegeben.

5.3 Schlußfolgerungen aus den Versuchen zum Verhalten der Transponder im Tierkörper

Aus den dargestellten Ergebnissen der Tierversuche sind, gemäß den in der Problemstellung aufgeführten Fragestellungen, Folgerungen für die Einsatzfähigkeit der injizierbaren Transponder in der Rinderhaltung zu ziehen.

Die *Injektion* eines Transponders mit 32 mm Länge ist bei neugeborenen Kälbern möglich, wenn eine laterale oder okzipitale Injektionsrichtung (R_{lat} oder R_{ox}) gewählt wird. Diese beiden, von der bisherigen empfohlenen Vorgehensweise abweichenden Injektionsrichtungen, erfordern jedoch ein gewisses Maß an Übung der ausführenden Person.

Unter den *Lageveränderungen* sind die *Verschiebungen* im Einstichkanal als besonders problematisch anzusehen, da sie zum Verlust des Injektates führen können. Eine Verlängerung der Hohlnadel oder Verkürzung des Transponders hätte eine tiefere Ablage und damit möglicherweise eine Verminderung von Verlusten zur Folge. Die *Migrationen* sind zwar im Mittel als gering (ca. 3 cm) einzustufen, sie können jedoch sporadisch auftreten (innerhalb weniger Wochen bis 6 cm). Sie führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem erhöhten Suchaufwand bei der Entnahme aus dem Schlachtkörper. Die beobachteten *Orientierungsänderungen* lagen durchweg in einem tolerierbaren Bereich (bis 30°), die kaum zu einer Verminderung der Erkennungssicherheit führen dürften. Die Wahl einer anderen Injektionsrichtung (z. B. R_{ok}) könnte das Auftreten von Lageveränderungen beeinflussen, sie wurde jedoch hier nicht eingehender untersucht. Da sich jedoch die anatomischen Gegebenheiten nicht

drastisch ändern (der Transponder läge nach wie vor unter dem Scutulum), ist davon auszugehen, daß sich eine solche Maßnahme nur wenig auswirkt.

Die Einflußfaktoren lassen sich nach ihrer zunehmenden „Wirkung" wie folgt einordnen:

Glasanrauhung << Tieralter (LG) = Transpondergröße << PTFE-Beschichtung

Für den praktischen Einsatz einer PTFE-Beschichtung wäre eine entsprechende Anpassung der Injektionstechnik erforderlich (Erhöhung des Hohlnadeldurchmessers).

Durch die Faktoren Tieralter/LG bei Injektion, Transpondergröße und Beschichtung sind positive Auswirkungen auf die Sicherheit der Entnahme im Schlachtprozeß zu erwarten. In Bezug auf die Transpondergröße ist davon auszugehen, daß sich bei kleineren Injektaten durch einen kleineren Erkennungsbereich auch die Erkennungssicherheit vermindert. Somit ist diese Maßnahme erst dann einsetzbar, wenn die technische Leistung der Systeme (Lesereichweite und -geschwindigkeit) weiter gesteigert wurde.

6. Einsatzuntersuchungen

Um die Sicherheit der Erkennung bei injizierbaren Transpondern zu bestimmen, wurde ihre Leistungsfähigkeit in den technischen Laborversuchen isoliert betrachtet. Es stellte sich heraus, daß die Position (Entfernung und Orientierung) zur Antenne eine der wichtigsten Einflußgrößen auf die Erkennungssicherheit darstellt. Da diese Position wiederum von der Lage im Tierkörper und schließlich von der Tierbewegung abhängig ist, war es wesentlich, diese Bereiche getrennt voneinander zu untersuchen: einerseits das Verhalten des Transponders im Tierkörper, um festzustellen, in welchem Ausmaß Änderungen der Transponderlage auftreten können, andererseits die Einbeziehung der „echten" Tierbewegung im Einsatzversuch.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den vorangegangenen Abschnitten kann nun die eigentliche Frage nach der Einsatzfähigkeit in der Praxis angegangen werden. Dazu dient auch die Untersuchung der zur Zeit angewendeten Injektionsgeräte, um entscheiden zu können, welche den zu stellenden Anforderungen genügen bzw. welche Änderungen noch durchgeführt werden müssen. Die Frage, welche Erkennungssicherheit in der Praxis erreichbar ist, wird unter Einbeziehung der Tierbewegung für den Stand und den Durchgang untersucht. Von wesentlicher Bedeutung ist schließlich die Praktikabilität der Entnahme des Transponders aus dem Schlachtkörper.

6.1 Injektion mit verschiedenen Geräten

Die Transponderhersteller bieten unterschiedliche Injektionsgeräte an, die für verschiedene landwirtschaftliche Nutztiere und Heimtiere vorgesehen sind. Die Geräte von vier Herstellern (D, E, N, T, Kap. 2.1) wurden für die Injektion am Scutulum unter Praxisbedingungen auf ihre spezielle Eignung hin untersucht und miteinander verglichen.

Für den Vergleich wurden je Gerät 20 Transponder in lateraler Richtung (R_{lat}) injiziert. Vom Gerät E waren nur 12 mm-Transponder verfügbar, bei allen anderen kamen ausschließlich die größeren Injektate (32 mm) zum Einsatz. Auf eine Vorbereitung der Einstichstelle wie in den Tierversuchen (Scheren der Einstichstelle, zusätzliche Desinfektion der Hautoberfläche) wurde verzichtet.

6.1.1 Merkmale der Injektionsgeräte

Die Gemeinsamkeiten der Injektionsgeräte liegen im prinzipiellen Aufbau und dem Ablauf der Injektion. Da diese bereits in Kap. 5.1.1 beschrieben wurden, soll hier nicht mehr darauf eingegangen werden. Die Beschreibung der technischen Ausführungen bezieht sich auf die Unterscheidungsmerkmale.

Zu den Unterscheidungsmerkmalen zählen:

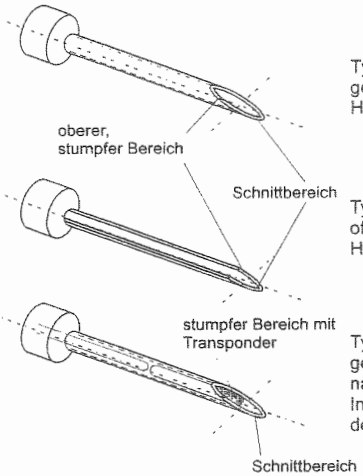
- die Ausführung der Hohlnadeln (sie kann sich auf den Eintrag von Schmutzpartikeln / Keimen auswirken) und ihre Verwendungshäufigkeit (einmal, mehrfach),
- die Art des Gerätes (Einzel- oder Mehrfachinjektionsgerät, wirkt sich auf die Handhabbarkeit und den Zeitbedarf für die Injektion aus),
- die Handhabbarkeit (Nachführung des Gerätes bei einer Tierbewegung während der Injektion),
- die Funktionssicherheit der Auslösemechanik für den Transponderausschub,
- das eingesetzte Desinfektionsmittel (mit/ohne, flüssig/Salbe),

Da die Ausführung der Hohlnadeln von besonderer Bedeutung für die Hygiene und die Handhabung ist, werden diese im folgenden kurz beschrieben (Abb. 73). Die einzelnen Merkmale der Geräte sind in Tab. 19 aufgeführt.

Die Hohlnadeln unterteilen sich in drei Typen. Während zunächst alle Hohlnadeln so angeschliffen sind, daß sie nur eine punktuelle Hautöffnung schaffen, unterscheiden sie sich deutlich in der weiteren Ausführung. Sie sind entweder geschlossen (Gerät D_1, D_2, E, Hohlnadeltyp 1), offen (Gerät T_2, Hohlnadeltyp 2) oder mit einem anstehenden Transponder versehen (Gerät N, T_1, Hohlnadeltyp 3).

Die Injektionsgeräte (Abb. 74) teilen sich auf in „Einfach"- und „Mehrfach"-Injektionsgeräte. Einzelinjektionsgeräte können nur jeweils einen Transponder aufnehmen, bei jeder weiteren Injektion muß ein neuer von „vorne", d. h. über die Hohlnadelspitze, eingeführt oder eine neue Hohlnadel mit Transponder verwendet werden.

Im zweiten Fall ist der Transponder in einer sterilen Hohlnadel enthalten, die für jede Injektion ausgetauscht wird (System E; System D_1 für 12 mm-Transponder wurde nicht weiter untersucht). Mehrfachinjektionsgeräte erfordern kein Einstecken in ein Transpondermagazin oder Wechseln der Hohlnadel zwischen den Injektionen. Der Transponder wird bei diesen Geräten von „hinten" in die Hohlnadel eingeführt. Die



	System	Transponder-größe (mm)	Verwendungs-häufigkeit
Typ1: geschlossene Hohlnadel	D_2	32	mehrfach
	E	12	einmal
	D_1	12	einmal
Typ2: offene Hohlnadel	T_2	32, 23	mehrfach
Typ3: geschlossene Hohlnadel mit bei der Injektion anstehendem Transponder	N	12, 23, 32	mehrfach
	T_1	32	mehrfach

Abb. 73: Verschiedene Ausführungen von Hohlnadeln

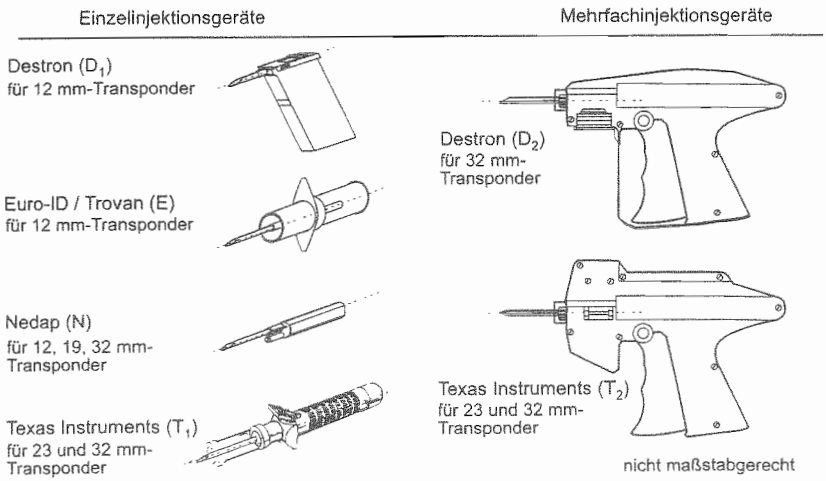


Abb. 74: Verschiedene Ausführungen von Injektionsgeräten

Hohlnadeln des Typs 1 (geschlossen) werden in beiden Arten von Injektionsgeräten verwendet, Typ 2 (offen) ausschließlich in Mehrfachinjektionsgeräten. Systembedingt können die Hohlnadeln des Typs 3 (anstehender Transponder) nicht in Mehrfachinjektionsgeräten verwendet werden, da bei diesen Geräten ein „Vor-Ausschub" des Transponders bis zur Spitze der Hohlnadel nicht möglich ist.

Tab. 19: Merkmale der Injektionsgeräte (System D_1 wurde nicht berücksichtigt)

Merkmal		System				
		E	N	T_1	D_2	T_2
Transpondergröße	12 mm	X				
	32 mm		X	X	X	X
Hohlnadeltyp	Typ 1	X			X	
	Typ 2					X
	Typ 3		X	X		
Verwendungshäufigkeit der Hohlnadel	einmal	X				
	mehrmals		X	X	X	X
Injektionsgerät (Abb. 74)	Einzel	X	X	X		
	Mehrfach				X	X
„Nachladen" des nächsten Transponders	Hohlnadelwechsel	X				
	Einstecken der Hohlnadel in Magazin		X	X		
	Weiterschieben/-drehen des Magazins				X	X
Desinfektion	steril, ohne Mittel	X				
	flüssiges Mittel (Chlorhexidin)				X	
	Salbe (Povidoniod)		X	X		X
Auslösung zum Ausschieben des Transponders	von Hand	X		X	X	X
	automatisch		X			

6.1.2 Beurteilung der Injektionsgeräte

Die günstigsten *Hygienebedingungen* bei der Injektion werden bei der Verwendung einer jeweils neuen, sterilen Hohlnadel (System E) eingehalten. Mehrfach verwendete Hohlnadeln müssen zwischen den Injektionen gereinigt und desinfiziert werden. Für eine gründliche Zwischenreinigung eignet sich die offene Hohlnadel (Typ 2, System T_2). Bei System D_2 ist eine vollständige Reinigung durch Besprühen, Abbürsten oder Eintauchen in ein Desinfektionsmittel schwierig, da die Hohlnadel geschlossen ist und auf ihrer Innenseite nach der Injektion Schmutzpartikel und Haare verbleiben.

