

Aus dem Institut für Tierhaltung und Tierzucht
Universität Hohenheim
Fachgebiet Nutztierethologie und Kleintierzucht
Prof. Dr. Michael A. Grashorn



**Feldstudie zur Eignung der Biophotonenmessung
für die Differenzierung
von ökologisch und konventionell erzeugten Hühnereiern**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
'Doctor scientiarum agriculturæ'
der Fakultät Agrarwissenschaften

von Ulrike Egerer
aus Stuttgart

2009

Die vorliegende Arbeit wurde am 08.10.2009 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 22.10.2009

1.Prodekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Werner Bessei
Prüfungskommission: 1. Prof. Dr. Michael A. Grashorn (Erstgutachten)
2. Prof. Dr. Christiane Bode (Zweitgutachten)
3. Prof. Dr. Hans-Peter Piepho

Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
2	<u>LITERATURÜBERSICHT</u>	2
2.1	<u>Biophotonen</u>	2
2.1.1	<u>Geschichtliches</u>	2
2.1.2	<u>Biophotonik</u>	4
2.1.3	<u>Eigenschaften der Biophotonen</u>	4
2.1.4	<u>Anwendungsbeispiele für das Biophotonenverfahren</u>	7
2.2	<u>Lebensmittelqualität: 'Bio' versus 'Konventionell'</u>	9
2.2.1	<u>Intention des Bio-Landbaus</u>	10
2.2.2	<u>Qualitätsunterschiede – Klassische Analytik</u>	11
2.2.2.1	<u><i>Wertmindernde Inhaltsstoffe</i></u>	11
2.2.2.2	<u><i>Wertgebende Inhaltsstoffe</i></u>	12
2.2.3	<u>Qualitätsunterschiede – Ganzheitliche Methoden</u>	13
2.2.3.1	<u><i>Nachernteverhalten</i></u>	13
2.2.3.2	<u><i>Bildschaffende Methoden</i></u>	13
2.2.3.3	<u><i>Physiologische Parameter</i></u>	14
2.2.3.4	<u><i>Physiologischer Aminosäurenstatus</i></u>	15
2.2.3.5	<u><i>Elektrochemische Methoden</i></u>	15
2.2.3.6	<u><i>Biophotonenmethode / Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie</i></u>	16
2.2.4	<u>Fazit – Lebensmittelqualität: 'Bio' versus 'Konventionell'</u>	16
2.3	<u>Qualitätsaspekte von Hühnereiern</u>	17
2.3.1	<u>Prozessqualität – Formen der Legehennenhaltung</u>	17
2.3.1.1	<u><i>Natürlicher Lebensraum</i></u>	17
2.3.1.2	<u><i>Käfighaltung</i></u>	18
2.3.1.3	<u><i>Bodenhaltung</i></u>	19
2.3.1.4	<u><i>Freilandhaltung</i></u>	20
2.3.1.5	<u><i>Ökologische Legehennenhaltung</i></u>	22
2.3.1.6	<u><i>Fazit und Bemerkung – Prozessqualität von Hühnereiern</i></u>	24

2.3.2	Verbraucherverhalten und Eiermarkt in Deutschland	24
2.3.3	Eiqualitätsunterschiede	26
2.3.3.1	<i>Klassische Merkmale</i>	26
2.3.3.2	<i>NMR-Spektroskopie (nuclear magnetic resonance)</i>	29
2.3.3.3	<i>Raman-Spektroskopie</i>	30
2.3.3.4	<i>Stabil-Isotopenmassenspektrometrie</i>	31
2.3.3.5	<i>Biophotonenmessung</i>	32
2.3.3.6	<i>Fazit – Eiqualitätsunterschiede</i>	34
3	ZIELSETZUNG UND HERANGEHENSWEISE	35
4	MATERIAL UND METHODEN	36
4.1	Projektorganisation und Probenmaterial	36
4.1.1	Datenbank (DB)	36
4.1.2	Langzeitbeobachtung (LZ)	38
4.1.2.1	<i>Durchführung</i>	38
4.1.2.2	<i>Informationen zu Probenahme und Haltungsbedingungen</i>	39
4.1.2.3	<i>Probentransport</i>	40
4.2	Biophotonenmessung	40
4.2.1	Messanordnung	40
4.2.2	Messeinstellungen	41
4.2.3	Prüfung der Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessdaten	43
4.2.4	Biophotonenmessung am Eidotter	44
4.2.4.1	<i>Probenvorbereitung</i>	44
4.2.4.2	<i>Durchführung der Messung</i>	45
4.2.4.3	<i>Weitere Messgeräte</i>	46
4.3	Klassische Eiqualitätsmerkmale	47
4.3.1	Äußere Qualitätsmerkmale	47
4.3.1.1	<i>Ei-Gewicht</i>	47
4.3.1.2	<i>Bruchfestigkeit der Schale</i>	47

4.3.2	Innere Qualitätsmerkmale	47
4.3.2.1	<i>Luftkammerhöhe (Frische)</i>	47
4.3.2.2	<i>Eiklarhöhe, Haugh Unit (Frische)</i>	47
4.3.2.3	<i>Schalenanteil</i>	48
4.3.2.4	<i>Dotteranteil</i>	48
4.3.2.5	<i>Dotterfarbe</i>	48
4.3.2.6	<i>Fettsäureanalytik</i>	49
4.3.2.7	<i>Oxidationsempfindlichkeit (TBARS)</i>	49
4.4	Auswertung der Biophotonenmessdaten	50
4.4.1	Eliminierung von Störeffekten während der Messung	50
4.4.2	Kenngrößen der Biophotonenemission	52
4.4.3	Entwicklung eines Kalibrierverfahrens	53
4.5	Statistische Auswertung	54
4.5.1	Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität	54
4.5.2	Behandlung von Ausreißern	54
4.5.3	Haltungs- und Stallunterschiede	55
4.5.4	Prüfung potentieller Einflussfaktoren auf die Biophotonenemission von Eidottern	55
4.5.5	Differenzierung zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Eiern	55
4.5.6	Software	56
5	ERGEBNISSE	57
5.1	Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessergebnisse	57
5.1.1	Referenzmessungen	57
5.1.2	Einflussfaktoren 'Raumtemperatur' und 'Luftfeuchtigkeit'	60
5.1.3	Auswahl eines Biophotonenparameters	61
5.1.4	Entwicklung eines Korrekturverfahrens	62
5.1.5	Korrektur der Dotter-Messdaten	64
5.1.6	Zusammenfassung – Reproduzierbarkeit und Datenkorrektur	64

5.2 Biophotonenemission von Eidottern aus unterschiedlichen Haltungsformen	65
5.2.1 Vergleich verschiedener Haltungsformen	65
5.2.2 Jahresverlauf der Biophotonenwerte von Dottern aus 12 Praxisställen	68
5.2.3 Betriebseffekt	70
5.2.4 Zusammenfassung – Vergleich von Dottern aus unterschiedlichen Haltungsformen	70
5.3 Vergleich der LZ-Versuchsställe hinsichtlich Produktionsbedingungen und Eiquantitätsparametern	71
5.3.1 Haltungsbedingungen und tierspezifische Faktoren	72
5.3.1.1 Klimafaktoren	72
5.3.1.2 Stallbeleuchtung und Auslaufverfügbarkeit	73
5.3.1.3 Tierherden	74
5.3.1.4 Futter	76
5.3.1.5 Impfprogramm, Tiergesundheit, Tierverluste	76
5.3.1.6 Zusammenfassung – Produktionsbedingungen im LZ-Versuch	78
5.3.2 Eiquantität	79
5.3.2.1 Merkmale der äußeren Eiquantität und Dotteranteil	79
5.3.2.2 Merkmale der inneren Eiquantität	80
5.3.2.2.1 Frischeparameter	80
5.3.2.2.2 Dotterfarbe	81
5.3.2.2.3 Fettsäuregehalte	82
5.3.2.2.4 Oxidationsempfindlichkeit	82
5.3.2.3 Zusammenfassung – Eiquantität im LZ-Versuch	84
5.4 Potentielle Einflussfaktoren auf den Dotter-qNL-Wert	84
5.4.1 Dottergewicht und Dotterfarbe	84
5.4.2 Dotterauflagerungen	86
5.4.3 Klimafaktoren, Tieralter und Parameter der inneren Eiquantität	87
5.4.4 Jahreszeit	88
5.4.4.1 DB-Projekt	88
5.4.4.2 LZ-Projekt	89
5.4.5 Zusammenfassung – potentielle Einflussfaktoren auf den qNL-Wert	89

5.5 Differenzierung zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Eiern	91
5.5.1 Relevante Messgrößen	91
5.5.2 Datengrundlage	92
5.5.3 Klassifizierung von Dotter-Stichproben	93
5.5.4 Klassifizierung von Dottern aus kleinbäuerlicher Erzeugung	94
5.5.5 Klassifizierung der Versuchsställe des LZ-Projekts	95
5.5.6 Zusammenfassung – Klassifizierung	97
6 DISKUSSION	98
6.1 Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessergebnisse	98
6.1.1 Schwankungen der Kontrollwerte	98
6.1.2 Mögliche Störeinflüsse	98
6.1.3 Auswahl des Biophotonenparameters 'NL'	100
6.1.4 Korrektur der Messwerte	101
6.1.5 Anmerkung zur Reproduzierbarkeit	101
6.2 Vergleich der Projekte (DB und LZ)	102
6.2.1 qNL-Niveau	102
6.2.2 Intensitätsverhältnis 'Bio : Konventionell'	103
6.2.3 Streuung	103
6.3 Vergleich verschiedener Haltungsformen (DB und LZ)	104
6.3.1 Intensität qNL	104
6.3.1.1 Aktuelle Ergebnisse	104
6.3.1.2 Vergleich mit der Literatur	104
6.3.1.3 Anmerkung zur kleinbäuerlichen Hühnerhaltung	105
6.3.1.4 Anmerkung zur konventionellen Freilandhaltung	105
6.3.1.5 Anmerkung zur Käfighaltung	106
6.3.2 Streuung von konventionellen und ökologischen Dottern	106
6.4 qNL von Eidottern im Jahresverlauf (LZ)	107
6.4.1 Standortübergreifende Einflussfaktoren	107
6.4.1.1 Extreme Wetterlagen	108