Bei den Hohlnadeln des Typs 3 (System N, T_1) können keine Partikel in die Hohlnadel gelangen, da sie durch den vorne anstehenden Transponder verschlossen wird. Gleichzeitig wird bei jedem erneuten Einstecken in das Magazin zum „Nachladen" auch von außen ein Desinfektionsmittel aufgetragen. Demnach bietet Typ 3 unter den mehrfach verwendeten Hohlnadeln die vergleichsweise besten Hygienebedingungen.

Die Injektionsgeräte weisen insgesamt eine *gute Funktionssicherheit* auf. Eine wesentliche Eigenschaft des Systems N ist eine automatische Auslösung des Transponderausschubes. Da die Auslösung nicht mehr durch die Hand vorgegeben ist, kann beim Herausziehen der Hohlnadel auf eine weitere Vorrichtung zum Zurückziehen des Gerätes (siehe Abb. 74, Abstandhalter) verzichtet werden. Allerdings kann der automatische Transponderausschub zu früh auslösen, wenn schräg zur Hautoberfläche eingestochen wird.

Das *Zeitintervall zwischen den Injektionen* zum „Nachladen" des nächsten Transponders und zum Reinigen der Hohlnadel muß zum Gesamtzeitbedarf für die Injektion hinzugerechnet werden. Bei Einhaltung der Hygienevorgaben können sich auch für die Mehrfachinjektionsgeräte Zeiten ergeben, die im Bereich derer der Einzelinjektionsgeräte liegen. Beim System N und T_1 ist eine weitgehende Reduzierung der notwendigen Zwischenarbeiten (kein Wechsel der Hohlnadel, Reinigung durch Einstecken in Magazin) erreicht worden. Einer ersten Einschätzung nach ergibt sich die folgende Rangordnung mit abnehmendem Zeitbedarf:

hoher Anteil	**geringer Anteil für Zwischenarbeiten**
Einzelinjektionsgeräte	Mehrfachinjektionsgeräte
System E >> System T_1 > System N > System D = System T_2	

Die *Nachführung* des Gerätes bei einer plötzlichen Bewegung des Tieres während der Injektion ist bei den kleineren Einzelinjektionsgeräten besser möglich. Allerdings spricht das höhere Gewicht und der pistolenartige Griff der Mehrfachinjektionsgeräte für eine sicherere Führung. Die Abwägung der Vorteile und Nachteile kann je nach der durchführenden Person unterschiedlich ausfallen.

Für keine der Techniken wird derzeit eine an die Tiergröße bzw. den Injektionsort *anpaßbare Hohlnadellänge* angeboten (Vorgabe der Gewebeüberdeckung). Dies

wäre, abgesehen von den unterschiedlichen Platzverhältnissen am Scutulum des Kalbes, auch für andere Tierarten wünschenswert (z. B. Ferkel). Die Beurteilungen sind in Tab. 20 zusammengestellt. Wie daraus hervorgeht, ist derzeit keines der untersuchten Systeme als optimal anzusehen, Vorteile in einem Bereich werden durch Nachteile in anderen ausgeglichen.

Tab. 20: Beurteilung der Injektionsgeräte verschiedener Hersteller (Stand 1994, Injektionsort Scutulum)

System	E	N	T_1	D_2	T_2
Verschmutzung der Hohlnadelinnenseite	**nein** (geringe Gefahr beim Einstechen, aber keine Übertragung von Tier zu Tier)	**nein** (kein Eintrag durch anstehenden Transponder)	**nein** (kein Eintrag durch anstehenden Transponder)	**ja** (Reinigung innen schwierig)	**ja** (Reinigung innen einfach)
Handhabung	**ausreichend** (Ausschiebebetätigung klemmt, bei Tierbewegung jedoch gute Nachführung)	**sehr gut** (gute Nachführung des Gerätes bei Tierbewegungen)	**sehr gut** (gute Nachführung des Gerätes bei Tierbewegungen)	**gut** (schwierige Nachführung bei Tierbewegung)	**gut** (schwierige Nachführung bei Tierbewegung)
Anteil an Arbeitsgängen beim Nachladen und Reinigen	**hoch** (Hohlnadelwechsel, Verpackung) **mittel** wenn nur Hohlnadelwechsel	**gering** (Spannen des Stiftes und Desinfizieren durch Einstecken in Magazin in 1 Arbeitsgang)	**gering** (Spannen des Stiftes und Desinfizieren durch Einstecken in Magazin in 1 Arbeitsgang)	**gering** bei Verzicht auf Reinigung **mittel** wenn Zwischenreinigung der Hohlnadel	**gering** bei Verzicht auf Reinigung **mittel** wenn Zwischenreinigung der Hohlnadel
Anpaßbarkeit der Hohlnadellänge an verschiedene Altersstufen	**nein**	**nein**	**nein**	**nein**	**nein**

Den genannten Kriterien nach könnte ein optimiertes Injektionsgerät folgende Eigenschaften besitzen:

- Das Einzelinjektionsgerät des Systems N könnte als Grundlage dienen. Wichtig erscheint die Desinfektion der Hohlnadel von außen unter Verwendung des

Hohlnadeltyps 3. Ein im Verhältnis zum jetzigen System größerer Handgriff würde zu einer Verbesserung der Handhabung führen.

- Eine Anpassung der Hohlnadellänge an die erforderliche Einstichtiefe könnte durch einen verschiebbaren Abstandhalter ermöglicht werden. Dabei bliebe die Abstimmung zwischen Ausschiebedorn und Hohlnadellänge erhalten.
- Durch eine Handauslösung könnte der Transponder auch bei ungünstigen Bedingungen, z. B. bei schrägem Einstich, sicher injiziert werden.
- Durch die Verwendung eines Leitstiftes, der an die Gegebenheiten des Injektionsortes Scutulum angepaßt ist, könnte eine verbesserte Tiefenführung der Hohlnadel erreicht werden (ähnlich dem Leitstift, der auch für die Injektionen in den Ohrgrund beim Schwein verwendet wird).

6.2 Bestimmung der Erkennungssicherheit

Nachdem aus den technischen Laborversuchen bekannt ist, wie sich die Faktoren Entfernung und Orientierung auswirken können (Kap. 4.3) und sich in den Tierversuchen herausgestellt hat, daß sich die Lage des Transponders im Tierkörper in begrenztem Maße verändern kann (Kap. 5.3), stellt sich die Frage, welche Sicherheit der Erkennung im praktischen Einsatz, unter dem Einfluß der „echten" Tierbewegung, erreicht wird.

Den Anforderungen aus der Praxis entsprechend, sind die folgenden Versuche in zwei Teile untergliedert. Im ersten Teil wird die Erkennung im Stand (Beispiel Kälbertränke) überprüft, im zweiten Teil die Erkennung im Durchgang (Beispiel Treibgang, Mastbullenhaltung).

6.2.1 Methodik

Erkennung im Stand

Zur Bestimmung der Auswirkung von unterschiedlichen Entfernungen und Transponderorientierungen auf die Erkennungssicherheit im Stand wurden zwei Gruppen von Kälbern (je 12 Tiere mit ca. 90 kg LG) 32 mm-Transponder (System TIRIS) auf der rechten Kopfseite injiziert. Die erste Gruppe hatte Zugang zu einem Tränkeautomaten, an dem sich die Ausleseantenne (L_1) auf der rechten Kopfseite in 20 bis

30 cm Entfernung befand. Im Stand der zweiten Gruppe dagegen war sie auf der linken Seite, in einem Abstand von 30 bis 40 cm zum Transponder angebracht. Innerhalb jeder Gruppe wurden je 4 Kälbern Transponder in axialer (R_{ax}), lateraler (R_{lat}) und okzipitaler Richtung (R_{ok}, Kap. 5.2.1) injiziert. Über die Anzahl der Identifizierungen pro Tag und die Aufenthaltsdauer im Stand (erste und letzte Identifizierung) konnten die Identifizierungen pro Sekunde bestimmt und damit auf die Erkennungssicherheit geschlossen werden. Die Datenaufnahme erfolgte im Zeitraum von zwei Wochen.

Erkennung im Durchgang

Zur Bestimmung der Erkennungssicherheit von Rindern im freien Durchgang wurden in einem Treibgang mit 85 cm Breite und ca. 50 m Länge (Abb. 75) eine einzelne (L_3), dann zwei Ausleseeinheiten mit kombinierten Antennen (Antennenkombination II, 2 x L_3 siehe Kap. 4.1.1) installiert. Die Einzelantenne befand sich auf der rechten Seite in Laufrichtung, da auch der Transponder auf der rechten Kopfseite injiziert war (R_{ax}).

Der Meßaufbau ist Abb. 76 zu entnehmen. Zur Erfassung der Durchlaufgeschwindigkeit befanden sich in der Mitte der Antenne zwei Lichtschranken. Zur Kontrolle der Tiererkennung wurde über dem Treibgang eine Videokamera installiert, um die Anzahl der „Nichterkennungen" festzuhalten. Die Sendeleistung betrug für die einzelne Ausleseantenne 127 und für die kombinierten Antennen 127/131 dBµV/m. Im Unterschied zu den technischen Laborversuchen (Kap. 4.2.2.2 und 4.2.3) wurden die Antennen nicht hochkant sondern waagerecht in einer Höhe von 40 cm über dem Boden angebracht (Abb. 75). Hierdurch sollte der hohen zu erwartenden Durchlaufgeschwindigkeit der Tiere entsprochen werden; in einem breiteren Feld der Antenne steht dem Transponder eine längere Zeitspanne im Erkennungsbereich zur Verfügung.

Die Versuche mit der Einzelantenne wurden mit 3 Gruppen Mastbullen in unterschiedlichen Gewichtsklassen (100 - 200, 200 - 400, 400 - 600 kg LG mit je 27, 12, und 8 Tieren) durchgeführt. Für die Untersuchungen mit den kombinierten Antennen wurde nur eine Gruppe mit 8 Tieren der Gewichtsklasse 200 bis 400 kg LG ausgewählt.

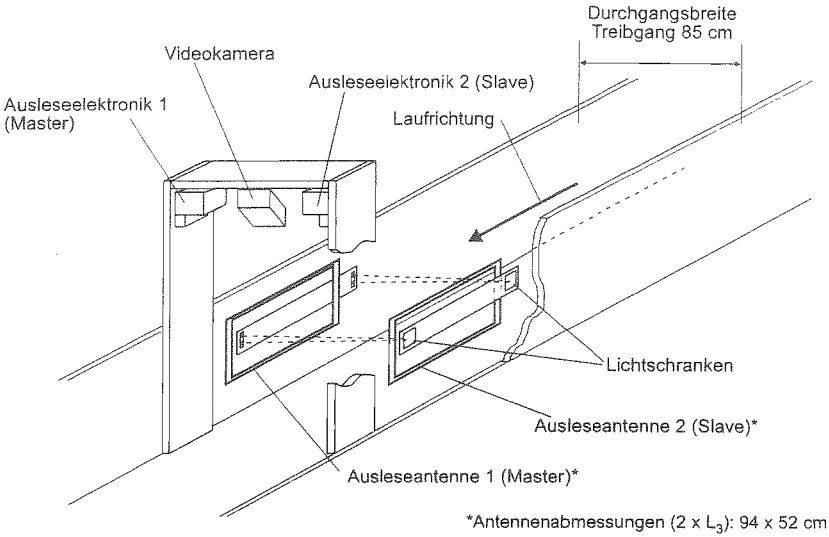


Abb. 75: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Erkennungssicherheit von Bullen im Durchgang

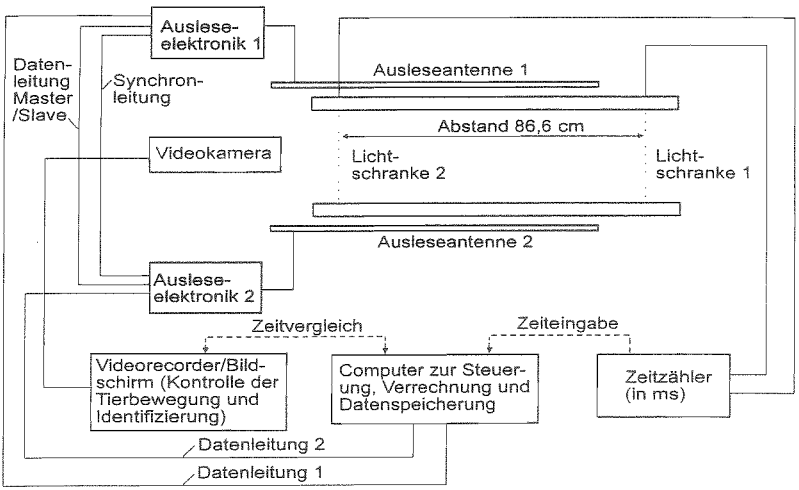


Abb. 76: Schema der Anordnung von Auslese- und Meßelektronik zur Bestimmung der Erkennungssicherheit von Bullen im Durchgang

6.2.2 Ergebnisse zur Erkennung im Stand und im Durchgang und Diskussion

Erkennung im Stand

In Abb. 77 sind die Identifizierungen pro Sekunde für die drei Injektionsrichtungen und Entfernungen als Mittelwerte mit den jeweiligen Standardabweichungen dargestellt. Die Anzahl der erfaßten Signale pro Tier und Tag variierte zwischen 550 und 1.200.000.

Die Kälber der Gruppe 1, bei denen sich die Ausleseantenne in einer kürzeren Entfernung von 20 bis 30 cm zum Transponder befand, wurden mit einer insgesamt höheren Rate erfaßt als die Tiere der Gruppe 2. Die unterschiedliche Entfernung der Ausleseantenne wirkte sich bei Richtung R_{ax} und R_{ok} in etwas stärkerem Maße auf die Anzahl der Identifizierungen aus, als bei der Richtung R_{lat}. In R_{ax} und R_{ok} injizierte Transponder wurden innerhalb der Gruppen sicherer erfaßt als in R_{lat}. Zwischen den beiden Injektionsrichtungen R_{ax} und R_{ok} bestand innerhalb der Gruppen nur ein geringer Unterschied.

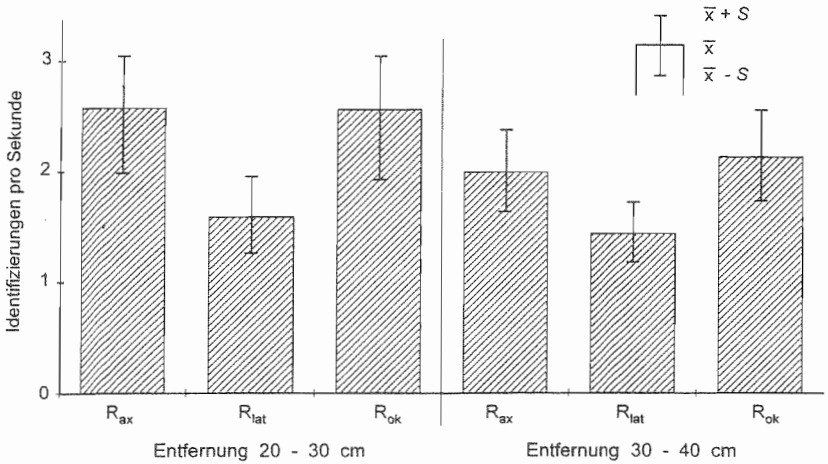


Abb. 77: Auslesehäufigkeit der Transponder in Abhängigkeit von der Entfernung zur Antenne und Injektionsrichtung

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß sich die Transponderorientierung im Tier stärker auf die Anzahl der Erkennungssignale auswirkt als die Entfernung. Eine Erklärung hierfür liefern die Ergebnisse aus Kap. 4.2.4.1. (siehe Abb. 29). Die beiden Injektionsrichtungen entsprechen einer Orientierung des Transponders zur Antenne von R_{ax}: ca. 0° und R_{ok}: ca. 25° (vgl. Kap. 5.1.4.1.[26]), Da sich die Ausdehnung des Erkennungsbereiches bis zu einer Transponderorientierung von 45° nur wenig ändert, liegen die Identifizierungen pro Sekunde für R_{ax} und R_{ok} im gleichen Bereich. Demgegenüber zeigt die Abweichung über 50° (R_{lat}) eine deutliche Verminderung der Identifizierungen pro Sekunde. Während sich der Transponder in den beiden ersten Fällen innerhalb des großen Hauptsegmentes der Kopplungskurve befand, stehen bei der lateralen Injektionsrichtung nur noch die kleineren 90°-Segmente zur Verfügung. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind demnach auf die Praxis übertragbar. Es zeigt sich, daß durch die Tierbewegung nur ein begrenzter Ausgleich einer „ungünstigen" Transponderorientierung stattfindet.

Die Standzeit wurde über das erste und das letzte empfangene Signal bestimmt. Hierbei konnte zwar die unterschiedliche Anzahl der empfangenen Signale erfaßt werden, aber es erfolgte keine Beurteilung, wie lange sich das Tier bereits im Stand befand, bis die erste Identifizierung erfolgte. Diese Kontrolle würde deutlicher zeigen, inwiefern die Bewegung des Tieres zu einem Ausgleich der ungünstigen Transponderorientierung beiträgt und ob sich beispielsweise Änderungen des Tierverhaltens ergeben (z. B. gesteigerte Aggressivität oder häufigere/seltenere Besuche im Freßstand). Aufgrund der noch unvollständigen Datenerfassung wurde auf eine statistische Absicherung der Ergebnisse verzichtet. Wichtig ist allerdings die Aussage, daß unter den gegebenen Bedingungen eine sichere Erkennung möglich ist.

Verminderungen der Erkennungssicherheit im Stand können sich allerdings beim Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Faktoren ergeben, z.B. bei einem größeren Bewegungsraum bei ausgewachsenen Rindern, einer ungünstigen Transponderorientierung zur Antenne, sowie eine Transponderinjektion auf der von der Antenne abgewandten Kopfseite.

---

[26] Die Injektionsrichtungen beziehen sich in Kap. 5.1.4.1 auf den Median des Tieres. Da die Antennenachse senkrecht zum Median steht, ergibt sich die entsprechende Orientierung des Transponders durch Subtraktion von 90°

Erkennung im Durchgang

Die Erkennung von Mastbullen im Durchgang (Treibgang) erfolgte mit einer unterschiedlichen Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit vom Tiergewicht, der Tiergeschwindigkeit und der Antennenanordnung (Einzelantenne und kombinierte Antennen).

Erkennung mit Einzelantenne

Die Mastbullen passierten die Einzelantenne mit Geschwindigkeiten von 0,8 bis 4 m/s (Tab. 21). Im Geschwindigkeitsbereich bis 2 m/s wurde bei den Bullen der ersten Gewichtsklasse 63 % erkannt, im höheren Geschwindigkeitsbereich 56 %. Für die Bullen der mittleren Gewichtsklasse waren höhere Werte festzustellen, d.h. im unteren Geschwindigkeitsbereich 77 %, im oberen Bereich 70 %. Die Bullen der höchsten Gewichtsklasse wurden zu 79 bzw. 65 % erkannt.

Tab. 21: Erkennung von Mastbullen im Durchgang mit Einzelantenne (L_3, Sendeleistung 127 dBµV/m)

Tiergruppe	Geschwindigkeit in m/s	Erkennungsrate in %
Jungbullen mit 100 bis 200 kg LG (n=27)	0,8 bis 1,9	63
	2 bis 3,9	56
Bullen mit 200 bis 400 kg LG (n=48)	0,8 bis 1,9	77,3
	2 bis 3,9	70
Bullen mit 400 bis 600 kg LG (n=32)	0,8 bis 1,9	79
	2 bis 4	65

Die Unterschiede zwischen den Gewichtsgruppen lassen sich durch die unterschiedliche Körperbreite der Tiere erklären: je breiter der Körper war, desto geringer war die Möglichkeit, mit dem Kopf zur Seite auszuweichen und damit außerhalb des Erkennungsbereiches zu gelangen (maximale Reichweite für die 0°-Orientierung ca. 65 cm). Die mit zunehmender Geschwindigkeit verminderte Erkennungsrate ist durch den kürzeren Verbleib des Transponders im Erkennungsbereich zu erklären.

Aus diesen Untersuchungen ist zu folgern, daß eine sichere Erkennung von Tieren mit injizierten Transpondern unter den gegebenen Bedingungen im Durchgang nicht möglich ist. Die Erkennungsrate müßte, zumindest bei geringen Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s, nahe 100 % liegen. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden keine weiteren Wiederholungen durchgeführt.

Erkennung mit kombinierten Antennen

Alle Tiere, die den Durchgang mit zwei kombinierten Antennen passierten, wurden identifiziert (4 der 24 Durchgänge wurden nicht berücksichtigt, da die Lichtschranke nicht korrekt ausgelöst wurde. Erwähnt sei jedoch, daß auch diese Tiere erkannt wurden).

Die Geschwindigkeit und die Anzahl der empfangenen Erkennungssignale verhalten sich umgekehrt proportional (Abb. 78), im Bereich von 1 m/s wurden zwischen 7 bis 10 Signale bei der Antenne 1 und bei 5 bis 9 Signale bei der Antenne 2 empfangen. Im höheren Geschwindigkeitsbereich, bei 4 m/s, wurden für beide Antennen zwischen 2 und 3 Signale empfangen. Die Tiere mit der höchsten Geschwindigkeit (bei 5,5 m/s) wurden zumindest auf einer Antenne (1) noch mit 2 bis 3 Signalen erkannt.

Die Anzahl der Identifizierungen lag auf der rechten Antenne insgesamt höher, da sich der Transponder auf der rechten Kopfseite befand. Für die Beurteilung der Erkennungssicherheit müßten die auf beiden Antennen empfangenen Signale addiert werden. Es ist nicht von Belang, daß sie gleichzeitig auf beiden Seiten

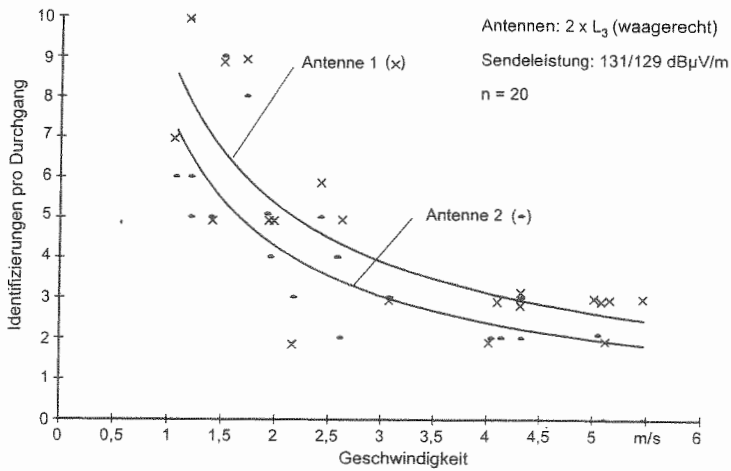


Abb. 78: Anzahl Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Mastbullen (ca. 400 kg LG) mit kombinierten Antennen

empfangen werden, wichtig ist es, daß mindestens 1 bis 2 Signale pro Durchgang registriert werden (Kap. 4.2.5.2).