6.4.1.2	<i>Jahreszeit</i>	109
6.4.1.3	<i>Anmerkung zu Messwertschwankungen</i>	109
6.4.2	Variationsunterschiede zwischen 'Bio' und 'Konventionell'	110
6.4.3	Betriebseffekte	111
6.5	Potentielle Einflussfaktoren auf den Dotter-qNL-Wert	112
6.5.1	Betriebsspezifische Parameter	112
6.5.1.1	<i>Stallbeleuchtung</i>	112
6.5.1.2	<i>Auslauf</i>	113
6.5.1.3	<i>Genetische Herkunft</i>	114
6.5.1.4	<i>Tieralter (Legemonat)</i>	114
6.5.1.5	<i>Futter</i>	115
6.5.2	Eiqualitätsparameter	116
6.5.2.1	<i>Ei- und Dottergewicht</i>	116
6.5.2.2	<i>Schalen- und Dotteranteil</i>	116
6.5.2.3	<i>Frischeparameter</i>	116
6.5.2.4	<i>Dotterfarbe und Carotinoide</i>	117
6.5.2.5	<i>Dotterauflagerungen</i>	119
6.5.2.6	<i>Fettsäuregehalte und Oxidationsempfindlichkeit</i>	120
6.6	Biophotonen als Qualitätskriterium für Bio-Eier	121
6.6.1	Relevante Messgrößen	121
6.6.2	Klassifizierung von Stichproben	122
6.6.3	Klassifizierung der LZ-Versuchsställe	123
7	SCHLUSSBEMERKUNG	124
8	AUSBLICK	125
9	ZUSAMMENFASSUNG	126
10	SUMMARY	129
11	LITERATURVERZEICHNIS	132
12	ANHANG	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlerer summarischer Gehalt an nachgewiesenen Pflanzenschutzmittelrückständen.....	11
Tabelle 2: Richtlinien für konventionelle und biologische Freilandhaltungen mit ein-etagigen Stallsystemen.....	23
Tabelle 3: Gewichtsklassen für Hühnereier.....	26
Tabelle 4: Klassische Eiquantitätsmerkmale.....	27
Tabelle 5: Verteilung der Eierstichproben im Projektzeitraum.....	37
Tabelle 6: Beprobungszeiträume in der Langzeitbeobachtung.....	38
Tabelle 7: Codierung und Probenherkunft in der Langzeitbeobachtung.....	39
Tabelle 8: Angaben zu den verwendeten Biophotonenmessgeräten.....	42
Tabelle 9: Messeinstellungen (Biophotonenmessung).....	42
Tabelle 10: Weitere Messinstrumente.....	46
Tabelle 11: In der Langzeitbeobachtung bestimmte Fettsäuren.....	49
Tabelle 12: Glättungsregeln zur Peakeliminierung.....	51
Tabelle 13: Struktur der Klassifikationsfunktionen bei einer bivariaten Diskriminanzanalyse zur Unterscheidung zweier Gruppen.....	56
Tabelle 14: Biophotonenparameter der Referenzmessungen.....	58
Tabelle 15: Korrelation der Biophotonenwerte mit Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit.....	61
Tabelle 16: Variationskoeffizienten der Nachleuchtintensität.....	62
Tabelle 17: Übersicht der verwendeten Leerwerte zur Normierung.....	64
Tabelle 18: Stallbeleuchtung, Wintergarten und Auslauf der LZ-Versuchsställe.....	73
Tabelle 19: Tierherkunft, Größe und Legemonat der beprobten Herden.....	75
Tabelle 20: Komponenten der Futtrationen in den LZ-Versuchsställen.....	77
Tabelle 21: Schalenfarbe sowie Anteile der Eikomponenten Schale und Dotter am Ei-Gewicht.....	79
Tabelle 22: Größe der Luftkammer und Parameter des Eiklars.....	80
Tabelle 23: Dotterfarbe.....	81
Tabelle 24: Anteile der Fettsäureklassen am gemessenen Gesamtfettsäuregehalt und Oxidationsempfindlichkeit der Dotterlipide.....	83
Tabelle 25: Korrelation zwischen logarithmierter Nachleuchtintensität $q_{NL_{LZ}} \cdot \log T$ und verschiedenen Klimabedingungen, dem Tieralter sowie Eiquantitätsparametern.....	87
Tabelle 26: Intensitätsveränderung vom Sommer zum Winter je Versuchsstall des LZ-Projektes.....	90
Tabelle 27: Mittelwert M_w , mittlere Standardabweichung S_d bzw. Variationskoeffizient VK der Nachleuchtintensität je Haltungsform.....	92
Tabelle 28: Übersicht über richtig und falsch klassifizierte Stichproben des LZ-Projektes bei bivariater Diskriminanzanalyse.....	96

Tabelle 29: Informationen zu den Eier-Stichproben des DB-Projektes.....	151
Tabelle 30: Beprobungstermine im LZ-Projekt.....	156
Tabelle 31: Stichprobenumfänge für die Biophotonenmessung im LZ-Projekt.....	157
Tabelle 32: Bestimmtheitsmaß für den Kurvenfit im DB- und LZ-Projekt.....	158
Tabelle 33: Monatsmittelwerte und Standardabweichungen von Raumtemperatur und Biophotonenparametern der leeren Küvette und leeren Dunkelkammer im DB-Projekt.....	159
Tabelle 34: Monatsmittelwerte und Standardabweichungen von Raumtemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Biophotonenparametern der leeren Küvette und leeren Dunkelkammer im LZ-Projekt.....	159
Tabelle 35: Mittelwert und Standardabweichung des qNL-logT-Werts je Haltungsform.....	160
Tabelle 36: Kenngrößen der Schalenstabilität.....	160
Tabelle 37: Relativer Gehalt an gesättigten Fettsäuren.....	161
Tabelle 38: Relativer Gehalt an einfach ungesättigten Fettsäuren.....	161
Tabelle 39: Relativer Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren.....	162
Tabelle 40: Verhältnis von n6- zu n3-Fettsäuren.....	162
Tabelle 41: Korrelationskoeffizienten zwischen 'qNL-logT' und Dottergewicht bzw. Dotterfarbstufe.....	163
Tabelle 42: Vergleich von Dottern mit und ohne Dotterauflagerung/Fleck.....	164
Tabelle 43: Vergleich von Sommer- und Winterhalbjahr im DB-Projekt.....	165
Tabelle 44: Je 10 Klassifizierungsfunktionen im DB-Projekt für die Kategorien 'Konventionell' und 'Bio'.....	165
Tabelle 45: Klassifizierungsfunktionen im LZ-Projekt.....	166
Tabelle 46: 'qNL-logT-Stichproben-Mw' und 'qNL-loglogT-Stichproben-Sd', zur Klassifizierung der Monatsstichproben im LZ-Projekt.....	166

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Umsatzentwicklung der Bio-Lebensmittel in Deutschland.....	24
Abbildung 2:	Haushaltseinkäufe von Eiern nach Haltungsformen.....	24
Abbildung 3:	Deutsche Preise für Eier der Gewichtsklasse M im Jahr 2007.....	25
Abbildung 4:	Jahreszeitlicher Verlauf der Biophotonenintensität von Eidottern bei ganzjähriger Stallhaltung mit Glühlampen-Beleuchtung.....	32
Abbildung 5:	Anzahl der Eierstichproben je (Bundes-)Land.....	37
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Messanordnung.....	41
Abbildung 7:	Dunkelkammer des PMS-3.1.....	43
Abbildung 8:	Isolierung des Dotters.....	44
Abbildung 9:	Einfüllen des Dotters in die QS-Küvette.....	45
Abbildung 10:	Verwendete QS-Küvetten.....	45
Abbildung 11:	Bestimmung der Dotterfarbe vor der Biophotonenmessung.....	45
Abbildung 12:	Bestimmung innerer Eiqualitätsmerkmale am aufgeschlagenen Ei.....	48
Abbildung 13:	Dreibein zur Bestimmung der Eiklarhöhe.....	48
Abbildung 14:	Abklingkurve eines Dotters mit Störsignalen.....	50
Abbildung 15:	Provokationstest.....	50
Abbildung 16:	Effizienz der Kurvenglättung.....	51
Abbildung 17:	Fit der Abklingkurve.....	53
Abbildung 18:	Nachleuchtintensität NL.....	53
Abbildung 19:	Monatsmittelwerte der Biophotonenparameter 'SW', 'AG' und 'NL' der leeren Küvette.....	59
Abbildung 20:	Originale und normierte Monatsmittelwerte der Nachleuchtintensität NL von 'leerer Dunkelkammer' bzw. 'leerer Küvette'.....	63
Abbildung 21:	Relative Häufigkeiten des korrigierten Nachleuchtparameters 'qNL' für jede Haltungsform.....	67
Abbildung 22:	Mittelwerte von 'qNL _{LZ} ' je Versuchsstall und Monat.....	69
Abbildung 23:	Effekte von Betriebsstandort- und Haltungsform.....	70
Abbildung 24:	Klima im Versuchszeitraum des LZ-Projekts.....	72
Abbildung 25:	Nachleuchtintensität qNL _{LZ} von Dottern der Farbstufe 3.....	85
Abbildung 26:	Effekt des Transfers einer Dotterauflagerung auf die Nachleuchtintensität 'qNL' eines fremden Dotters.....	86
Abbildung 27:	Mw und Sd von 'qNL _{DB} ' je Haltung und Jahreszeit.....	88
Abbildung 28:	Trefferquoten für die Test-Stichproben in unterschiedlichen Varianten der Diskriminanzanalyse.....	93
Abbildung 29:	Anteile von Fehlklassifikationen je konventioneller Haltungsform...94	
Abbildung 30:	Klassifizierung der Versuchsställe des LZ-Projektes.....	95
Abbildung 31:	Prozedur des Kurvenfits mit SAS.....	158

Abkürzungen

DB Datenbank-Projekt
LZ Langzeitbeobachtung

DB-Projekt:

Kä Käfighaltung
Bo Bodenhaltung
F Freilandhaltung, konventionell
Ö Biohaltung

LZ-Projekt:

kF1 konventionelle Freilandhaltung, Stall 1
B1 Bodenhaltung, Stall 1
K1 Käfighaltung, Stall 1

} Standort A

kF2 konventionelle Freilandhaltung, Stall 2
B2 Bodenhaltung, Stall 2
K2 Käfighaltung, Stall 2

} Standort B

B3 Bodenhaltung, Stall 3
B4 Bodenhaltung, Stall 4

öF1-S ökologische Freilandhaltung, Stall 1 (Tierherkunft: 'Tetra Silver')
öF1-B ökologische Freilandhaltung, Stall 1 (Tierherkunft: 'Tetra Brown')
öF2 ökologische Freilandhaltung, Stall 2
öF3 ökologische Freilandhaltung, Stall 3
öF4 ökologische Freilandhaltung, Stall 4

IIB Internationales Institut für Biophysik
PMS Photomultiplier-System
NL Intensität des Nachleuchtens der Probe; Summe der detektierten counts über die letzten 40 Sekunden der ein-minütigen Messung
qNL normierte Nachleuchtintensität
qNL-logT logarithmierte, normierte Nachleuchtintensität
qNL-loglogT doppelt logarithmierte, normierte Nachleuchtintensität

TBARS	Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen
SAT	gesättigte Fettsäuren
MUFA	einfach ungesättigte Fettsäuren
PUFA	mehrfach ungesättigte Fettsäuren
n6/n3	Verhältnis aus omega-6- und omega-3-Fettsäuren

n	Stichprobenumfang, Anzahl ausgewerteter Elemente
Mw	Mittelwert
Sd	Standardabweichung
VK	Variationskoeffizient = Mw / Sd
p	Irrtumswahrscheinlichkeit

Im Folgenden als gleichbedeutend eingesetzte Begriffe:

Lichtspeicherfähigkeit – Biophotonenemission
ökologisch – biologisch

(Eier-)Stichprobe => Eier derselben Herkunft und desselben Beprobungstermins

Signifikanzangaben:

- * für $p < 0,05$ (signifikant)
- ** für $p < 0,01$ (hochsignifikant)
- *** für $p < 0,001$ (höchstsignifikant)

Fußnote auf derselben Druckseite

1 EINLEITUNG

„Die Präferenzen der Verbraucher zeigen, dass es weit verbreitet eine Sehnsucht nach dem Ursprünglichen gibt, nach einer Lebensmittelproduktion, die von Naturbelassenheit, artgerechter Tierhaltung und einem Leben mit den Jahreszeiten gekennzeichnet ist.“

So stellt die NESTLÉ-Studie [2009] fest.

Diesem Qualitätsaspekt von Lebensmitteln, welcher die Natürlichkeit und Artgerechtigkeit der Produktion betrifft, werden herkömmliche Qualitätstests nur unzureichend gerecht. Analytische Untersuchungen lassen zwar marginale Unterschiede zwischen biologisch und konventionell erzeugten Lebensmitteln erkennen [KERBAGE et al. 2006]. Anhand von Inhaltsstoffen – seien es gewünschte Substanzen wie Vitamine und sekundäre Pflanzenstoffe, oder unerwünschte Stoffe wie Schwermetallbelastungen und Pflanzenschutzmittelrückstände – ist eine Differenzierung zwischen konventionell und biologisch erzeugten Lebensmitteln bislang jedoch nicht möglich.