Die Ergebnisse aus den Laborversuchen (Kap. 4.2.5) sind nach diesen Resultaten auf die Verhältnisse in der Praxis übertragbar. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, daß die hier gewählte Anordnung der kombinierten Antennen (II) für eine stärkere vertikale Kopfbewegung möglicherweise nicht ausreichend ist (d.h. der Bewegungsraum nicht abgedeckt ist). In diesem Falle wären die beiden Antennen, entsprechend der Anordnung in den Laborversuchen, senkrecht zu stellen, um den oberen und unteren Bereich mit abzudecken. Da sich gezeigt hat, daß in der Anzahl an übertragenen Erkennungssignalen noch eine gewisse „Reserve" liegt, könnte trotz des verkürzten Erkennungsbereiches noch eine ausreichende Lesegeschwindigkeit erreicht werden. Schließlich sind die hier gemessenen Geschwindigkeiten bis zu 5,5 m/s als extrem hoch einzustufen, im Eingang zum Melkstand oder vor Selektionstoren ist sicherlich nur ein Bereich bis 3 m/s anzusetzen.

Festzuhalten sind folgende Punkte:

- Für die Erkennung im Stand ist die Luftspulenantenne L_1 ausreichend. Sie kann, gegebenenfalls über eine Erhöhung der Sendeleistung, an die unterschiedlichen Entfernungen und Transponderorientierungen angepaßt werden. Hinzu kommt, daß das Tier durch seine Bewegungen mit dazu beiträgt, den Transponder in den Erkennungsbereich der Antenne zu bringen.
- Im Unterschied zur Erkennung im Stand, ist im Durchgang ein höherer technischer Aufwand erforderlich. Einzelantennen können nicht in ausreichendem Maße an den größeren Bewegungsraum und die höhere Geschwindigkeit der Tiere angepaßt werden. Dagegen ist bei der Anwendung von kombinierten Antennen (II) eine sichere Erkennung gegeben. Die in den Laborversuchen erzielten Ergebnisse für kombinierte Antennen sind auf die Praxis übertragbar. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse setzt jedoch eine Wiederholung der Versuche mit einer größeren Tierzahl voraus.

6.3 Überprüfung der Entnahmesicherheit im Schlachthof

Die Vorgaben des Produkthaftungsgesetzes vom 01.01.1990 [46] erfordern ein sicheres Entfernen des Transponders aus dem Schlachtkörper. Die Entnahme

geschieht zweckmäßigerweise bereits zu Beginn des Schlachtvorgangs, um ein sicheres Wiederfinden vor der Zerlegung des Schlachtkörpers zu gewährleisten. Im Schlachtvorgang sind allerdings die bestehenden verfahrenstechnischen Vorgaben zu berücksichtigen, d. h. der Schlachtprozeß darf nicht gestört werden und es darf nur ein begrenzter zusätzlicher Arbeitsaufwand verursacht werden.

6.3.1 Methodik

In ersten Versuchen zur Entnahme von Transpondern bei Mastbullen im Schlachthof wurden insgesamt 150 Kälber (je eine Gruppe mit 21, 86 und 43 Tieren) mit 32 mm-Transpondern injiziert. Das Lebendgewicht bei der Injektion lag zwischen 85 und 95 kg (Rasse: Fleckvieh). Die Mastdauer der Tiere betrug ca. 18 Monate. Die Schlachtung erfolgte bei einem Lebendgewicht von 650 bis 750 kg.

Bei der Schlachtung galt es

- die Anzahl gefundener/nicht gefundener Transponder,
- ihren Funktionszustand (defekt oder intakt) vor und nach der Schlachtung und die Ursache möglicher Funktionsausfälle, sowie
- die Lage der Transponder in einzelnen Körperteilen (Kopf, Kopfhaut, Ohr usw.) zu bestimmen.

Als mögliche verfahrenstechnische Einflußfaktoren für die Entnahme sind das Enthäutungsverfahren, das Entnahmeverfahren und die Art der Lokalisierung zu nennen (Tab. 22).

Tab. 22: Einflußfaktoren für die Transponderentnahme

Einflußfaktoren	**Unterscheidung in**	
Enthäutungsverfahren	manuelle Enthäutung (Schlachthöfe Ansbach, Crailsheim)	maschinelle Enthäutung (Schlachthof Ansbach)
Entnahmeverfahren	direkt	indirekt
Lokalisierung	visuell / palpatorisch	mit Handlesegerät (mit Metallsuchgerät)

Enthäutungsverfahren

Die beiden Enthäutungsverfahren unterscheiden sich wie folgt: Beim manuellen Verfahren wird der Kopf vom Schlachtkörper getrennt und anschließend an einem gesonderten Tisch enthäutet. Die Ohren und ein Großteil des Gewebes unter dem Scutulum werden mit entfernt. Bei der maschinellen Enthäutung dagegen verbleibt

der Kopf zunächst am Rumpf und die Enthäutung erfolgt in einem Arbeitsgang am Schlachtband. Die Haut wird im Kopfbereich lediglich an einigen Stellen eingeschnitten und gelöst, schließlich mit einer Seilwinde verbunden und vollständig, d. h. zusammen mit der Kopfhaut, abgezogen. Im Bereich des Hinterkopfes werden weitere Hilfsschnitte angebracht, um das Lösen der Kopfhaut dicht am Schädelknochen zu erleichtern. Erst nach dieser vollständigen Enthäutung wird der Kopf vom Schlachtkörper getrennt.

Da bei der Enthäutung das tiefer liegende Gewebe um den Injektionsort mit entfernt wird, ist davon auszugehen, daß sich das dafür gewählte Verfahren auch auf den Erfolg der Transponderentnahme auswirkt. Die Untersuchungen erfolgten in zwei verschiedenen Schlachthöfen (Ansbach und Crailsheim), wobei jeweils unterschiedliche Enthäutungsverfahren angewendet wurden. Im Schachthof Ansbach wurde das maschinelle und das manuelle Enthäutungsverfahren angewendet. In Crailsheim wurde ausschließlich das manuelle Verfahren angewendet.

Entnahme

Die Entnahme der Transponder erfolgte in zwei Varianten, der „direkten" und der „indirekten Entnahme". Bei der direkten Entnahme wurde der Transponder ohne zusätzliches umgebendes Gewebe während des Schlachtprozesses am Schlachtkörper herausgeschnitten. Bei der indirekten Entnahme hingegen wurde zunächst das Gewebe, in dem sich der Transponder befand - das Ohr zusammen mit seiner Basis am Schädelknochen - vom Schlachtkörper entfernt. Erst im Anschluß daran erfolgte die Transponderentnahme, zeitlich unabhängig vom weiteren Schlachtprozeß.

Lokalisierung

Die Lokalisierung des Transponders im Gewebe erfolgte visuell, palpatorisch und durch Auslesen mit einem Handlesegerät. Das Handlesegerät wurde benutzt, wenn abgetrennte Teilstücke auf den Verbleib des Transponders hin zu überprüfen waren.

Die Lokalisierung des Transponders mit dem Handlesegerät setzt die Funktionsfähigkeit des Transponders voraus. Diese wurde bereits vor der Schlachtung überprüft, um später eingrenzen zu können, ob die Injektate bereits vor der Schlachtung oder erst während des Schlachtprozesses beschädigt wurden und ob funktionsfähige Transponder im Vergleich zu nicht mehr funktionsfähigen einfacher aufzufinden waren.

6.3.2 Ergebnisse der Transponderentnahme

Die Anzahl der injizierten und entnommenen Transponder sowie die weiteren Zuordnungen (funktionsfähig, defekt usw.) sind der Tab. 23 zu entnehmen. Bereits in diesen ersten Versuchen mit einer begrenzten Anzahl von Versuchstieren ist erkennbar, daß durch eine Verfahrensanpassung eine deutliche Erhöhung der Erfolgsrate auf 95 % erreicht werden kann. Im folgenden sollen die einzelnen Ergebnisse erläutert werden.

Tab. 23: Ergebnisse der Versuche zur Transponderentnahme im Schlachthof

Enthäutung	**manuell**		**maschinell**
Entnahme	**direkt**	**indirekt**	**indirekt**
Anzahl injizierter Transponder	21	86	43
Anzahl gefundener Transponder (Erfolgsrate)	15 (72 %)	80 (93 %)	41 (95 %)
davon funktionsfähig /defekt	13 / 2	74 / 6	35 / 6
nicht gefunden	6	6	2
davon funktionsfähig /defekt	1* / 5	3 / 3	- / 2
Störung des Schlachtablaufes	ja, bei Nachsuche	nein	nein

* funktionsfähiger Transponder nach der Enthäutung verloren

Manuelle Enthäutung, direkte Entnahme

Die direkte Entnahme bei manueller Enthäutung wurde zwar zunächst unabhängig vom Schlachtband (d. h. am abgetrennten, teilweise enthäuteten Kopf) durchgeführt, daraus resultierten jedoch erhebliche Verzögerungen der weiteren Verarbeitung Erschwerend für die Suche kam hinzu, daß die Lokalisierung defekter Transponder durch Auslesen mit dem Handgerät nicht möglich war. Der größte Teil der nicht mehr aufgefundenen Transponder war defekt.

Manuelle Enthäutung, indirekte Entnahme

Die Entfernung des Ohres ermöglicht eine von der weiteren Verarbeitung getrennte Transponderentnahme unter günstigen Arbeitsbedingungen. Wesentlich ist jedoch hierbei, daß der Verbleib des Transponders bei der Abtrennung des Ohres mit dem Handlesegerät überprüft wird. Da die Schnittebene entlang des Schädelknochens verläuft und diese Ebene auch der Lage des Transponders entspricht, fielen drei der funktionsfähigen Transponder bei der Ohrabtrennung heraus, nachdem die Gewebekapsel angeschnitten wurde. Alle weiteren nicht wiedergefundenen Transponder

waren defekt. Drei der defekten Transponder konnten zu einem späteren Zeitpunkt im abgetrennten Ohr lokalisiert werden.

Maschinelle Enthäutung, indirekte Entnahme

Alle Transponder befanden sich nach der maschinellen Enthäutung im Ohrgewebe, da die Kopfhaut dicht am Schädelknochen entfernt wird. In diesem Enthäutungsverfahren war zur Abtrennung des Ohrbereiches von der Körperhaut nur ein einzelner Schnitt erforderlich. Die nicht aufgefundenen Transponder waren beide defekt und mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Kopfhaut verblieben.

Die Ursache für die Funktionsausfälle lag ausschließlich im Zerbrechen der Glashülle. Die Funktionsausfälle der Transponder waren, bis auf eine Ausnahme, alle bereits vor der Schlachtung bzw. dem Transport aufgetreten.

Der Einsatz eines Metallsuchgerätes zur Lokalisierung defekter Transponder erwies sich in der Schlachthofumgebung nicht als praktikabel. Die Empfindlichkeit des Gerätes ist einerseits dem kleinen Ferritstab im Transponder entsprechend hoch einzustellen, andererseits dürfen keine Metallteile in der näheren Umgebung mit erfaßt werden.

6.3.3 Diskussion und Schlußfolgerungen

Trotz der bereits hohen Erfolgsrate bei der Transponderentnahme von 95 % müssen weitere Untersuchungen zur Absicherung und Anpassung des gesamten Entnahmeverfahrens durchgeführt werden. Hierbei sind drei Möglichkeiten gegeben:

- die Sicherung der Transponderlage bei der Injektion und die Minderung von Lageveränderungen
- eine Definition des zu entnehmenden Gewebebereiches (je größer das entfernte Gewebeteil ist, um so höher ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Injektat darin enthalten ist), und
- die Nutzung elektronischer Hilfsmittel zur Lokalisierung des Injektates.