Es ist ohnehin fraglich, ob sich ein hochwertiges Nahrungsmittel allein durch substantielle Eigenschaften auszeichnet. Schließlich *„ernährt sich der Mensch nicht von Kohlenhydraten, Eiweiß, Fett, Mineralstoffen und Vitaminen, sondern er lebt von Organen, organischen Gebilden, welche die Natur geschaffen hat.“* [HEUPKE in KÜHNE 2000]

Ansätze zur Erfassung dieser 'inneren Struktur' von Lebensmitteln bieten ganzheitliche Untersuchungsverfahren. Ein solches ist die Biophotonenmethode nach F.A. POPP. Diese beruht auf der Messung ultraschwacher Lichtemissionen (Biophotonen), welche spontan, oder nach kurzer Beleuchtung, von organischem Material abgegeben werden. Da die Biophotonenemission in Verbindung mit Lebensvorgängen auftritt, wird angenommen, dass sie die Intaktheit biologischer Gewebe widerspiegelt und als Maß für die 'innere Qualität' herangezogen werden kann.

In dieser Arbeit wird geprüft, inwieweit die Biophotonenmethode bei Eiern eine Unterscheidung zwischen ökologischer und konventioneller Erzeugung erlaubt.

2 LITERATURÜBERSICHT

Dieses Kapitel gliedert sich in drei Teile. Einem Abriss von Geschichte und Forschungsinhalten der Biophotonik folgen aktuelle Kenntnisse bezüglich Qualitätsunterschieden von Lebensmitteln aus biologischer und konventioneller Erzeugung. Der dritte Teil der Literaturübersicht widmet sich konkret dem Lebensmittel 'Hühnerei'.

2.1 Biophotonen

2.1.1 Geschichtliches

Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts gibt es Hypothesen über Existenz und Bedeutung von Licht in lebenden Zellen. Nachdem der Histologe A. GURWITSCH [1922] für das ungelöste Problem der embryonalen Formgestaltung ein 'Feld' vorgeschlagen hat, findet er bereits ein Jahr später experimentell einen deutlichen Hinweis auf dessen Existenz. An einer Zwiebelwurzel beobachtet er erhöhte Zellteilungsraten, wenn er ihr die Spitze einer zweiten Zwiebel nähert. Da normales Fensterglas zwischen beiden Zwiebeln diesen Effekt verhindert, Quarzglas dagegen nicht, vermutet er eine Zellkommunikation über ultraviolettes Licht und prägt den Begriff 'mitogenetische Strahlung' [GURWITSCH 1929].

In der Wissenschaftswelt ruft dieser neue Ansatz große Skepsis hervor. Nicht nur, dass es in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch am Verständnis der Quantenphysik mangelt, um dieses Phänomen erklären zu können. Direkte Messungen dieser Strahlung ergeben – aufgrund von Instabilitäten der noch jungen Messtechnik – widersprüchliche Versuchsergebnisse. [GURWITSCH 1929; RAJEWSKY 1932; BATEMAN 1934; MAXIA 1935]

Die von GURWITSCH postulierten Lichtemissionen geraten *„immer mehr in den Ruf, ein bloßer »Dreckeffekt« zu sein – das Resultat nicht genügend sorgfältiger Experimente.“* [BISCHOF 2001]

Nach dem Zweiten Weltkrieg befassen sich italienische Arbeitsgruppen um die Biophysiker L. COLLI und U. FACCHINI mit der 'neuen Strahlung'. Die Erfindung des Photomultipliers erlaubt ihnen erstmals den zweifelsfreien Nachweis dafür, dass Pflanzenkeime Licht aussenden. Allerdings setzt sich bald die Meinung durch,

es handele sich bei der gemessenen Strahlung um eine bedeutungslose Begleiterscheinung chemischer Stoffwechselreaktionen, weshalb die Forschungen eingestellt werden. In der Sowjetunion bricht die Erforschung der mitogenetischen Strahlung dagegen nicht ab. In mehreren Tausend 'Kommunikationsexperimenten' an Zellkulturen [BdW 1973] erhärtet sich Anfang der 1970er Jahre die Vermutung, dass es elektromagnetische Felder sind, die Lebensvorgänge wie Zellteilung, Organentwicklung und Stoffwechselwege regulieren. Diese Arbeiten der sowjetischen Forschungsgruppe von W. KASNATSCHEJEW wecken im westlichen Europa und Australien erneut das Interesse an den Arbeiten GURWITSCHs. [QUICKENDEN und QUE HEE 1974; POPP 1984; BISCHOF 2001]

So auch bei dem deutschen Radiologiephysiker F.A. POPP, welcher Mitte der 1970er Jahre an der Universitätsklinik in Marburg Ursachen des Tumorwachstums untersucht. Er entdeckt, dass sich die hochkanzerogene Substanz Benzo[a]pyren vom deutlich harmloseren Strukturisomeren Benzo[e]pyren in optischen Eigenschaften unterscheidet. Während letzteres für ultraviolettes Licht quasi durchlässig ist, absorbiert Benzo[a]pyren diese Strahlung und gibt sie in veränderter Wellenlänge wieder ab. Interessanterweise verändert Benzo[a]pyren also Licht genau in dem Spektralbereich, in welchem die sogenannte 'Photoreaktivierung' stattfindet. Ausgehend von der Bedeutung dieser UV-licht-abhängigen Reparatur für den Zellstoffwechsel folgert POPP, dass ultraviolette Strahlung in der Zelle existieren muss. Angestoßen durch die Berichte aus der Sowjetunion, die Licht als 'Sprache der Zellen' [BdW 1973] diskutieren, beginnt POPP, elektromagnetische Strahlung in Zellen zu untersuchen. [POPP 1984; BISCHOF 2001]

1975 weist er mit seinem Mitarbeiter B. RUTH an verschiedenen biologischen Proben (Hefezellen, Gurken- und Kartoffelkeimen) ultraschwache Lichtemissionen nach. Dank spezieller Kühl- und Abschirmvorrichtungen ist der verwendete Detektor so empfindlich, dass er noch aus einer Entfernung von zehn Kilometern das Leuchten eines Glühwürmchens feststellen könnte. Weitere Experimente bestätigen die Erkenntnisse der sowjetischen Wissenschaftler: bei der gemessenen Strahlung handelt es sich (mit wenigen Ausnahmen niederentwickelter Lebewesen) um ein universelles Phänomen lebender biologischer Systeme. Um dieses von anderen Lumineszenzerscheinungen begrifflich abzugrenzen und zu verdeutlichen, dass es sich um Licht aus biologischen Systemen handelt, wählen POPP und RUTH die Bezeichnung 'Biophotonen'. [RUTH und POPP 1976; RUTH 1977; BISCHOF 2001]

2.1.2 Biophotonik

Seit der Wiederbelebung der westlichen Zellstrahlungsforschung nach dem Zweiten Weltkrieg ist die Zahl der Arbeitsgruppen auf diesem Gebiet stetig angestiegen. In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich der von den POPPschen 'Biophotonen' abgeleitete Wissenschaftszweig allerdings inhaltlich stark geweitet. Unter 'Biophotonik' versteht man heute alle Techniken, die sich mit der Wechselwirkung von organischem Material und Licht befassen [WIKIPEDIA 2009a].

F.A. POPP und L. BELOUSSOV, ein Enkel GURWITSCHs, gründeten 1994 gemeinsam das 'Internationale Institut für Biophysik' (IIB, Neuss). Während sich dieses weiterhin der Erforschung von Biophotonen, also des Lichts *in* lebenden Organismen und dessen regulatorischer Bedeutung in Lebensvorgängen widmet, verfolgen die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Bezeichnung 'Biophotonik' geförderten Projekte einen anderen Ansatz. Dort dient Licht als Werkzeug, um biologisches Material optisch zu untersuchen oder zu manipulieren:

- in modernen Mikroskopie- und Spektroskopieverfahren,
- beim Einsatz von Biosensoren,
- in Form von Lasern in der Zellbiologie oder Chirurgie [Techrep 2005].

Die vorliegende Arbeit stammt aus der Forschungsrichtung des IIB, weshalb im Folgenden deren Erkenntnisse und Hypothesen kurz dargestellt werden sollen. Hinsichtlich der anderen Biophotonik-Bereiche wird auf weiterführende Literatur verwiesen. [PRASAD 2003; POPP und STREHLE 2006]

2.1.3 Eigenschaften der Biophotonen

Wie nach den Grundlagenversuchen von A. GURWITSCH vielfach bestätigt wurde [BISCHOF 2001], emittieren lebende Zellen kontinuierlich Lichtquanten. In der Literatur finden sich neben den Begriffen 'mitogenetische Strahlung' und 'Biophotonenemission' u.a. die Bezeichnungen 'ultraschwache Photonenemission' oder 'low level luminescence'. Die Lichtemissionen nach vorhergehender optischer Anregung der Probe sind als 'verzögerte Lumineszenz' bzw. 'delayed luminescence' bekannt [LAMBING 1992].

Mit der spektralen Zusammensetzung dieses Nachleuchtens beschäftigt sich insbesondere die 'Fluoreszenz-Anregungsspektroskopie' [STRUBE und STOLZ 2004].

Im Folgenden sind die elementaren Eigenschaften dieser Zellstrahlung zusammengefasst:

- Die **messbare Intensität** liegt bei einzelnen bis mehreren Tausend Photonen pro Sekunde und Quadratzentimeter Probenoberfläche.
- Biophotonen treten kontinuierlich im **Spektralbereich** von 200 bis 800 Nanometer auf.
- **Verschiedene Spezies von Organismen** wie auch **physiologische Entwicklungszustände** zeigen unterschiedliche Intensitäten und spektrale Verteilungen.

[COLLI et al. 1955; RUTH und POPP 1976; REIBER 1989; STRUBE und STOLZ 2004; POPP 2006]

Experimentelle Befunde weisen darauf hin, dass **Biophotonenstrahlung** ...

- ... im Gegensatz zur (10^3 - bis 10^6 -fach) intensiveren Biolumineszenz, vermutlich bis zum Tod des biologischen Systems **nie ganz abbricht**. Zu Beginn des Absterbens steigt die Strahlung noch einmal drastisch an. [BISCHOF 2001]
- ... während **biochemischer Reaktionen**, insbesondere Oxidationsreaktionen, auftritt [GURWITSCH 1933; GURWITSCH et al. 1965; HIDEG et al. 1991; KHABIRI 2005]. In MEI [1991] findet sich eine Zusammenstellung von Substanzen (z.B. Flavinen, Indolen, Porphyrinen) und deren molekularen Wechselwirkungen, welche ebenfalls an den Lichtemissionen beteiligt sein können. Es ist demnach sehr schwierig, die Biophotonenemission als Begleiterscheinung eines *einzigsten* biochemischen Mechanismus zu verstehen [MEI 1991]. BALZER und STAUFF beobachten eine langandauernde Lumineszenz von Kieselsäure- und Aluminiumoxidhydratgelen und vermuten einen, vom kristallinen Ordnungszustand abhängigen, „Festkörpereffekt“ [BALZER und STAUFF 1970].
- ... **kollektiver Strukturen** andere Eigenschaften besitzt als diejenige *isolierter* Komponenten. So nimmt die Lichtspeicherfähigkeit von unversehrten Blättern über Blatthomogenate, Chloroplasten bis zum isolierten Chlorophyll drastisch ab. [HIDEG 1993; YAN et al. 2005]

- ... die gleiche, **nicht-exponentielle Temperaturabhängigkeit** wie andere physiologische Phänomene aufweist. Zudem steigt die Biophotonenemission während des Zelltods bei tiefen Temperaturen drastisch an. Beides spricht gegen Thermolumineszenz und reine Chemilumineszenz. [POPP 1984; VOEIKOV 2005]
- ... in Form der 'verzögerten Lumineszenz' bei lebenden Organismen oder biologischen Systemen ein annähernd **hyperbolisches Abklingverhalten** aufweist. Totes bzw. ungeordnetes Material zeigt dagegen eine *exponentielle* Abklingkinetik. Während letztere bei Strahlern auftritt, die völlig unabhängig voneinander sind (wie etwa beim radioaktiven Zerfall), ist das hyperbolische Abklingverhalten typisch für untereinander gekoppelte Strahlungsquellen. Eine Kopplung von Strahlern ist wiederum nur über **kohärente Strahlung** möglich, welche aufgrund der festen Phasenbeziehung zeitlich und räumlich unveränderliche Wechselwirkungen zweier Wellen erlaubt (= Interferenz). LI und POPP veröffentlichten 1983 einen mathematischen Kohärenzbeweis. [LI und POPP 1983; LI 1992; POPP und YAN 2002]
- ... ausgesendet wird:
 - bei Konformationsänderungen der **DNA**, so auch bei der **Zellteilung** [RATTEMEYER et al. 1981; MEI 1991; SCHAUF et al. 1992; KIM et al. 2007],
 - von **Chloroplasten, Peroxisomen** und **Mitochondrien** und bei der **Photosynthese** [HIDEG 1993; DRINOVEC et al. 2003; JAŚKOWSKA et al. 2006].
- ... sich ändert:
 - wenn Zellkulturen auf **äußere Einflüsse** wie Chemikalien oder mikrobielle Infektionen reagieren [RUTH und POPP 1976; GALLE 1992; MAKINO et al. 2005],
 - im Zuge von **Erkrankungen** (z.B. Tumorzellen) [POPP 1976; NIGGLI 1992; POPP 2006].

Die Biophotonenemission erscheint folglich als ein sehr komplexes, aus der Überlagerung verschiedener lichtemittierender Prozesse resultierendes Phänomen. Da die Ursachen der Strahlung bislang nicht eindeutig identifiziert sind, ist damit zu rechnen, dass sich jede Veränderung eines biologischen Systems darauf auswirken kann.

2.1.4 Anwendungsbeispiele für das Biophotonenverfahren

Die 'verzögerte Lumineszenz' (= Biophotonenemission nach gezielter kurzer Beleuchtung der Probe) liefert sowohl über die Intensität und das Spektrum des Nachleuchtens als auch über dessen Abklingkinetik Informationen bezüglich der Probenbeschaffenheit.

Auf folgenden Gebieten existieren bereits Erfahrungen mit dem Biophotonenverfahren bzw. sind Anwendungen möglich:

- **Qualität von Lebensmitteln und Medizinalpflanzen:**

Nach TEUBNER [1983] existiert ein Zusammenhang zwischen der Biophotonenemission und dem Frischezustand bei **Kopfsalat** und **Möhren**, sowie der Trocknungstemperatur bei **Blattdrogen** (Salbei, Wolliger Fingerhut).

Die Düngungsart (mineralisch oder organisch bzw. biologisch-dynamisch) spiegelt sich ebenfalls wider, wie von LAMBING [1992] bestätigt.

Des Weiteren zeigen sich bei:

- **Milchproben**, je nach Erzeugungsweise, Fettgehalt und thermischer Behandlung [LAMBING 1992; BAARS et al. 2005],
- verschieden behandelten **Speiseölen** [LAMBING 1992],
- **Eiern** aus verschiedenen Haltungsformen [LAMBING 1992; MEIERHANS 1994; KÖHLER 2001],
- **Tomaten** und **Äpfeln** verschiedenen Reifegrades und Alters [TRIGLIA et al. 1998; BLOKSMA 2004; STRUBE und STOLZ 2004]

Unterschiede in der Biophotonenemission.

- **Saatgut- und Pflanzenqualität:**

Bei Gerstenkörnern [YAN 2002] und Sojabohnen [COSTANZO et al. 2008] ist die Biophotonenemission Indikator für die **Keimfähigkeit**,

bei Reis [IYOZUMI et al. 2005] und Binsen [INAGAKI et al. 2008] für **Herbizidresistenzen**.

Bei Nordmannstannen schlagen sich sowohl das Alter als auch deren Behandlung mit Herbiziden in der Lichtspeicherfähigkeit der Nadeln nieder [MATSCHKE und POPP 1999].

- **Medizin:**

Mehrfach wurde belegt, dass Tumor- und Normalgewebe sehr unterschiedliche Strahlungscharakteristiken aufweisen [VAN WIJK und VAN AKEN 1992; MUSUMECI et al. 1992; POPP 2006].

Insbesondere Stress und Erkrankungen, die mit der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) einhergehen, beeinflussen das Biophotonenfeld des Menschen [VAN WIJK und VAN WIJK 2005]. Das Biophotonenverfahren kann somit einen Ansatz für die **Krankheitsdiagnostik** wie auch **Therapiekontrolle** darstellen [BISCHOF 2001].

2.2 Lebensmittelqualität: 'Bio' versus 'Konventionell'

Hinter dem Begriff 'Lebensmittelqualität' verbirgt sich die *„Gesamtheit der wesentlichen Eigenschaften und Merkmale eines Lebensmittels, die den Grad seiner Nutzung für den vorhergesehenen Verwendungszweck bestimmt.“* [TÄUFEL et al. 1993]

Die Eigenschaften reichen von sensorischen Merkmalen, über Lager- und Transportfähigkeiten bis hin zur Eignung für die technologische Verarbeitung und Gehalten an wertmindernden bzw. erwünschten Inhaltsstoffen. Für den Konsumenten steht – neben der Sensorik – insbesondere letztgenannter Aspekt im Vordergrund; sind doch unbedenkliche, hochwertige Lebensmittel wesentliche Voraussetzung für den Gesunderhalt unseres Organismus. Zugleich wünscht der Verbraucher zunehmend umwelt- und tierfreundliche Herstellungsprozesse. Neben der reinen 'Produktqualität' gewinnt also die sogenannte 'Prozessqualität' an Bedeutung, welche die Auswirkungen von Produktions- und Verarbeitungsverfahren auf Umwelt und Gesellschaft einschließt.

Aus Verbrauchersicht erfüllen *ökologisch*[#] erzeugte Produkte diese Kriterien am besten. Diese gelten per se als ursprünglicher, gesünder und sicherer als konventionelle Erzeugnisse. *„Bio-Lebensmittel [zeichnen sich] für viele Verbraucher durch artgerechte Tierhaltung, gentechnikfreie Herstellung und einen guten, natürlichen, unverfälschten Geschmack [aus]. (...) Ohne genaue Kenntnis der Sachlage wird häufig unterstellt, dass Bio gleich Gut und Konventionell wenn nicht Schlecht, so aber zumindest skeptisch zu betrachten ist.“* [DWEHUS 2005]

Inwiefern dieses Urteil gerechtfertigt ist, soll eine Darstellung der Ziele des Öko-Landbaus und ein Überblick über bislang gefundene Qualitätsunterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Produkten zeigen. Da tierische Erzeugnisse bislang nur wenig untersucht sind, muss im Folgenden schwerpunktmäßig auf den pflanzlichen Bereich zurückgegriffen werden.

In dieser Arbeit werden die gleichwertigen Begriffe 'Öko-' und 'Bio(logisch)' nebeneinander verwendet.

2.2.1 Intention des Bio-Landbaus

Die ökologische Landwirtschaft entstand im 20. Jahrhundert als Antwort auf ökologische und ökonomische Krisen. Zum Aufbau eines möglichst umwelt- und tiergerechten wie auch sozialverträglichen Landbausystems wurde auf bestimmte Betriebsmittel und Handlungsweisen verzichtet.

Heute bedeutet dies ein Wirtschaften *ohne* Einsatz von Gentechnik, chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln, leicht löslichen mineralischen Düngern, Wachstumsreglern und Hormonen sowie weitgehender Verzicht auf Pharmaka. Neben mechanischen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen und der Wahl robusterer Sorten und Tierherkünfte werden Ertragssteigerungen dadurch erzielt, dass ohnehin ablaufende natürliche Prozesse, welche die Grundlage der landwirtschaftlichen Produktion bilden, im Rahmen eines intakten Ökosystems angeregt werden. Hierzu gehören Gründüngung und das Ausbringen organisch gebundenen Stickstoffs gleichermaßen wie der Einsatz von Nützlingen und der Anbau in abwechslungsreichen Fruchtfolgen. Dabei werden stets möglichst geschlossene Stoff- und Energiekreisläufe zwischen den vier Gliedern der Nahrungskette (Boden -- Pflanze – Tier – Mensch) angestrebt. Die Fütterung der Tiere erfolgt dementsprechend möglichst mit hofeigenem Futter und der Viehbesatz ist streng an die vorhandenen Flächen gebunden.

Indem die Folgen landwirtschaftlichen Handelns abgeschätzt werden, sollen negative Auswirkungen auf Menschen, Nutztiere und Umwelt minimiert, hohe Lebensmittelqualität erzielt und die natürlichen Produktionsgrundlagen langfristig gesichert werden.

Seit 1991 gibt die EG-Öko-Verordnung (heute geregelt über die Verordnungen VO(EG) Nr.834/2007 und VO(EG) Nr.889/2008) Mindeststandards für die Produktion, Verarbeitung und Kontrolle von Bio-Erzeugnissen vor. Die Richtlinien der Bio-Landbauverbände (wie z.B. Bioland, Naturland, Demeter) haben u.a. hinsichtlich der Betriebsumstellung, einsetzbarer Düngemengen, Futtermitteln und Tierhaltung deutlich höhere Anforderungen.

[BÖLW 2007; BMELV 2009]

2.2.2 Qualitätsunterschiede – Klassische Analytik

Herkömmliche Qualitätsbestimmungen basieren auf der Lebensmittelanalytik. Da diese über das Vorhandensein lebensnotwendiger Inhaltsstoffe wie auch lebensgefährdender Toxine Auskunft gibt, ist sie von grundlegender Bedeutung. Gängige Analysemethoden sind u.a. chromatographische, spektroskopische, gravimetrische, elektrophoretische und titrimetrische Verfahren, wobei alle Untersuchungen die Zerlegung der Probe in ihre einzelnen Bestandteile erfordern. [KIENZL-PLOCHBERGER und SCHWAIGER 1999]

2.2.2.1 Wertmindernde Inhaltsstoffe

Als wertmindernde Inhaltsstoffe pflanzlicher Produkte gelten neben Umweltkontaminanten insbesondere Nitrat und Pestizide. Über Futtermittel, Einstreu und Weideflächen gelangen diese Substanzen auch in tierische Erzeugnisse.

Während in der konventionellen Landwirtschaft etwa 1000 **Pflanzenschutzmittel** [BVL 2009] eingesetzt werden dürfen, beschränkt sich der Ökologische Landbau auf wenige ausgewählte, nicht chemisch-synthetische Pestizide. Durch die ubiquitäre Kontamination von Luft, Wasser und Böden sind ökologisch erzeugte Produkte zwar meist nicht gänzlich frei von Rückständen, weisen jedoch deutlich geringere Belastungen auf [STOLZ 2003; BURTSCHER 2007]. So ergab die Untersuchung von fast 500 pflanzlichen Lebensmittelproben im Rahmen des Ökomonitorings Baden-Württemberg 2007 [CVUA Stuttgart 2007] für die konventionellen Proben durchschnittlich mindestens 100-fach höhere Pflanzenschutzmittelgehalte im Vergleich zu den nicht-beanstandeten Öko-Proben (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Mittlerer summarischer Gehalt an nachgewiesenen Pflanzenschutzmittelrückständen je Probe. [CVUA Stuttgart 2007]

	Alle als 'Öko' vermarkteten Proben	Öko-Proben ohne beanstandete Proben	Proben aus konventionellem Anbau
Obst	0,043 mg/kg	0,002 mg/kg	0,28 mg/kg
Gemüse	0,014 mg/kg	0,001 mg/kg	0,45 mg/kg

Die **Nitratgehalte** hängen nicht nur von Menge und Art der Düngung, sondern auch von Pflanzensorte und Erntezeitpunkt ab. Ökologische Produkte liegen tendenziell, meist jedoch nicht signifikant, unter denjenigen konventioneller Erzeugnisse [WOESE et al. 1997; VELIMIROV und MÜLLER 2003; REISER 2006; CVUA Stuttgart 2006].