Transponderlage

Mit Hilfe eines Leitstiftes, der auch bei der Injektion von Transpondern beim Schwein eingesetzt wird [56], könnte eine flache Ablage des Transponders unter dem

Scutulum erreicht werden. Hierdurch wäre eine höhere Sicherheit zu erwarten, daß sich der Transponder bei der Entfernung des Ohrbereiches mit in dem abgetrennten Gewebe befindet.

Durch eine PTFE-Beschichtung könnten Lageveränderungen, die zu einem erhöhten Suchaufwand führen, minimiert werden (Kap. 5.2.3.2). Innerhalb der beiden Varianten e-PTFE-Schlauch und PTFE-Belag wäre dem Belag der Vorzug zu geben, da bei der direkten Verbindung des Kunststoffes mit dem Glas und dem Körpergewebe ein Herausgleiten aus der Gewebekapsel (wie dies bei den Schlachtungen mit manueller Enthäutung beobachtet wurde) nicht mehr möglich ist.

Definition des zu entnehmenden Gewebebereiches

Die Lage der Injektate kann, nach den Ergebnissen der Tierversuche und den Einsatzuntersuchungen, in einem Bereich von meistens 3 cm, in Einzelfällen auch über 6 cm zum ursprünglichen Injektionsort variieren. Unter der Annahme, daß eine weitere Verminderung dieses Streubereiches nicht möglich ist, und ein indirektes Entnahmeverfahren angewendet wird, ist eine Erweiterung des zu entnehmenden Gewebebereiches erforderlich.

Lokalisierung:

Die Funktionsfähigkeit der Transponder besaß in den dargestellten Versuchen den stärksten Einfluß auf den Erfolg der Entnahme (defekte Transponder konnten nur visuell und palpatorisch lokalisiert werden), daher ist die Forderung nach der Sicherstellung der Funktion von entscheidender Bedeutung. Sie könnte beispielsweise durch eine Erhöhung der Glasstärke oder eine Verkürzung der Baulänge erreicht werden (sie ist ohnehin aus Gründen des zuverlässigen innerbetrieblichen Einsatzes zu fordern; PIRKELMANN et al. [44]).

Da Defekte der Transponder derzeit nicht auszuschließen sind, könnten elektronische Hilfsmittel wie das hier getestete Metallsuchgerät, aber auch die Auswertung von Restsignalen (etwa bei der Aussendung von zwei Signalen aus zwei dicht beieinanderliegenden, intakten Transpondern, siehe Kap. 4.2.3.4) eingesetzt werden.

7. Einordnung der Ergebnisse

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Ergebnisse ermöglichen eine Anpassung der Ausleseeinheiten (Optimierung der Signalübertragung) auch für schwierige Einsatzbedingungen, so daß der Einsatz injizierbarer Transponder in der Produktionstechnik möglich ist.

Neben der Erkennungssicherheit sind die Bereiche Gewebeverträglichkeit, Transponderentnahme im Schlachthof und die dauerhafte Funktion für den praktischen Einsatz ausschlaggebend. Die einzelnen Problempunkte, die geeigneten Maßnahmen zur Verbesserung und die Auswirkungen sind in Abb. 79 zusammengefaßt. Aus den eingangs dargestellten Einflußfaktoren (Abb. 6, Abb. 7) sollen im folgenden nur diejenigen betrachtet werden, die sich am stärksten auswirken. Dabei ist hervorzuheben, daß sich manche der Maßnahmen gleichzeitig auf mehrere Bereiche auswirken, andere hingegen nur einzelne Punkte betreffen.

Antennenanpassung und Sendeleistung

Wie in den vorigen Kapiteln erläutert wurde, ist die Verwendung einzelner Antennen ist für die sichere Erkennung von stehenden Tieren ausreichend, da ihr Erkennungsbereich den Bewegungsraum des Tieres abdeckt. Im Gegensatz hierzu ist im freien Durchgang, wo die Tierbewegung nicht eingeschränkt ist, die weitere Ausnutzung der Faktoren Antennenkonfiguration und Sendeleistung erforderlich. Einschränkungen dieser Anpassungen ergeben sich durch den erhöhten technischen Aufwand für Antennenkombinationen (Verdoppelung der Kosten) sowie den zur Zeit in Deutschland geltenden Grenzwert der Sendeleistung von 123 dBµV/m. Darüber hinaus bestehen systemtechnische Begrenzungen (eingeschränkte Leistung des RF-Moduls, Erwärmung der Antenne), die eine starke Erhöhung der Sendeleistung ausschließen.

Es stellt sich die Frage, ob der erhöhte technische Aufwand für die kombinierten Antennen und die begrenzte Sendeleistung nicht eine Stabilisierung der Transponderlage (günstige Transponderorientierung) im Tier erfordern.

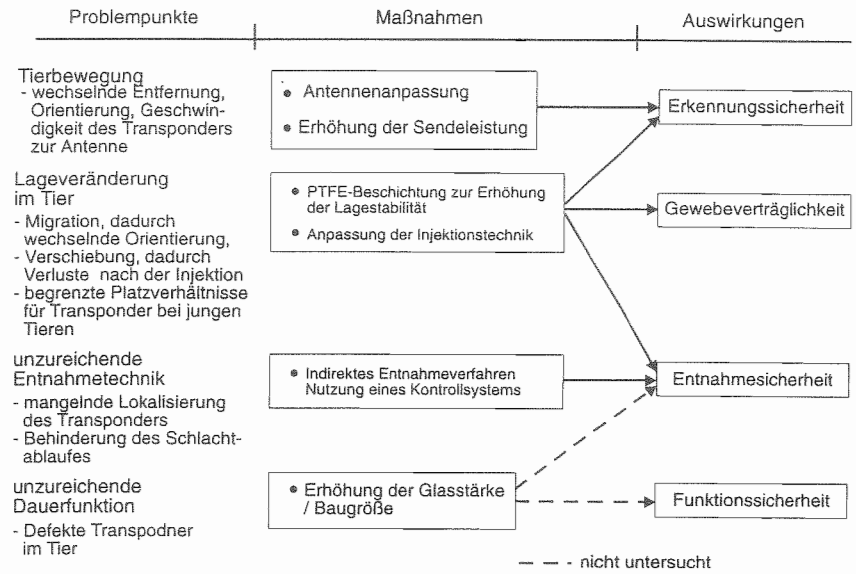


Abb. 79: Ausgewählte Problempunkte und Maßnahmen zur Verbesserung bei der Anwendung injizierbarer Transponder

Beschichtung, Lagestabilität und Injektionstechnik

Aus den Versuchen zum Verhalten des Transponders im Tierkörper geht hervor, daß sich die Orientierung in Verbindung mit einer Migration verändern kann. Möglichkeiten zur Stabilisierung der Transponderlage sind durch eine PTFE-Beschichtung gegeben. Da jedoch in der Praxis Fehler bei der Injektion nicht auszuschließen sind, erscheint der größere technische Aufwand für die Tiererkennung im Durchgang gerechtfertigt. Der Beitrag einer PTFE-Beschichtung zur Erhöhung der Erkennungssicherheit ist zudem nur schwer abzuschätzen.

Demgegenüber wirkt sich die PTFE-Beschichtung bereits bei der Injektion eindeutig positiv auf die Haftung des Transponders im Einstichkanal aus (Vermeidung von Verlusten). Eine weitere Auswirkung, die jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurde, dürfte in der Verbesserung der Transponderentnahme aus dem Schlachtkörper liegen.

Eine negative Wirkung des Transponders auf die Gewebeverträglichkeit ist durch eine Migration erst dann gegeben, wenn die Funktion von Gelenken oder Organen beeinträchtigt wird. Dies wurde bislang beim Rind nicht beobachtet. Die stabilisierende Wirkung einer PTFE-Beschichtung käme folglich erst dann zur Geltung, wenn diese negativen Wirkungen bei unbeschichteten Transpondern nachgewiesen würden. Die Injektionstechnik besitzt in Verbindung mit den Hygienemaßnahmen den vergleichsweise stärkeren Einfluß auf die Gewebeverträglichkeit.

Der Einsatz von 32 mm-Transpondern ist bereits bei neugeborenen Kälbern möglich, allerdings ist die Injektionsrichtung nach den anatomischen Gegebenheiten am Scutulum zu wählen (R_{lat} / R_{ok}, Abb. 52). Für die Durchführung der Injektion ist bei Kälbern ein höheres Maß an Sachkenntnis und Übung notwendig als bei älteren Tieren. Eine Möglichkeit, die schwierigere Injektion in R_{lat} / R_{ok} zu umgehen besteht darin, bei älteren Tieren (> 80 kg LG) die bisher in der Literatur empfohlene Richtung R_{ax} beizubehalten und nur bei den jungen Kälbern die anderen beiden Richtungen zu wählen.

Entnahme im Schlachthof und Funktionssicherheit

Neben der Art der Transponderentnahme (direkt / indirekt) wirkt sich auch die Funktionsfähigkeit der Transponder auf den Erfolg der Entnahme aus (Lokalisierung mittels Lesegerät). Die Funktionsfähigkeit war bei den untersuchten Injektaten aufgrund mangelnder Bruchfestigkeit der Glashülle noch unzureichend. Zur Verbesserung der Bruchfestigkeit kommen eine Erhöhung des Durchmessers der Glasumhüllung und / oder eine Verkürzung der Baulänge in Betracht. Als Vorteil bei einer Verringerung der Baulänge wäre die einhergehende Verringerung der Hohlnadellänge zu sehen, die eine Vereinfachung der Injektionstechnik zuließe. So könnte z. B. die oben genannte Einhaltung bestimmter Injektionsrichtungen bei jungen Tieren nicht mehr erforderlich sein. Um dann jedoch noch die Anforderungen an die hohe Lesereichweite zu erfüllen, wäre eine volle Ausnutzung der technischen Leistung des Identifizierungssystems erforderlich. Welcher der beiden Wege, d. h. eine „einfachere Injektion bei verminderter Erkennungssicherheit" oder eine „hohe Erkennungssicherheit bei schwierigerer Injektion" praktikabel ist, bleibt derzeit noch offen. Die Erreichung beider Ziele ist davon abhängig, inwiefern noch Reserven auf Seiten der Technik bestehen. Abschließend sind die möglichen weiterführenden Arbeiten zu diesen Fragen zusammengefaßt.

Weiterführende Arbeiten

Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Antennenformen

Bei der Kombination zweier Rahmenantennen mit zwei Ausleseeinheiten ist noch nicht geklärt, ob andere, kostengünstigere Bauformen eine ähnlich hohe Erkennungssicherheit ermöglichen. Darüber hinaus ist der unter Praxisbedingungen (z. B. im Schlachthof) vorliegende Pegel an Störsignalen und dessen Auswirkungen auf die Erkennungssicherheit noch nicht bestimmt worden. Als Möglichkeiten der Optimierung ergeben sich seitens der Antennen die Aufteilung in getrennte Sende- und Empfangsantennen, seitens der Ausleseelektronik die „softwareunterstützte" Trennung von Stör- und Erkennungssignalen.

Absicherung der Ergebnisse in Großversuchen

Die Tierversuche wurden mit einer begrenzten Anzahl Kälber durchgeführt. Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse erscheint die gezielte Wiederholung einzelner Versuche mit einer größeren Tierzahl sinnvoll. Zu möglichen Lageveränderungen von beschichteten und unbeschichteten Transpondern, die bereits unmittelbar nach der Geburt injiziert wurden und die sich für eine längere Zeit im Tierkörper befanden, liegen noch keine Ergebnisse vor. Auch hier gilt es, einzelne Versuche mit einer entsprechend höheren Anzahl Tiere zu wiederholen.

Erhöhung der Funktionssicherheit

Die hohen Funktionsausfälle durch Zerbrechen der Transponder im Tier könnten durch eine Verstärkung oder Verkürzung der Glasumhüllungen vermindert werden. Noch ungeklärt ist, welche Glasstärke in der Praxis erforderlich ist.

Anpassung der Injektionstechnik

Für die Injektion ist eine Einübung der durchführenden Person erforderlich. Durch eine angepaßte Injektionstechnik könnte die genaue Plazierung (Einstichwinkel und Tiefenablage) des Transponders sowohl für Kälber als auch für ältere Rinder erleichtert werden.

Durchführung und Kontrolle der Entnahme im Schlachtprozeß

Für die Entnahme der Transponder aus dem Schlachtkörper ist eine Definition des Arbeitsablaufes, die Bestimmung des zu entnehmenden Gewebebereiches sowie die Entwicklung eines elektronisch gestützten Lokalisierungssystems (Kontrolle der Position im Gewebe) erforderlich.

8. Zusammenfassung

Injizierbare Transponder wurden vor ca. 10 Jahren erstmals als fälschungssichere Kennzeichnungsmittel bei Heim- und Zootieren verwendet (z. B. als Herkunftsnachweis bei der Zucht und Tierseuchenkontrolle [14], [19]). Da die Injektate eine ähnliche Übertragungstechnik der Erkennungsdaten verwenden wie die üblichen Halsbandtransponder, die heute bei landwirtschaftlichen Nutztieren zur automatischen Erkennung in der Produktionstechnik verwendet werden (z. B. in Verbindung mit der Abruffütterung), ist es naheliegend, beide Anwendungsbereiche miteinander zu verbinden. Dies bedeutet, daß injizierbare Transponder auch bei landwirtschaftlichen Nutztieren zur fälschungssicheren Kennzeichnung verwendet werden können, gleichzeitig jedoch im innerbetrieblichen Bereich eine ausreichende Erkennungssicherheit bieten müssen.

Während sich in ersten Untersuchungen herausgestellte, daß die Grundvoraussetzung, die Gewebeverträglichkeit der Injektate, gewährleistet wird [5], [14], [16], [20], bleiben in Bezug auf die Erkennungssicherheit mehrere Fragen offen. Ein zentrales Problem ist es, daß z.B. trotz der Miniaturisierung der Antenne im Transponder eine hohe Lesereichweite und -geschwindigkeit erlangt werden muß, um eine hohe Erkennungssicherheit zu gewährleisten. Hinzu kommen weitere praktische Anforderungen, etwa daß die Injektion einfach durchführbar sein soll, oder daß der Transponder aus lebensmittelrechtlichen Gründen nach der Schlachtung aus dem Tierkörper wieder entfernt werden muß.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluß technischer und tierbezogener Faktoren auf die Auslesung der Transponder zu bestimmen und anhand der gewonnenen Ergebnisse Optimierungsmöglichkeiten für die Anpassung von Erkennungseinheiten in der Praxis und die Injektion der Transponder aufzuzeigen. Da die Anforderungen an die Lesereichweite und -geschwindigkeit der Transponder mit der Größe der Tiere zunehmen, wurden die Untersuchungen bei Rindern mit einem ausgewählten Identifizierungssystem [56] durchgeführt. Gleichzeitig wurden weitere verfahrenstechnische Fragen mit einbezogen, die die generelle Durchführbarkeit der Injektion und die Transponderentnahme betreffen.

Aus einer Literaturrecherche geht hervor, daß das zentrale Problem bei der Erkennung in der Positionierung (Entfernung, Orientierung und Geschwindigkeit) des

Transponders vor der Ausleseantenne liegt. Um eine Basis an technischen Kennwerten zu schaffen, wurden mehrere Einflußfaktoren (Entfernung und Orientierung, Sendeleistung, Störanfälligkeit, verschiedene Antennen und deren Kombinationen) in Laborversuchen unter konstanten Bedingungen untersucht, so daß eine Beurteilung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Signalübertragung möglich ist. In einem zweiten Abschnitt wurden Transponder verschiedener Ausführungen (Größe und Oberfläche) in Kälber injiziert, um - unter weitgehend kontrollierten Bedingungen in der Praxis - mögliche Lageveränderungen im Körpergewebe zu bestimmen. Im letzten Abschnitt wurden die zuvor isoliert betrachteten Einflußfaktoren unter Praxisbedingungen überprüft, indem die Erkennungssicherheit im Stand (Beispiel Kälbertränke) und im Durchgang (Beispiel Treibgang) ermittelt wurde. Schließlich wurde die Durchführbarkeit der Transponderentnahme im Schlachthof untersucht und Ansätze für die Erstellung eines Entnahmesystems aufgezeigt.

In den *technischen Laborversuchen* zeigte sich, daß die Lesereichweite für eine Erkennung von Rindern im Stand bei Einzelantennen und der derzeitigen zugelassenen Sendeleistung ausreichend ist, da der Bewegungsraum des Tieres dem Erkennungsbereich der Antenne entspricht. Bei einer axialen Orientierung des Transponders zur Antenne (0°) ergibt sich eine maximale Reichweite von 52 cm, während sie bei einer 90°-Orientierung bei etwa 35 cm liegt. Es zeigte sich auch, daß der Erkennungsbereich erst ab einer Orientierungsänderung von > 45° überproportional reduziert wird. Somit kann eine Abweichung von der optimalen Orientierung (0°) im Tier von etwa +/- 45° toleriert werden.

Die Erkennung von bewegten Transpondern (zur Simulation der Erkennung von Rindern im Durchgang) ist für Einzelantennen auch bei einer Erhöhung der Sendeleistung nicht ausreichend. Deutlich bessere Ergebnisse zeigte der Einsatz von zwei kombinierten Antennen in Verbindung mit einer höheren Sendeleistung (von 123 auf 128 bzw. 131 dBµV/m). Die Überlegenheit der Antennenkombination gegenüber den Einzelantennen bestand in einer vollständigen Abdeckung des Bewegungsraumes bei verschiedenen Orientierungen des Transponders.

Mit zunehmender Größe der Antenne nimmt die Anfälligkeit des Identifizierungssystems gegenüber elektromagnetischen Störsignalen zu. Hervorzuheben ist allerdings, daß die in den Laborversuchen verwendeten Störsignalstärken über denen, die in

der Praxis zu erwarten sind, liegen können. Zur wirklichen Stärke der Störsignale in der Praxis liegen noch keine Messungen vor.

In den Versuchen zum *Verhalten des Transponders im Tierkörper* wurde festgestellt, daß das Scutulum (Knorpel am Ansatz des Ohres) als Injektionsort auch für neugeborene Kälber geeignet ist, wenn den anatomischen Platzverhältnissen entsprechende Injektionsrichtungen eingehalten werden. In den Untersuchungen zu Lageveränderungen der Transponder im Tierkörper zeigte sich, daß

- bei Glastranspondern mit 12, 23 und 32 mm Länge während der Heilungsphase (ca. 14 Tage) Verschiebungen im Einstichkanal auftraten. Dies hatte zur Folge, daß der Transponder entweder verloren ging oder unmittelbar unter der Haut anstand und dort gegenüber Stoßeinwirkungen nicht mehr geschützt war.
- Darüber hinaus traten in begrenztem Umfang Migrationen auf, wobei im Mittel 3 cm nicht überschritten wurden. Allerdings wurden auch Maximalwerte von 6 cm ermittelt, die angesichts der geringen Anzahl an Versuchstieren als problematisch erscheinen. Der Transponder wanderte in diesen Fällen unter dem Scutulum heraus, zumeist in den hinteren Kopfbereich. Die daraus resultierende Änderung der Transponderorientierung war gering (< 45°).
- Eine Beschichtung der Glasoberfläche mit einem gewebeverträglichen Kunststoff hatte einen positiven Effekt in Bezug auf eine Verminderung von Verlusten nach der Injektion und die Verminderung von Migrationen. Während das Ausbleiben von Verlusten im Stichkanal auf eine stärkere Haftung zurückzuführen war, lag die Ursache für die geringeren Migrationen vermutlich in einer intensiveren Verwachsung mit dem umgebenden Gewebe. Beobachtungen der Versuchstiere und histologische Untersuchungen belegen, daß bei beiden Transponderoberflächen (Glas / Kunststoff) keine akuten Entzündungserscheinungen auftraten und durch den Kunststoff keine stärkeren Abwehrreaktionen hervorgerufen wurden als bei den Glastranspondern.

Die *Einsatzuntersuchungen* zur Bestimmung der Erkennungssicherheit im Stand und im Durchgang bestätigten die Ergebnisse aus den Laborversuchen. Während Tiere im Stand mit Einzelantennen mit einer ausreichenden Sicherheit erfaßt wurden, war die Erkennung von bewegten Tieren im Durchgang nur dann zuverlässig, wenn kombinierte Antennen verwendet wurden.

Während auf dem Gebiet der Erkennungssicherheit und der Gewebeverträglichkeit mehrere Maßnahmen zur Verfügung stehen, um den spezifischen Anforderungen gerecht zu werden, zeigten die Einsatzuntersuchungen, daß im Bereich der Entnahme der Transponder im Schlachtprozeß und der Funktionssicherheit noch technische Probleme zu lösen sind, bevor die Injektate eine breitere Verwendung finden können.

Ein zentraler Punkt sollte daher in weiterführenden Untersuchungen die aus lebensmittelrechtlichen Gründen erforderliche Entnahme der Transponder aus dem Schlachtkörper sein. Erste Versuche ergaben, daß hierbei ein Entnahmeverfahren festgelegt werden sollte.

9. Literaturverzeichnis

[1] AMLANER, C. J. and D. W. MacDONALD (Eds.), 1979: A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking. Proceedings of an International Conference on Radio Tracking in Biology and Medicine, Pergamon Press, Oxford, New York, Sydney, Paris, Frankfurt

[2] ARNDT, J. und C. WIEDEMANN, 1991: Zusammenfassung von Verträglichkeitsprüfungen mit Transpondern des elektronischen Markierungssystems INDEXEL®. Kleintierpraxis, 36. Jg., Nr. 7, S. 381 - 389

[3] ARTMANN, R., 1982: Elektronische Systeme zur Tiererkennung und deren Anwendung. Landbauforschung Völkenrode, Programmierte Fütterung und Herdenüberwachung in der Milchviehhaltung, Sonderheft 62, S. 49 - 65

[4] ARTMANN, R., 1992: Anforderungen an neue Tieridentifikationssysteme aus Sicht der Prozeßsteuerung. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 2, Hrsg.: PETERSEN, B. et al., S. 23 - 38

[5] BEHLERT, O., 1990: Erfahrungen mit dem elektronischen Identifikationssystem Euro-ID im Kölner Zoo. In: Agrarinformatik, Bd. 20, Hrsg.: REINER, L. et al., Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 46 - 50

[6] BEHLERT, O., 1992: Gewebsreaktionen auf implantierte Transponder eines elektronischen Markierungssystems. Kleintierpraxis, 37. Jg., S. 51 - 54

[7] BOYCE, B., 1982: Physical Characteristics of Expanded Polytetrafluoroethylene Grafts. In: Biologic and Synthetic Vascular Protheses, Eds.: STANLEY, C. J. et al., p. 553 - 561

[8] BRANSON, D.F. and G.J. PICHA, J. DESPREZ, 1985: Expanded Polytetrafluorethylene as a Microvascular Graft: a Study of Four Fibril Lengths. Annual meeting of the American Society of Plastic and Reconstructive Surgeons, Las Vegas, USA, p. 754 - 763

[9] CAMILLERI, J.-P. and V. N. PHAT, P. BRUNEVAL, V. TRICOTTET, A. BALATON, J.-N. FIESSINGER, J.-M. CORMIER, 1985: Surface Healing and Histologic Maturation of Patent Polytetrafluorethylene Grafts Implanted in Patients for up to 60 Months. Archives of Pathology and Laboratory Medicine, Vol. 109, USA, p. 833 - 837

[10] CLOVES, A. W. and T. R. KIRKMAN, M. A. REIDY, 1986: Mechanisms of Arterial Graft Healing. American Journal of Pathology (AJP), Vol. 123, No. 3, USA, p. 220 - 230

[11] DELIGEERSANG and S. L. SPAHR, H. B. PUCKETT, 1992: The Design and Installation of an Antenna Station in the Return Alley of the Milking Parlour. Applied Engineering in Agriculture, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 8 (3), p. 383 - 388