Dasselbe gilt für **Mykotoxine**, deren Vorkommen weniger von der Produktionsform als vielmehr von Witterungsbedingungen während der Blüte und Lagerbedingungen nach der Ernte abhängt [KOUBA 2002; HAMSCHER 2005; HOOGENBOM et al. 2006; CVUA Stuttgart 2007].

Da im Ökologischen Landbau nur sehr beschränkt **Pharmaka** eingesetzt werden dürfen [VO(EG) Nr.889/2008], sind entsprechende Rückstände in tierischen Produkten in der Regel nicht zu finden [FEHLHABER 2004; CVUA Stuttgart 2006].

Umweltkontaminanten wie Dioxine und Schwermetalle reichern sich über die Nahrungskette im Fettgewebe von Tieren an. Da diese ubiquitär oder aber standortabhängig vorkommen, unterscheiden sich ökologische Produkte im Gehalt meist nicht von konventionellen Erzeugnissen [HAMSCHER 2005; KYPKE und ZACHARIAE 2006; VAN DE VIJVER et al. 2006].

2.2.2.2 Wertgebende Inhaltsstoffe

Am deutlichsten unterscheiden sich ökologische Produkte pflanzlicher Herkunft von konventionellen Erzeugnissen durch höhere Gehalte an **Sekundären Pflanzenstoffen** (wie Carotinoiden, Phytosterinen, Glucosinolaten, Flavonoiden u.v.m.) [BRANDT und LEIFERT 2005] und **Trockenmasse** [FLECK et al. 1998].

Hinsichtlich **Ballaststoff-, Vitamin- und Mineralstoffgehalten** existieren keine eindeutigen Abhängigkeiten vom Anbausystem [KIENZL-PLOCHBERGER und SCHWAIGER 1999; HUBER 2007; STRACKE et al. 2008]. Meist haben Standortfaktoren diesbezüglich einen größeren Einfluss.

Der Vergleich von tierischen Produkten gestaltet sich schwierig. Haltungsbedingungen und genetische Tierherkünfte spielen im Hinblick auf Inhaltsstoffe zumeist eine größere Rolle als die unterschiedliche Futterqualität [NEUHOFF 2001]. Bislang konnten in Bio-Fleisch bzw. -Milch tendenziell höhere Gehalte an **ungesättigten Fettsäuren** und günstigere **Verhältnisse von n6- zu n3-Fettsäuren** gefunden werden. [VELIMIROV und MÜLLER 2003; TAUSCHER et al. 2003]. Auf Unterschiede in der Qualität von Hühnereiern wird in Abschnitt **2.3** näher eingegangen.

2.2.3 Qualitätsunterschiede – Ganzheitliche Methoden

Dass Nahrungsinhaltsstoffe, denen eine gesundheitsförderliche Wirkung zugesprochen wird, bei Verabreichung in *isolierter* Form nur geringe Vorteile, zum Teil sogar Nachteile für den Verbraucher mit sich bringen, weist darauf hin, dass Lebensmittelqualität mehr ist, als der Gehalt an bestimmten chemischen Substanzen. „(...) *ebensowenig wie man aus einem Haufen Ziegeln auf die Architektur des Hauses schließen kann, gibt uns eine rein analytische Aufzählung der Inhaltsstoffe Information über die Struktur und Dynamik des Lebensmittels.*“ [VELIMIROV 2007]

Für eine umfassendere Beurteilung von Lebensmittelqualität bedarf es neuer Qualitätsparameter, welche ihrerseits neue Methoden erfordern [ALFÖLDI et al. 2001]. Während chemisch-analytische Verfahren für die Quantifizierung von Inhaltsstoffen eine Isolierung der einzelnen Komponenten voraussetzen, zeichnen sich ganzheitliche Messverfahren durch einen minimalen Zerlegungsprozess aus. Die Proben werden in möglichst intaktem Zustand untersucht, um jede stoffliche oder strukturelle Komponente, welche letztendlich die Produktqualität als Ganzes ausmacht, zu erfassen [RAHMANN et al. 2003].

2.2.3.1 Nachernteverhalten

Als ganzheitliches Qualitätskriterium von pflanzlichen Proben kann der Strukturverlust in der Nacherntephase herangezogen werden. Wasser- und Substanzverluste, die Anreicherung schädlicher Substanzen (Nitrit, Mykotoxine u.a.) und mikrobielle Infektionen während der Lagerung geben Auskunft über die Widerstandsfähigkeit und damit indirekt den 'Gesundheitszustand' der Produkte.

In **Selbstersetzungstests** wird geraspeltes Pflanzenmaterial mehrere Wochen unter kontrollierten Bedingungen (25 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit) und Lichtabschluss inkubiert. Der Zersetzungsgrad, gemessen als Trockensubstanzverlust, sowie der mikrobielle Befall lassen Rückschlüsse auf die Produktionsform zu. Hohe Zufuhr und Verfügbarkeit stickstoffhaltiger Düngemittel wirken sich beispielsweise negativ auf die Haltbarkeit pflanzlicher Proben aus. [FLECK et al. 1998; KIENZL-PLOCHBERGER und SCHWAIGER 1999; RAHMANN et al. 2003; TAUSCHER et al. 2003]

2.2.3.2 Bildschaffende Methoden

Bildschaffende Methoden untersuchen die 'innere Fähigkeit' biologischer Systeme zur Gestaltbildung.

Bei der **Kupferchloridkristallisation** werden flüssige Proben (wie wässrige Auszüge aus Pflanzen, Milch, Blut) mit einer Metallsalzlösung kombiniert und auf einer Glasplatte langsam getrocknet, wodurch charakteristische Kristallisationsbilder entstehen. Die spezifische Kristallstruktur des Salzes wird dabei von den Formkräften der zu untersuchenden Probe überlagert. Über Aspekte wie Nadeldicke und Regelmäßigkeit der Verzweigungen liefern die Kristallbilder Informationen bezüglich Reife, Anbauverfahren oder verarbeitungsbedingten Qualitätsveränderungen.

Mittels **Steigbildmethode** und **Rundbildchromatographie** erhält man ähnliche Ergebnisse. Hier äußert sich die 'innere Ordnung' der Proben in unterschiedlich gefärbten oder geformten Chromatogrammen.

[BALZER-GRAF und BALZER 1988; TAUSCHER et al. 2003; KAHL 2006]

2.2.3.3 Physiologische Parameter

Informationen über den 'biologischen Wert' eines Lebensmittels liefern Methoden, welche die Auswirkungen von Produkten auf einen komplexen lebenden Organismus prüfen.

So erfolgt die Beurteilung von Lebensmitteln in der Sensorik mithilfe unserer Sinne. Der 'gesunde Appetit' ist die natürliche Einrichtung zur richtigen Nahrungswahl. Sensorische Eigenschaften bestimmen nicht nur den Genusswert eines Lebensmittels. Sie sind auch für die Auslösung von Verdauungsreflexen (wie Speichelfluss, Magensaft-, Enzym- und Hormonsekretion, Darmperistaltik) und damit für den effektiven Aufschluss der Nahrung verantwortlich [REHNER und DANIEL 2002]. Von Bedeutung sind optische, gustatorische und olfaktorische Reize, aber auch die Konsistenz der Nahrung spielt eine Rolle. Dass uns pflanzliche und tierische Produkte weitaus mehr ansprechen als reine Chemikaliengemische zeigt, dass unser Appetit Lebensmittel ganzheitlich bewertet. Zudem übertreffen menschliche Sinneswahrnehmungen objektive Messmethoden wie 'künstliche Nasen' ('electronic nose') bei weitem, wenn es um die Aufdeckung kleinster sensorischer Produktunterschiede geht [MEIER-PLOEGER 1988]. Obwohl der Geschmack pflanzlicher Produkte auch stark von Sorte, Standort und Lagerungsbedingungen abhängt, werden Bio-Produkte häufig als aromatischer bezeichnet [BÜNNAGEL 1992; KIENZL-PLOCHBERGER und SCHWAIGER 1999; BARANEK 2006]. In Futterwahlversuchen wird die Präferenz von Versuchstieren hinsichtlich unterschiedlicher Futterqualitäten getestet. So bevorzugen Ratten und Kaninchen beispielsweise Futtermittel aus biologischem Anbau gegenüber konventionellen Erzeugnissen. [PLOCHBERGER 1989; TAUSCHER et al. 2003; VELIMIROV et al. 2006]

Wie Fertilitätstests zeigen, erhöht die biologische Futterqualität auch die Trächtigkeitsrate und Embryonenanzahl von Versuchstieren – bei gleichzeitiger Verringerung des Anteils an Totgeburten [VELIMIROV 2005]. Außerdem weisen medizinische Untersuchungen auf eine positive Beeinflussung des Gesundheitszustandes (Blutdruck, Darmflora, Immunsystem) bei ökologischer Ernährung hin [HUBER und FUCHS 2003; BRANDT und LEIFERT 2005; HUBER 2007].

2.2.3.4 Physiologischer Aminosäurenstatus

Der Physiologische Aminosäurenstatus setzt sich zwar aus verschiedenen *analytischen* Untersuchungen zusammen, doch lässt er auf die Organisationsleistung *ganzer* Pflanzen/ Früchte schließen, weshalb er hier den ganzheitlichen Methoden zugeordnet wird.

Qualitätskriterium ist die physiologische **Proteinsyntheseleistung**. Neben dem Gesamtproteingehalt gibt auch die Menge freier Aminosäuren bzw. das Verhältnis ausgewählter Aminosäuren zum Gesamtproteingehalt Auskunft über den Entwicklungszustand der geprüften Pflanze. Je mehr Stickstoff in differenzierter Form (als arttypisches Pflanzenprotein) vorliegt, desto weiter ist die Pflanze in ihrer Entwicklung fortgeschritten. Der eingeschränkte Düngereinsatz des ökologischen Pflanzenbaus führt im Vergleich zum konventionellen zu einer höheren inneren Ausreifung der Pflanze, weshalb stickstoff- und aminosäureanalytische Verfahren zur Prüfung des Produktionsverfahrens herangezogen werden können. [TAUSCHER et al. 2003; STRUBE und STOLZ 2007]

2.2.3.5 Elektrochemische Methoden

Elektrochemische Qualitätstestverfahren beruhen auf der Idee, dass **pH-Wert**, **Redoxpotential** und **elektrische Leitfähigkeit** eng mit physiologischen Prozessen verknüpft sind und somit den biologischen Zustand eines Organismus in seiner Gesamtheit beschreiben.