[12] DEUTSCHE BUNDESPOST, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Referat S 24: Technische Richtlinie für Fernwirk-Funkanlagen kleiner Leistung des nichtöffentlichen mobilen Landfunks (nömL). FTZ 17 TR 2100, Februar 1989, S. 13

[13] DICKERSON, R.E. und I. GEIS (Hrsg,) 1983: Chemie. Verlag Chemie, Weinheim, S. 132

[14] DORN, H. J., 1987: Vorstellung des Euro-ID-Systems zur Kennzeichnung von Tieren mit Mikrochips in Transpondern. Tierärztliche Umschau, Nr. 42 (12), S. 978 - 981

[15] EICHINGER, G. and G. SEMRAU, 1993: Application of Small Lithium Batteries in Injectable Transponders. Symposium on Animal Monitoring and Identification - The European System AMIES, Frankfurt, p. 31 - 35

[16] FALLON, R.J. and P. A. M. Rogers, 1991: Use and Recovery of Implantable Electronic Transponders in Beef Cattle. In: Automatic Electronic Identification Systems, Ed.: Lambooij, E., Commission of the European Communities, Report EUR 13198 EN, Luxemburg

[17] FLAMMANN, J., 1995: Technische Laboruntersuchungen zur Optimierung der Tieridentifikation mit injizierbaren Transpondern. Diplomarbeit, Technische Universität München, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Institut für Landtechnik

[18] FRYER, T. B., 1979: The Advantages of Short Range Telemetry Through the Intact Skin for Physiological Measurements in Both Animals and Man. -In: A Handbook on Biotelemetry and Radio Tracking, Eds.: AMLANER et al.. Proceedings of an International Conference on Radio Tracking in Biology and Medicine, Oxford, Pergamon Press, Oxford, New York, Sydney, Paris, Frankfurt

[19] GABEL, A. A. and S. E. WEISBRODE, R. C. KNOWLES, 1987: An Electronic Identification System for Horses. MVP, Nov./Dec., p. 544 - 548

[20] GABEL, A. A. and S. E. WEISBRODE, R. C. KNOWLES, 1988: Horse Identification: a Field Trial Using an Electronic Identification System. Journal of Veterinary Science, p. 172 - 175

[21] GRIMSEHL, 1987: Elektromagnetisches Feld, Lehrbuch der Physik. In: SCHALLENREUTHER, W. (Hrsg.), Band 2, 18. Auflage; S. 121 ff.

[22] IEC Multilingual Dictionary of Electricity, 1983: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., in Co-operation with the International Electrotechnical Commission, Switzerland, ISBN 471-80784-2, p. 268

[23] IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, 1984: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, ANSI/IEEE Std 100 -, 3. Ed., p. 574 ff.

[24] ISO/DIS 11785.2: Agricultural Equipment - Radio-Frequency Identification of Animals - Technical Concept.

[25] JONG, De H. J., 1990: NEDAP-Lifenumber Systems - Erfahrungen mit dem neuen Injektionsgerät. In: Agrarinformatik, Band 20, Hrsg.: REINER, L. et al., Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 38 - 42

[26] KAISER, U. and W. STEINHAGEN, 1994: A Low Power Transponder IC for High Performance Identification Systems. Proceedings of the CICC, Custom Integrated Circuits Conference, San Diego, USA

[27] KÄLBERHALTUNGSVERORDNUNG (Verordnung zum Schutz von Kälbern bei Stallhaltung), BGBl.I S. 1319, Bekanntmachung vom 18.8.1986

[28] KALTENBACH, P. und H. MELDAU, 1963: Magnetismus und Elektrizität, Physik für Seefahrer, Band 2, S. 79 ff.

[29] LAMBOOIJ, E., 1990: Das Injizieren eines Transponders in den Tierkörper zur Identifikation. In: Agrarinformatik, Band 20, Hrsg.: REINER, L. et al., Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 18 - 22

[30] LAMBOOIJ, E., 1990: Injectable Electronic Identification Systems - Some Veterinary Aspects. In: Proceedings of a Seminar Automatic Electronic Identification Systems for Farm Animals, Ed.: LAMBOOIJ, E., Brussels

[31] LAMBOOIJ, E. and J. W. M. MERKS, 1989: Technique and Injection Place of Electronic Identification Numbers in Pigs. IVO-Rapport B-335, Holland

[32] LAMBOOIJ, E. and H. L. M. AARTS, H.L.M., N. G. LANGEVELD, J. H. HUISKES, L. A. DenHARTOG, 1992: Field Experiments with Current Injectable Identification Systems. Comett II Course on Animal Monitoring and Identification, Port, Portugal

[33] LAW, N. W., 1990: A Comparison of Polypropylene Mesh, Expanded Polytetra-Fluorethylene Patch and Polyglycolic Acid Mesh for the Repair of Experimental Abdominal Wall Defects. Acta Chir Scand 156, England, p. 759 - 762

[34] LÜTJENS, A., 1994: Ansätze zur Qualitätssicherung in der Schweinefleischproduktion. Dissertation, Schriftenreihe des Institutes für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Nr. 82

[35] MICROSOFT-EXCEL, Datenverarbeitungs- und Statistikprogramm, Version 5.0a, 1993

[36] MOLL, R., 1990: Grundlegende Eigenschaften passiver Telemetriesysteme am Beispiel eines Transponderinjektates für die Identifikation und Temperaturmessung. In: Agrarinformatik, Band 20, Hrsg.: REINER, L. et al., Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 30 - 37

[37] N. N., 1988: Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen, Nr. 42, 20.10.

[38] NICKEL, R. und A. SCHUMMER, E. SEIFERLE,1984: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Verlag Paul Parey, Band 1, 5. Auflage, S. 267

[39] NIGGEMEYER, H., 1991: Mikrochips im Ohr sichern Qualität. DLG-Mitteilungen /agrar-inform, Nr.7, S. 40 - 41.

[40] POHL, R. W.: Einführung in die Physik - Elektrizitätslehre. Band 2, 16. Auflage.

[41] POIESZ, G. W., 1991: Patentschrift, European Patent Application, Publication Number 0 442 586 A1

[42] PIRKELMANN, H. und G. WENDL, C. KERN, 1992: Elektronische Tieridentifizierung als Voraussetzung für den Einsatz rechnergesteuerter Verfahren in der Tierhaltung. -In: Landwirtschaft und Elektrizität - Artgerechte Haltungssysteme durch den Einsatz von Elektronik, Arbeitspapier 170, Hrsg. KTBL, S. 9 - 19.

[43] PIRKELMANN, H. und G. WENDL, C. KERN, 1991: Tiererkennung mit dem Mikrochip. Der Tierzüchter, Jg. 43, S. 202 - 204

[44] PIRKELMANN, H. and C. KERN, 1992: Integration and performance of electronic ID-systems in a Calf-, Horse- and Lamb Feeding System. Comett II Course on Animal Monitoring and Identification, Port, Portugal

[45] PIRKELMANN, H. und C. Kern, 1992: Sind Injektate schon praxisreif? DLZ, Jg. 8, S. 100 - 103

[46] PRODUKTHAFTUNGSGESETZ (ProdHaftG), BGBl. I S. 2198, Bekanntmachung vom 15.12.1989

[47] SACHS, L. 1984; Angewandte Statistik. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin

[48] SAS Institute Inc., 1989: SAS Release 6.07. Statistikpaket

[49] SCHÖN, H., 1992: Rinderhaltung. 14. Hülsenberger Gespräche, S. 89 - 107

[50] SIGRIMIS, N. A. and N. R. SCOTT, C. S. CZARNIECKI, 1985: A Passive Transponder Identification System for Livestock. Transactions of the ASAE, 1985, USA, p. 622 - 629

[51] SPAHR, S. L. and H. B. PUCKETT, DELIGEERSANG, 1987: Performance of Electronic Animal Identification Systems in the Milking Parlour. Proceedings of the Third Symposium Automation in Dairying, Waageningen, Niederlande, p. 385 - 394

[52] SPAHR, S. L. and R. S. SURBER, 1992: Practical Experiences with Automated Electronic Animal Identification Using Injected Identification Transponders. Proceedings of the International Symposium on Prospects of Automatic Milking, p. 546 - 551

[53] STOLTZ, M., 1987: Verwendung von expandiertem Polytetrafluorethylen (e-PTFE) als medizinisches Implantat - Strukturvarianten zur Lösung chirurgischer Probleme. IV. H.-F.-Mark-Symposium "Kunststoffe in der Medizin", Wien, Sonderdruck: "Chemie 10/1988"

[54] STREET, M. J., 1979: A Pulse-Code Modulation System for Automatic Animal Identification. Journal of Agricultural Engineering Research, 1979, UK, p. 249 - 258

[55] TEXAS INSTRUMENTS Inc., 1992: Antenna Reference Guide, Haggerty Straße 1, 85350 Freising

[56] TEXAS INSTRUMENTS Inc., 1992: Technische Spezifikation TIRIS-System, Haggerty Straße 1, 85350 Freising

[57] WELZ, A. and R. TRIEFENBACH, G. MURRMANN, S. GRENZNER, C. HAMMER, 1992: Experimental Evaluation of the Dialdehyde Starch Preserved Bovine Internal Mammal Artery as a Small Diameter Arterial Substitute. Journal of Surgery, Vol. 7, No. 2, USA

[58] WILHELM, J. 1989: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Hrsg.: W. J. BARTZ, Band 41, Expert Verlag, Ehningen, S. 3

Anhang

Tab. A1: Kennwerte der Transponder (nach Herstellerangaben TIRIS-System [56])

Abmessungen	32,5 x 3,8 mm; Wandstärke des Glases 0,3 mm
Gewicht	0,8 g
Lesereichweite	bis 50 cm mit Handgerät, bis 1 m mit stationärem Lesegerät (abhängig von länderspezifisch zugelassener Sendeleistung)
Frequenz	134,2 kHz
Codelänge	64 bit
Datensicherungsverfahren	16 bit CRC-Code
Lesegeschwindigkeit	120 bis 150 ms
Betriebstemperatur	- 25 bis +70 °C
Lagertemperatur	- 40 bis +125 °C
Schockbeständigkeit	200 g, 3 Achsen, IEC 68-2-27, Test Ea
Vibrationsbeständigkeit	10 g bei 10 bis 2000 Hz, 3 Achsen, IEC 68-2-6, Test Fc
Beeinflussung durch externe elektromagnetische Felder	festprogrammierter Code wird nicht verändert, auch nicht durch Röntgenstrahlung, EMV-beständig

Tab. A2: Kennwerte der Ausleseelektronik (TIRIS-System [56])

Abmessungen	196 x 100 x 45 mm
Gewicht	630 g
Sendeleistung	gemäß den Vorschriften des Bestimmungslandes
relative Feuchte	keine Kondensation im Bereich 10 bis 90 %
Stromversorgung	20 V Gleichspannung oder 2 x 15 V Wechselspannung
Datenschnittstelle	RS232 / RS422
Betriebstemperatur	0 bis +50 °C
Lagertemperatur	- 40 bis +85 °C
Datenübertragung	300 bis 9000 baud, 7 Datenbit, 1 Paritätsbit, 1 Stopbit, Xon/Xoff-Protokoll

Tab. A3: Kennwerte der Ausleseantennen (TIRIS-System [55], [56])

Antennenart	F_1	L_1	L_2	L_3
Gewicht	150 g	450 g	1000 g	1600 g
Betriebstemperatur	- 30 bis + 80°C	- 30 bis + 60°C		
Lagertemperatur	- 40 bis + 100°C	- 30 bis + 60°C		
Schutzklasse	IP 66			
Material	glasfaserverstärktes Epoxitharz	Polyurethan		

Tab. A4: Einstellungen des Feldstärkenmeßgerätes (indirekte Messung der magnetischen Feldstärke A , Ausgabewert in dBµV/m)

	Messung des Grundrauschpegels	**Messung der Sendeleistung der Ausleseantenne**	**Messung des White-Noise-Pegels**
Frequenz (kHz)	50 - 150	134,2	128,0
Bandbreite*	10 Hz	10 Hz	9 kHz
Entfernung der Meßantenne von der Ausleseantenne	am Ort der Ausleseantenne	3 m	0,5 m

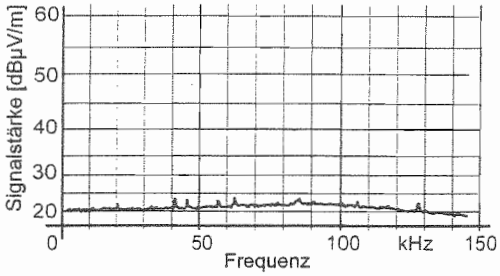
***Standardeinstellung: CISPR**

Tab. A5: Standardeinstellungen der Ausleseeinheiten (SDK, Master/Slave und Antennen) und wiederholte Einstellungen vor jedem Meßdurchgang

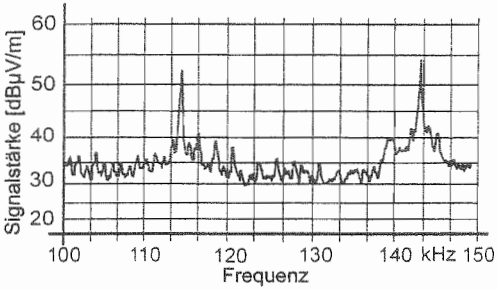
Nr.	**Einstellungen**	**Standard**	**vor jedem Meßdurchgang**
1	Abstimmung der Antenne		X
2	Einstellung der Sendeleistung auf 123 dBµV/m in 3m Abstand		X
3	Betriebsdauer vor Testbeginn (Erwärmung der Antenne): 10 min		X
4	Aktivierungszeit (Ladezeit) 50 ms	X	
5	Remote Control	X	
6	EMI-Sensitivity low	X	
7	wireless Synchronisation off	X	
8	Line-Mode	X	
9	Baudrate 9600	X	

Einzelergebnisse der technischen Laborversuche

Grundrauschen ohne Antriebs-aggregate und Steuerung



Grundrauschen mit allen zuge-schalteten Aggregaten



Spektrum des Störsignals ("weißes Rauschen")

Störantenne in 50 cm Entfernung von der Meßantenne, Leistung 20 mW

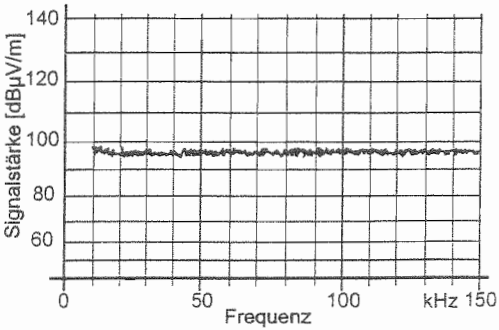


Abb. A1: Feldstärke externer Signale im Labor ohne und mit Zuschaltung der Test-anlage, sowie Störsignal (white noise)

Tab. A6: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (0°-Orientierung; [17])

Geschwindigkeit (m/s)	Einzelantenne (L_3)			Antennenkombination I* ($2 \times L_3$)			Antennenkombination II** ($2 \times L_3$)		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	16	17	18	30	32	34	30	30	34
1,0	9	9	10	16	16	18	14	16	16
1,5	5	6	7	10	10	12	9	10	12
2,0	4	5	5	8	8	10	6	8	8
2,5	3	4	4	6	6	8	6	6	8
3,0	3	3	3	4	6	6	4	6	6
3,5	2	3	3	4	6	6	4	4	6
4,0	2	2	3	4	4	4	4	4	4

Min.: Minimum; Mod.: Modalwert (=häufigster Wert); Max.: Maximum; *Antennenkombination I: 2 x L_3 mit gleichgerichteten Feldern und gleicher Sendeleistung (131 dBµV/m); **Antennenkombination II: 2 x L_3 mit entgegengerichteten Feldern und ungleicher Sendeleistung (131 und 129 dBµV/m)

Tab. A7: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (45°-Orientierung;[17])

Geschwindigkeit (m/s)	Einzelantenne (L_3)			Antennenkombination I* ($2 \times L_3$)			Antennenkombination II** ($2 \times L_3$)		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	20	24	27	20	22	26	42	48	56
1,0	8	13	14	10	12	14	21	27	30
1,5	7	8	9	6	6	9	14	18	20
2,0	5	6	7	4	6	7	11	13	16
2,5	4	5	6	4	4	6	8	12	12
3,0	3	4	5	2	4	5	6	8	10
3,5	2	3	5	2	4	4	6	8	9
4,0	2	3	3	2	3	4	6	7	8

Tab. A8: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei verschiedenen Antennen (90°-Orientierung, [17])

Geschwindigkeit (m/s)	Einzelantene (L_3)			Antennenkombinationl * ($2 \times L_3$)			Antennenkombination II** ($2 \times L_3$)		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	21	25	26	0	0	0	43	52	57
1,0	13	14	15	0	0	0	25	27	28
1,5	8	10	10	0	0	0	12	18	20
2,0	6	7	8	0	0	0	12	14	16
2,5	5	6	6	0	0	0	8	11	12
3,0	4	4	6	0	0	0	8	8	11
3,5	3	4	4	0	0	0	7	8	8
4,0	3	4	4	0	0	0	6	8	8

Tab. A9: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Einzelantenne L_3; [17])

Geschwindigkeit	10 ms			30 ms			50 ms		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	16	18	20	20	21	22	16	17	18
1,0	9	10	11	11	11	12	9	9	10
1,5	6	6	7	6	7	8	5	6	7
2,0	4	5	5	5	6	6	4	5	5
2,5	4	4	4	4	4	5	3	4	4
3,0	3	3	4	3	4	4	3	3	3
3,5	2	3	3	3	3	4	2	3	3
4,0	2	2	3	2	3	3	2	2	3

Tab. A10: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Antennenkombination I; [17])

Geschwindigkeit	10 ms			30 ms			50 ms		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	24	30	34	35	38	40	30	32	34
1,0	12	14	18	18	20	20	16	16	18
1,5	8	10	14	12	14	14	10	10	12
2,0	6	8	10	8	10	10	8	8	10
2,5	6	6	8	8	8	8	6	6	8
3,0	4	6	6	6	6	8	4	6	6
3,5	4	4	6	4	6	6	4	6	6
4,0	4	4	6	4	6	6	4	4	4

Tab. A11: Anzahl der Identifizierungen pro Durchgang in Abhängigkeit von der Ladezeit (0°-Orientierung, Antennenkombination II; [17])

Geschwindigkeit	10 ms			30 ms			50 ms		
	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.	Min.	Mod.	Max.
0,5	21	24	32	36	36	38	30	30	34
1,0	12	14	18	18	18	20	14	16	16
1,5	8	10	12	11	12	14	9	10	12
2,0	6	8	10	8	10	10	6	8	8
2,5	4	6	8	6	8	8	6	6	8
3,0	4	6	8	6	6	8	4	6	6
3,5	4	4	6	4	6	6	4	4	6
4,0	3	4	6	4	4	6	4	4	4

Einzelergebnisse der Versuche zum Verhalten der Transponder im Tierkörper

Tab. A 12: Einzelergebnisse im Vorversuch (Gruppe 1: 32 mm-Transponder, LG bei Injektion ca. 80 kg, Transponderoberfläche Glas/glatt)

	Kopfseite	
Anzahl	**Wegstrecken (cm) linke Seite**	**Wegstrecken (cm) rechte Seite**
1	1,0	3,5
2	3,0	0,0
3	3,0	2,0
4	1,0	0,0
5	1,0	3,5
6	1,0	2,0
7	3,0	1,5
8	2,0	0,0
9	1,0	4,0

Tab. A 13: Einzelergebnisse im Hauptversuch I Gruppe 2, 3, 4; LG bei Injektion ca. 40 kg

	Transpondergröße (mm)					
	12		23		32	
Anzahl	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**
1	0,0	1,5	2,5	1,0	-	0,0
2	2,0	1,0	2,0	2,5	4,0	0,0
3	1,0	2,5	2,0	1,0	2,0	-
4	2,0	4,0	0,0	0,0	-	3,5
5	0,0	1,5	0,0	0,0	2,5	-
6	1,5	3,5	0,0	2,0	-	2,5
7	0,0	3,0	1,0	3,5	-	-
8	2,0	2,0	2,0	0,0	-	2,5
9	2,5	1,0	2,0	1,0	2,0	-
10	2,5	2,0	1,5	2,5	-	-

Gruppe 5, 6, 7; LG bei Injektion ca. 60 kg

	12		23		32	
Anzahl	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**
1	0,0	4,0	5,5	3,5	3,5	1,5
2	2,5	2,0	0,0	2,0	3,0	1,5
3	4,0	2,5	0,0	0,0	4,5	2,0
4	0,0	2,5	0,0	3,0	4,0	2,5
5	4,0	2,0	1,0	0,0	3,0	6,0
6	3,0	0,0	1,0	0,0	2,0	0,0
7	0,0	3,0	1,5	0,0	2,5	-
8	0,0	1,5	1,5	0,0	3,0	1,0
9	2,0	6,0	-	1,0	0,0	0,0
10	1,0	1,0	-	2,0	3,0	0,0

Fortsetzung Tab. A 13

Gruppe 8, 9, 10; LG bei Injektion ca. 80 kg

	12		23		32	
Anzahl	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**	**rauh**	**glatt**
1	1,5	1,0	-	-	0,0	0,0
2	0,0	2,5	1,5	1,0	1,5	-
3	3,0	2,0	1,0	2,5	0,0	0,0
4	1,5	0,0	1,5	-	-	-
5	1,5	0,0	0,0	1,5	0,5	0,0
6	3,5	3,5	0,0	1,0	0,0	1,5
7	1,5	2,0	2,0	2,0	-	3,0
8	1,5	1,0	1,0	0,0	1,5	1,0
9	0,0	3,0	0,0	1,0	1,5	1,0
10	1,5	1,5	-	-	-	-

Tab. A14: Einzelergebnisse im Hauptversuch II

Gruppe 11; LG bei Injektion ca. 60 kg, 32 mm-Transponder

	Transponderoberfläche	
Anzahl	**Glas / glatt**	**PTFE-Belag**
1	0,0	1,0
2	0,0	0,0
3	3,5	0,0
4	4,5	1,0
5	2,5	0,0
6	3,0	0,0
7	0,0	1,0
8	4,0	2,0
9	2,0	0,0

Gruppe 12; LG bei Injektion ca. 60 kg, Transpondergröße 32 mm

Anzahl	**Glas / glatt**	**e-PTFE-Schlauch**
1	1,0	0,0
2	1,5	0,0
3	3,0	1,0
4	2,0	0,0
5	2,0	0,0
6	2,0	1,0
7	1,0	1,0
8	2,0	0,0
9	5,0	0,0

Tab. A 15: **Verfahren der Gewebepräparation**

a. Einbetten des formalinfixierten Organs
2 x 24 h in 70%igem Alkohol
2 x 24 h in 96%igem Alkohol
2 x 24 h in 100%igem Alkohol
4 h in Aceton-Alkohol (1:1)
2 h in Ac eton
2 h in Weichparaffin
12 h in Hartparaffin
Einbetten in Paraplast - Hartparaffin (1:3)

b. Schneiden mit Mikrotom
Schnittstärke 5µm

c. Färbung
15 min in Xylol I
Spülen mit Aqua dest
10 min in Alkohol 100%
10 min in Alkohol 96%
10 min in Alkohol 70%
10 min in Alkohol 50%
10 min Färben mit Hämalaun-Lösung
30 min Bläuen (Wasser)
15 min in Xylol II
5 min Färben mit Eosin
1 min in Alkohol 70%
1 min in Alkohol 96%
15 min in Alkohol 100%
15 min in Xylol I
15 min in Xylol II

d. Eindecken in Eukitt