Die Ionenverhältnisse (Wasserstoff-, Natrium-, Kalium-, Hydrogencarbonat-, Phosphationen u.a.) in intra- und extrazellulären Kompartimenten unterliegen strenger physiologischer Kontrolle, schwanken aber stressbedingt, in Abhängigkeit von Gesundheitszustand oder Produktionsweise. Entsprechend verändern sich die elektrochemischen Eigenschaften der physiologischen Flüssigkeiten. Dem Redoxpotential wird besondere Bedeutung beigemessen, da es die Reduktionsfähigkeit widerspiegelt und damit als Maß für die antioxidative Wirkung eines Lebensmittels herangezogen werden kann. Unter der Annahme, dass 'stressärmer' lebende Organismen reduzierter sind, also elektronenreicher, stehen niedrige Redox-

potentiale bei gleichzeitig hoher elektrischer Leitfähigkeit für eine hohe Produktqualität. Mineralische Düngung und Produktalterung wirken sich in diesem Sinne qualitätsmindernd aus. [VELIMIROV 2002; STALLER 2003; TAUSCHER et al. 2003; HOFFMANN und STALLER 2004]

2.2.3.6 Biophotonenmethode / Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie

Bei der **Biophotonenmessung** werden ultraschwache Lichtemissionen, zumeist nach gezielter optischer Anregung des Probenmaterials, detektiert. **Intensität** und **Kinetik** des Nachleuchtens geben Auskunft über die Lichtspeicherfähigkeit des Untersuchungsmaterials. Letztere ist ein Maß für den inneren Ordnungszustand der Probe, welcher abhängig von der Intaktheit und Gesundheit des biologischen Systems variiert. Ökologische Erzeugnisse weisen in der Regel höhere Nachleuchtintensitäten und langsamere Abklinggeschwindigkeiten auf als die konventionellen Vergleichsprodukte. [TEUBNER 1983; LAMBING 1992; KÖHLER 2001]

Die **Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie** arbeitet grundsätzlich mit derselben Messtechnik wie die Biophotonen-Messung, doch steht hier das **Wellenlängenspektrum** im Vordergrund. Für pflanzliche Proben wurden zwei charakteristische Anregungsspektren gefunden: während *Blätter, Früchte und Wurzelfrüchte* am stärksten nach Anregung mit rotem, gelben und grünen Licht nachleuchten, ist das Anregungsspektrum von *Samen* in Richtung kürzerer Wellenlängen verschoben. So sind Proben mit **vegetativer Anlage** von Proben mit **samentypischer Prägung** zu unterscheiden. Beispielsweise ist für Samen eine gute Ausprägung der Samenruhe charakteristisch. Samen, die bei geringer Feuchtigkeit schnell keimen, sind eher als vegetativ zu bewerten, was dem Charakter eines Samens weniger gut entspricht. Da konventionelle Anbauverfahren den vegetativen Charakter von Samen als auch Pflanzen erhöhen, lässt die Fluoreszenz-Anregungs-Spektroskopie Rückschlüsse auf das Kulturverfahren bzw. die Samenqualität zu. [TAUSCHER et al. 2003; STRUBE und STOLZ 2001; STRUBE und STOLZ 2007]

2.2.4 Fazit – Lebensmittelqualität: 'Bio' versus 'Konventionell'

Chemoanalytisch ist es bislang nicht möglich, anbaubezogene Unterschiede zwischen konventionellen und ökologischen Erzeugnissen nachzuweisen.

Ganzheitliche Messverfahren ergänzen das stoffbezogene Qualitätsbild von Lebensmitteln jedoch um strukturelle und physiologische Aspekte. Ihre komplexe Erfassung der Qualität ermöglicht den Nachweis von erzeugungsspezifischen Produkteigenschaften, für welche die konventionelle Analytik nicht ausreicht.

2.3 Qualitätsaspekte von Hühnereiern

Neben der 'Produktqualität' spielt gerade bei Eiern in Politik und Gesellschaft die 'Prozessqualität' eine viel diskutierte Rolle. Darum sollen – nach kurzer Beschreibung des natürlichen Lebensraums von Hühnern – die Rahmenbedingungen der verschiedenen Haltungssysteme für Legehennen dargestellt werden. Anschließend wird auf verschiedene Eiquälitätsparameter und diesbezügliche Unterschiede zwischen Eiern aus konventioneller und ökologischer Erzeugung eingegangen.

2.3.1 Prozessqualität – Formen der Legehennenhaltung

Die Legehennenhaltung ist in Deutschland zum einen durch die EU-Legehennen-Richtlinie (1999/74/EG), zum anderen durch die – weit schärfere Vorgaben beinhaltende – nationale Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV 2006) geregelt. Während Käfig- bzw. Kleingruppenhaltung den *wirtschaftlichen* Aspekt in den Vordergrund stellen und sich diesbezüglich durch hohe Effizienz auszeichnen, orientieren sich alternative Produktionssysteme (Boden-, konventionelle und ökologische Freilandhaltung) auch in unterschiedlichem Maße am *Wohlergehen* der Legehennen. Aufschluss über artgerechte Lebensbedingungen des Haushuhns gibt der natürliche Lebensraum seines Vorfahrens, des Bankivahuhns.

2.3.1.1 Natürlicher Lebensraum

Bankivahühner sind in den Dschungelgebieten Südostasiens beheimatet und leben unter der Obhut eines Hahns in kleinen Familienverbänden. Im Idealfall erstreckt sich das Revier radial um einen erhöhten Schlafplatz, der sich zum Schutz vor Feinden meist mehrere Meter über dem Boden in Bäumen befindet. Futtersuche, Eiablage und Ruhezeiten bilden einen geregelten Tagesablauf. Ihren Bedürfnissen nach Hygiene und Bewegung gehen die Hühner durch Sand- und Sonnenbäder, Gefiederpflege sowie Laufen, Flattern und Flügelstrecken nach. Nahrung wird während dem Gehen und Erkunden aufgenommen und ist durch ausgiebiges Scharren und vielfältige Pickaktivitäten (wie Ziehen, Reißen, Hacken) geprägt. Die Sozialstruktur unterliegt einem stetigen Wandel: während brütende oder Küken führende Hennen hohes Ansehen genießen, haben kranke oder verletzte Herdenmitglieder einen niedrigen Rang. Eine stabile Organisation der Gruppe ist nur bei ausreichend Platz möglich. Die Tiere erkennen einander am Aussehen, an spezifischen Bewegungsmustern sowie akustischen Signalen, und können sich gegebenenfalls ausweichen oder aus der Gruppe zurückziehen. [HÖRNING et al. 2001; FRÖHLICH 2005; MAISACK und HIRT 2005; BUCHHOLTZ 2005]

2.3.1.2 Käfighaltung

Je Käfig werden vier bis sechs Hennen gehalten, wobei jedem Tier seit 2003 eine Fläche von mindestens 550 Quadratzentimetern zur Verfügung stehen muss. Die neben- und übereinander angeordneten Käfige sind mit Futtertrog, Tränke und einer Vorrichtung zur Kürzung der Krallen versehen. Je nach Etagenzahl können mehr als 50 Tiere pro Quadratmeter Stallgrundfläche gehalten werden. Der leicht geneigte Gitterboden ermöglicht zum einen das Abrollen der Eier auf ein Sammelband. Zum anderen minimiert er den Kontakt der Tiere mit ihrem Kot, welcher durch das Gitter hindurch fällt und ebenfalls über ein Band automatisch entsorgt wird.

Vorteile:

Durch das Abtrennen der Ausscheidungen erzielt der herkömmliche Käfig gegenüber anderen Haltungssystemen große Vorteile in den Bereichen Hygiene und Ei-Qualität. In Gruppen von vier bis sechs Hennen sind sozialer Stress und Tierverluste beschränkt. Kranke Tiere können leicht erkannt und gezielt betreut werden. Hinzu kommen die effektive Platzausnutzung, geringe Stallkosten, geringer Arbeitskraftaufwand (1 Arbeiter pro 100 – 300 000 Tiere) und die verhältnismäßig niedrige Umweltbelastung (Ammoniakemissionen).

Nachteile:

Die Käfighaltung führt zu einer drastischen Einschränkung art eigener Verhaltensweisen, welche nicht nur durch mangelnde Bewegungsfreiheit, sondern auch durch den Entzug von Tageslicht, Umweltreizen, Scharflächen und geschützten Nestern bedingt ist. Physiologische und ethologische Bedürfnisse der Legehennen (wie Gehen, Rennen, Aufbaumen, Flügelschlagen, Sandbaden, Nestsuchverhalten, Scharren, Picken) werden unterdrückt. Natürliche Verhaltensweisen werden, mangels fehlender Gegebenheiten, auf Artgenossen umorientiert und können zu Verletzungen oder gar Kannibalismus führen. Artgemäßes Sozialverhalten, welches die Einhaltung von Individualdistanzen erfordert, ist aufgrund des minimierten Platzangebotes nicht möglich. Zudem schlägt sich die mangelnde Bewegungsfreiheit in Schäden an Gefieder und Knochen nieder.

Aktuell befindet sich der Eiersektor im Umbruch. Seit Ende 2006 ist die herkömmliche Käfighaltung, als eine der intensivsten landwirtschaftlichen Tierhaltungsformen, in Deutschland verboten. Unter Anpassung der Besatzdichte und Käfigausstattung darf sie jedoch mit einer Ausnahmegenehmigung bis längstens Ende 2009 weiter betrieben werden. Ab 2010 erlauben sogenannte 'ausgestaltete Käfige' stattdessen die *Kleingruppenhaltung*. Als Weiterentwicklung der herkömmlichen Käfighaltung zielt diese darauf ab, die hygienischen, gesundheitlichen und

arbeitstechnischen Vorteile ersterer weitgehend beizubehalten. Ein erweitertes Platzangebot (mindestens 800 Quadratzentimeter je Tier) mit Sandbad, Nest und Sitzstangen soll jedoch die Nachteile in Bezug auf das Verhalten der Hennen reduzieren. Die Haltungseinheiten sind je nach Bauart für 10 bis 60 Tiere ausgelegt.

2.3.1.3 Bodenhaltung

In der Bodenhaltung werden Legehennen meistens in großen Gruppen von 100 bis maximal 6000 Tieren ohne räumliche Trennung gehalten. Innerhalb des geschlossenen Stalls können sich die Hennen auf einer oder mehreren Ebenen frei bewegen. Die Besatzdichte darf nicht mehr als 9 Tiere je Quadratmeter Nutzfläche (= für die Hühner begehbare Fläche) bei der ein-etagigen und nicht mehr als 18 Tiere je m² Stallgrundfläche bei der (höchstens) vier-etagigen Bodenhaltung betragen, sodass jeder Henne 1111 Quadratzentimeter Fläche zur Verfügung stehen. Mindestens ein Drittel der Stallbodenfläche muss als Scharrfläche mit Sand, Stroh oder Torf eingestreut sein und darf 250 Quadratzentimeter je Henne nicht unterschreiten. Der Rest besteht aus Lattenrosten oder Gittern über einem Kotkasten. Bei mehr-etagiger Bodenhaltung verhindern Kotbänder unter den Etagen das Herabfallen von Kot auf die darunterliegenden Ebenen. Zur Eiablage muss für je 7 Hennen ein Einzelnest, oder maximal 120 Hennen ein Gruppennest mit einer Fläche von mindestens einem Quadratmeter zur Verfügung stehen.

Bodenhaltungen werden häufig durch einen Kaltscharrraum oder Wintergarten ergänzt. Dieser überdachte und lediglich mit Maschendraht abgezaunte Bereich ist betoniert, wird eingestreut und kann leicht gereinigt und desinfiziert werden.

Vorteile:

Die Ausstattung mit Legenestern, Sitzstangen und Einstreu sowie die Bewegungsfreiheit ermöglicht den Tieren, ihren natürlichen Verhaltensweisen nachzugehen.

Die mehr-etagige Bodenhaltung erschließt den Tieren durch verschiedene Ebenen auch die dritte räumliche Dimension. Außerdem bietet sie bezogen auf die nutzbare Bodenfläche eine vergleichbare Tierplatzkapazität wie die konventionelle Käfighaltung [ECKHOF 2008] und verursacht bezogen auf den Tierplatz nur ein Drittel der umweltschädlichen Ammoniakemissionen der ein-etagigen Bodenhaltung.

Der Wintergarten ermöglicht den Hennen Zugang zu Frischluft bei gleichzeitigem Schutz vor Feinden und extremer Witterung. Zudem wird das Sandbaden und die damit verbundene Staubentwicklung in diesen gut belüfteten Bereich verlagert, die Stallluft somit nicht belastet.

Nachteile:

Die Nachteile der Bodenhaltung liegen in den Bereichen Hygiene, Tiergesundheit und Wirtschaftlichkeit.

Da die Hennen mit ihren Ausscheidungen in Kontakt kommen, können sich leicht infektiöse Krankheiten und Parasiten ausbreiten. Aus diesem Grund müssen Arzneimittel häufiger und länger als in der Käfighaltung eingesetzt werden. Problematisch ist dabei, dass Arzneimittelreste im Kot von den Tieren wieder aufgenommen werden ('Arzneimittelrecycling') und als Rückstände in die Eier gelangen können.

In großen Herden mit hoher Besatzdichte kommt es infolge von Rangordnungskämpfen häufig zu ernsthaften Verletzungen. Verhaltensstörungen wie Federpicken und Kannibalismus stellen weitere Verletzungsgefahren dar, welche durch Schnabelkürzen und Verringerung der Lichtintensität nur symptomatisch reduziert werden. Der Schmutzeieranteil ist gegenüber der Käfighaltung deutlich erhöht. Um in den Ställen akzeptable hygienische und nicht zuletzt wirtschaftliche Ergebnisse zu erreichen, ist ein deutlich höherer Arbeitseinsatz nötig.

2.3.1.4 Freilandhaltung

Bei Freilandhaltungen handelt es sich um ein- oder mehr-etagige Bodenhaltungen, die – zusätzlich zu einem Kaltscharrraum – tagsüber Zugang zu einem bewachsenen Auslauf bieten. Vorgeschrieben sind mindestens 4 Quadratmeter Auslauffläche je Henne.

Die Größe der Auslassöffnungen zum Grünauslauf ist nach der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung [TierSchNutztV 2006] geregelt. Es müssen mehrere Zugänge von mindestens 35 Zentimeter Höhe vorhanden sein, welche für je 500 Legehennen eine Breite von 100 Zentimetern aufweisen zu haben. Wie gut Grünausläufe von den Tieren angenommen werden, hängt stark von deren Strukturierung ab. Hühner nutzen den Auslauf besser, wenn ihnen Unterschlupfmöglichkeiten als Deckung vor Greifvögeln und Schutz vor extremen Witterungseinflüssen geboten werden. Mithilfe von Sonnendächern, Hecken oder Bäumen kann eine Verteilung der Tiere bis in stallferne Areale der Grünausläufe erreicht werden. Als soziale Streitschlichter, sowie auf Grund ihrer Bewachungs- und Schutzfunktion werden zum Teil Hähne miteingestallt [BAUER und FÖLSCH 2005].

Um vor den Auslauföffnungen Verschlammungen zu vermeiden, sollte der stallnahe Bereich der Auslauffläche mit speziellen Gitterrosten, Kies oder Hackschnitzeln befestigt sein.

Vorteile:

Durch das stark erweiterte Flächenangebot erhöht sich die Bewegungsfreiheit der Tiere enorm. Bei gleichmäßiger Nutzung des Auslaufs ist dadurch auch die Möglichkeit zur sozialen Distanz der Tiere gegeben, welche sozialem Stress in der Herde entgegenwirkt. Den Hühnern bieten sich zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten wie Futtersuche und -aufnahme, Sonnenbaden und Erkundungsaktivitäten. Der Auslauf ermöglicht nicht nur eine positiv zu bewertende Nahrungsergänzung durch Gräser, Kräuter, Würmer und Insekten. Auch die Auseinandersetzung mit dem Außenklima wirkt sich durch die Stimulation der natürlichen Abwehrkräfte förderlich auf die Tiergesundheit aus. Die Freilandhaltung kommt dem natürlichen Lebensraum von Hühnern insgesamt sehr nahe.

Nachteile:

Gegenüber der reinen Bodenhaltung nehmen die Nachteile um die mit dem Auslauf verbundenen Risiken zu. Einerseits steigen Tierverluste durch Wildtiere und Raubvögel, andererseits erhöht sich durch den Kontakt der Hennen mit der Vegetation und wild lebenden Tieren der Infektionsdruck. Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Zugluft, Nässe, Unterkühlung) können die Tiergesundheit, Hygiene und Eiqualität stark beeinträchtigen. Bei schlechtem Stallmanagement werden die Böden durch die unkontrollierbaren Ausscheidungen der Tiere unterschiedlich stark belastet. Umweltkontaminanten aus Luft und Böden (wie Dioxine und Schwermetalle) gelangen deutlich stärker in die Tiere und deren Produkte als in geschlossenen Stallhaltungen. Auch in der Freilandhaltung können Federpicken und Kannibalismus auftreten. Herdenmanagement und Pflege der Auslaufflächen sind arbeitsintensiv und stellen hohe Ansprüche an den Halter.

2.3.1.5 Ökologische Legehennenhaltung

Die ökologische Haltung unterscheidet sich von der konventionellen Freilandhaltung im Wesentlichen durch Vorschriften bezüglich des Futters und der tierärztlichen Behandlung der Legehennen. Das Futter muss bis Ende 2009 zu mindestens 90 % (im Anschluss zu 95 %) aus biologischem Anbau stammen. Zudem ist die Gabe von Raufutter (Gras, Heu, Stroh) vorgeschrieben. Der Einsatz synthetischer Aminosäuren zur Eiweißergänzung ist untersagt. Im Krankheitsfall sind homöopathische und pflanzliche Arzneimittel anzuwenden. Allopathische Medikamente, Antibiotika, Leistungsförderer und Wachstumshormone sind grundsätzlich verboten und nur in Ausnahmefällen unter tierärztlicher Aufsicht begrenzt einsetzbar. Gleiches gilt für das Schnabelkürzen. [BLE 2009]

Hinsichtlich der räumlichen Voraussetzungen unterscheidet sich die Bio-Haltung [VO(EG) Nr. 889/2008] von konventionellen Systemen außerdem in:

- dem flächengebundenen Umfang der Tierhaltung (nicht mehr als 230 Hennen je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche),
- der Besatzdichte (bei ein-/ mehr-etagiger Bodenhaltung max. 6 Tiere je Quadratmeter Stallfläche),
- der Maximalbelegung je Stall (3000 Tiere),
- der vorgeschriebenen Nachtruhe (ohne Kunstlicht) von mindestens 8 Stunden und
- der Bereitstellung von Schutzvorrichtungen im Auslauf.

Die Richtlinien von Anbauverbänden des ökologischen Landbaus gehen in einigen Punkten noch darüber hinaus (**Tabelle 2**).

Vorteile:

Die gegenüber der konventionellen Freilandhaltung nochmals reduzierte Besatzdichte, die vorgeschriebene Strukturierung der Auslauffläche, sowie die den physiologischen Bedingungen angepassten Beleuchtungsphasen im Stall sind als weitere Annäherung an die natürliche Umgebung von Hühnern zu werten. Die flächenbezogene Tierhaltung und innerbetriebliche Kreislaufwirtschaft wirken einer Überdüngung der Böden entgegen. Durch die ökologische Futterqualität ergeben sich letztendlich für Tier und Mensch geringere Schadstoffbelastungen bzw. diesbezüglich höherwertige Lebensmittel. Im Hinblick auf die weltweit wachsende Zahl resistenter Bakterienstämme, welche auch die menschliche Gesundheit bedrohen, ist der Verzicht auf den prophylaktischen Einsatz von Antibiotika ebenfalls sehr positiv zu bewerten.

Nachteile:

In der ökologischen Hühnerhaltung birgt der Auslauf dieselben Gefahren wie in der konventionellen Freilandhaltung. Aufgrund des stark eingeschränkten Medikamenteneinsatzes sind gesundheitliche Beeinträchtigungen tendenziell langwieriger. Verlängerte Wartezeiten nach dem Einsatz von Antibiotika bedeuten für den Halter zusätzlich finanzielle Einbußen. Wie der Ökolandbau allgemein, so fordert auch die ökologische Geflügelhaltung gegenüber den entsprechenden konventionellen Produktionssystemen einen höheren Arbeitskrachteinsatz.

[HÖRNING et al. 2001; MAISACK und HIRT 2005; SCHMIED 2007; LÜHE et al. 2007; BESSEI 2008; BLE 2009; BDE 2009]

Tabelle 2: Richtlinien für konventionelle und biologische Freilandhaltungen mit ein-etagigen Stallsystemen. [TierSchNutzV 2006; VO(EG) Nr. 889/2008; Bioland 2008; Naturland 2007, 2008; Demeter 2008a,b]

	konventionell	EG Nr. 889/2008	Bioland e.V.	Naturland e.V.	Demeter e.V.
höchstzulässige Tierzahl je Hektar landwirtschaftl. Fläche:	500 Tiere	230 Tiere	140 Tiere	140 Tiere	230 Tiere
Tierbesatz je Stallsegment:	6000 Tiere	3000 Tiere			
Besatzdichte je Quadratmeter:	9 Tiere	6 Tiere	6 Tiere	6 Tiere	4,5 Tiere
Sitzstangenabmessung je Tier:	15 cm	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm
ein Einzelnest je:	7 Tiere	7 Tiere	5 Tiere	8 Tiere	5 Tiere
Gruppennestfläche je Tier:	83 cm ²	120 cm ²	125 cm ²	120 cm ²	125 cm ²
		ganze Körner in der Einstreu + Raufutterangebot			
		kein Schnabelkürzen			
					≥ 2 Hähne je 100 Hennen

2.3.1.6 Fazit und Bemerkung – Prozessqualität von Hühnereiern

Die Legehennenhaltung in Käfigsystemen bietet im Hinblick auf Hygiene und Wirtschaftlichkeit unumstrittene Vorteile. Allerdings schränkt sie die Bewegungsfreiheit der Tiere stark ein und unterdrückt ethologische Bedürfnisse.

Offene Systeme dagegen erlauben das Ausüben angeborener Verhaltensweisen und eine – von der Boden- über die Freiland- zur Bio-Haltung zunehmend – artgerechte Lebensweise. Die gegenüber der Käfighaltung in Boden- bzw. Freilandsystemen erhöhten Risiken hinsichtlich Federpicken und Hygiene lassen sich durch Auswahl geeigneter Tierherkünfte, angepasste Aufzucht und ein hochwertiges Stallmanagement verringern. [ACHILLES 2002; EFSA 2004]

Grundsätzlich verfolgen heutzutage alle kommerziellen Haltungssysteme für Legehennen das Ziel, unter Gewährleistung eines Mindestmaßes an Tiergerechtigkeit qualitativ einwandfreie Eier zu produzieren. Ob dabei der Wirtschaftlichkeit oder dem Wohlergehen der Hennen mehr Rechnung getragen wird, entscheidet letztendlich der Verbraucher. [LÜHE et al. 2007]

2.3.2 Verbraucherverhalten und Eiermarkt in Deutschland

Die deutschen Haushalte haben 2008 erneut mehr Bio-Produkte gekauft als in den Vorjahren (**Abbildung 1**). Während die Zuwachsraten für pflanzliche Bio-Erzeugnisse teilweise rückläufig waren, nahm der Umsatz von tierischen Produkten stetig zu [SCHAAK 2008].

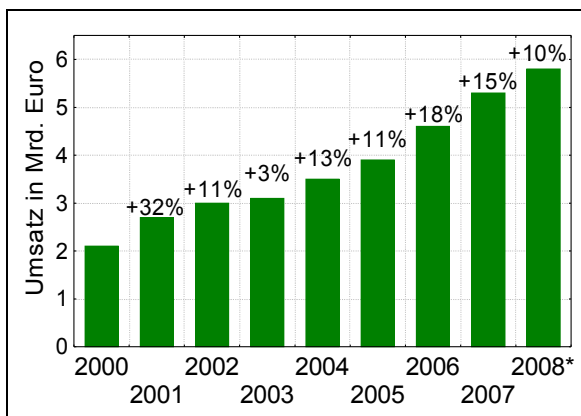


Abbildung 1: Umsatzentwicklung der Bio-Lebensmittel in Deutschland, ohne Genussmittel und Außer-Haus-Verzehr (*: Schätzwert, Genauigkeit +/- 2 %). [BÖLW 2009]

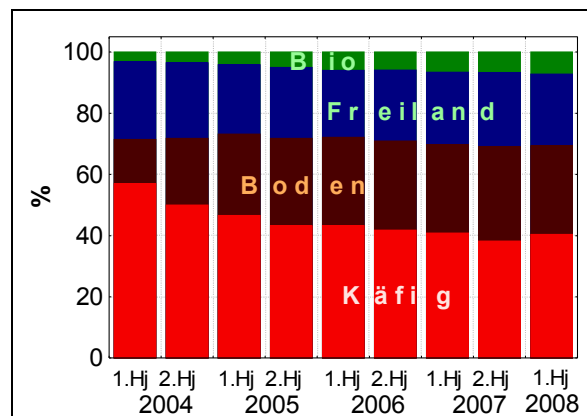


Abbildung 2: Haushaltseinkäufe von Eiern nach Haltungformen. [nach ZMP 2008 in MMB 2008]

Bei einem Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 210 Eiern stiegen im Jahr 2008 auch die Haushaltseinkäufe von Bio-Eiern weiter an. Gleichzeitig verloren paradoxerweise Eier aus konventionellen alternativen Haltungsformen Marktanteile zugunsten der Käfighaltung (**Abbildung 2**). Dieser Wandel lässt sich mit dem 2007 zeitweise aufgehobenen Preisunterschied zwischen Boden- und Käfigeiern erklären, welcher 2008 jedoch wieder anstieg [BÖTTCHER 2008]. Langfristig betrachtet ist für die Käfighaltung jedoch ein klarer Abwärtstrend zu verzeichnen, wovon insbesondere die Bodenhaltung profitiert. Bereits 2010, zwei Jahre vor dem Ausstieg der EU-Länder aus der Käfighaltung, soll in Deutschland der Bedarf an Käfigeiern durch Eier aus Kleingruppenhaltung gedeckt werden. Da sich weite Teile des Lebensmitteleinzelhandels jedoch weigern, Kleingruppeneier zu listen, werden diesem System kaum Chancen eingeräumt. [MMB 2008; BECK 2009]

Abbildung 3 zeigt die Verbraucherpreise für Eier im Jahr 2007. Im Vergleich zu Käfigeiern kosteten in Deutschland Eier aus Bodenhaltung etwa das 1,3-Fache, Eier aus Freilandhaltung etwa das 1,6-Fache und Bio-Eier durchschnittlich das 2,8-Fache. Nach GOLZE [2003] verfünffacht sich der Arbeitszeitaufwand von der Käfighaltung zur Freilandhaltung. Die beachtliche Preisdifferenz zwischen konventionell und ökologisch erzeugten Eiern rührt somit von dem – bei meist geringerer Bestandsgröße und Besatzdichte – hohen Betreuungsaufwand in der Bio-Legehennenhaltung, wie auch von den kostspieligeren Bio-Futtermitteln. Große Preisspannen bieten den Anreiz für Etikettenschwindel. Auch im Eier-Sektor warnen Verbraucher- und Tierschutzorganisationen immer wieder vor vermeintlichen Bio-Eiern. Bislang existiert jedoch kein Verfahren, um die Prozessqualität von Eiern nachzuweisen.

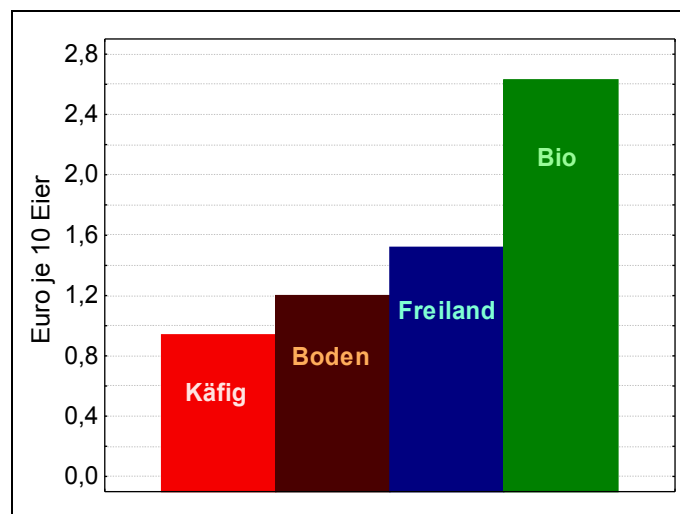


Abbildung 3: Deutsche Preise für Eier der Gewichtsklasse M im Jahr 2007. [BÖTTCHER et al. 2008]

2.3.3 Eiquantitätsunterschiede

Im Folgenden werden sowohl klassische als auch neuartige Eiquantitätsparameter vorgestellt, sowie deren Möglichkeiten zur Differenzierung zwischen konventionellen und Bio-Eiern.

2.3.3.1 Klassische Merkmale

Die Qualität von Konsumeiern wird üblicherweise anhand innerer und äußerer Eiquantitätsmerkmale beschrieben. Von den in **Tabelle 4** zusammengefassten Qualitätsaspekten sind für die Vermarktung besonders relevant:

- das **Eigewicht**, welches Basis für die EU-Vermarktungsnormen ist (**Tabelle 3**),
- die **Eifrische**, welche sich beispielsweise über die Höhe von Eiklar und Luftkammer messen lässt, und
- die **Schalenstabilität**, welche den Verlustanteil in Form von Brucheiern bestimmt.

Auch **Schalen-** und **Dotterfarbe** spielen eine wichtige Rolle. Die Schalenfarbe hängt von der genetischen Herkunft der Hühner ab, sodass diesbezüglich keine Haltungabhängigkeit existiert. Die Dotterfarbe lässt sich durch entsprechende Farbstoffzusätze im Futter einstellen. In der konventionellen Legehennenhaltung werden hierfür synthetische Farbstoffe eingesetzt, um den gewünschten Rotstich zu erzielen [WILDFEUER und ACKER 1967, VOGT 1983]. Auch hier kann man also nicht von einem echten Haltungseinfluss sprechen. In Deutschland bevorzugen 70 Prozent der Kunden Eier mit brauner Schale [KRAMHÖLLER 2008], weil sie dem Trugschluss unterliegen, weiße Eier kämen überwiegend aus Käfighaltung [HOLLWEG 2009]. Die Dotter betreffend bevorzugen Verbraucher in Europa einen satt orange-roten Farbton [HERNÁNDEZ 2005], wogegen beispielsweise in den USA hellere Dotter im Begriff 'gesunder Eier glücklicher Hühner' sind [JACOB und MILES 2008].

Tabelle 3: Gewichtsklassen für Hühnereier.

Gewichtsklasse	Gewichtsspanne
S	< 53 g
M	53 g bis < 63 g
L	63 g bis < 73 g
XL	> 73 g

Tabelle 4: Klassische Eiqualitytsmerkmale. [ACKER und TERNES 1994a; FEHLHABER 1994; BRADE 2000; STEINHILBER 2003; GRASHORN 2008; SIMONOVIC und GRASHORN 2008]

Äußere Eiqualityt	
<i>Merkmal</i>	<i>Einflussfaktoren</i>
Eigewicht:	genetische Herkunft, Tialter, Fütterung, Haltungsform
Schale: - Verschmutzungen und Knickeier - Oberflächenfehler - Dicke und Stabilität	Tialter, Fütterung, Stallmanagement, Haltungsform Erkrankungen, Fütterung genetische Herkunft, Tialter, Gesundheitszustand, Fütterung, Haltungsform , Lagereinflüsse
Schalenfarbe:	genetische Herkunft
Innere Eiqualityt	
<i>Merkmal</i>	<i>Einflussfaktoren</i>
Dotteranteil:	Eigewicht, genetische Herkunft, Tialter, Haltungsform
Frische: - Luftkammerhöhe - Eiklarhöhe - pH-Wert des Eiklars	Eigröße, Eialter, Lagereinflüsse (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO ₂ -Gehalt der Luft), Haltungsform , Erkrankungen, Fütterung
Eieinschlüsse: - Fleisch-/ Blutflecken - sichtbarer Keim	genetische Herkunft Hähne in der Herde
Dotterfarbe:	Fütterung, Haltungsform
Cholesterin:	genetische Herkunft, Haltungsform , Futterfett
Fettsäuremuster:	genetische Herkunft, Futterfett
Geruch, Geschmack:	Erkrankungen, Fütterung, Haltungsform , Eialter, Lagereinflüsse
Hygienische Qualität:	genetische Herkunft, Haltungsform , Fütterung, Stallmanagement, Lagereinflüsse
Rückstände: - Arzneimittel - Umweltkontaminanten	Haltungsform , Stallmanagement Futter, Einstreu, Haltungsform , Stallmanagement

Bezüglich **geschmacklicher Merkmale** [TAUSCHER et al. 2003] und dem **Nährstoffgehalt** gibt es bislang nur sehr wenige Studien. GRASHORN und GRIMRATH [2005] verglichen Eier aus Bio- und Käfighaltung. Während sich die Bio-Eier sensorisch nur geringfügig von den Käfigeiern abhoben, war der Unterschied hinsichtlich der Fettsäurezusammensetzung signifikant. Mit höheren Gehalten an mehrfach ungesättigten Fettsäuren und einem niedrigen n6-/n3-Fettsäureverhältnis schnitten die Bio-Eier aus ernährungsphysiologischer Sicht sehr viel besser ab. Als Grund für diesen von SCHÖFTNER [2006] bestätigten Qualitätsaspekt von Bio-Eiern wird die Aufnahme von Grünfutter im Auslauf genannt. Grundsätzlich ist das Fettsäuremuster – wie die Dotterfarbe – allerdings stark über das Futter manipulierbar. Folglich lassen sich mit entsprechenden Futterfetten auch in anderen Haltungsformen ernährungsphysiologisch ähnlich wertvolle Eier, sogenannte 'Designer-Eier' erzeugen. [JEROCH et al. 2002; TREBUNOVÁ et al. 2007; LINDEN 2008]

Wie mehrfach gezeigt wurde, hat die Haltungsform insgesamt keinen signifikanten Einfluss auf die Ei-Inhaltsstoffe [COOK und BRIGGS 1977; SCHÖNE et al. 2006; RISTIĆ et al. 2007; GIANNENAS et al. 2009].

Fast alle der weiteren in **Tabelle 4** genannten Qualitätsmerkmale zeigen eine gewisse Abhängigkeit von der Haltungsform. Jedoch handelt es sich um sehr schwache Effekte und die Studienlage ist widersprüchlich [PLOCHBERGER 1989; LEYENDECKER 2003; GRASHORN und GRIMRATH 2005].

So sind auch hinsichtlich **hygienisch-toxikologischer Qualitätsaspekte** die Ergebnisse nicht eindeutig. Grundsätzlich gilt zwar: je offener das Haltungssystem, desto höher ist das Risiko, was Belastungen der Eier durch Arzneimittel und Umweltkontaminanten angeht [BRADE 2000]. So weisen SIEGMANN [1992], REICHARDT et al. [2004] und GROOT KOERKAMP und KIJLSTRA [2008] auf die höhere Keimbelastung von Bio-Eiern bzw. Eiern aus alternativen Legehennensystemen hin. Nach einer Arbeit von FEHLHABER [2004] unterscheiden sich Eier aus ökologischen und konventionellen Produktionssystemen jedoch weder hinsichtlich der mikrobiellen Kontamination noch bezüglich Arzneimittelrückständen signifikant.

Mehrfach belegt dagegen ist der Haltungseinfluss auf die Belastung mit Dioxinen und dioxinähnlichen PCBs (Polychlorierten Biphenylen) [DEVRIES et al. 2006; CVUA Freiburg 2006; KIJLSTRA et al. 2007]. Diese nimmt von der Käfighaltung über die Bodenhaltung zur Freilandhaltung deutlich zu, da die Hennen zunehmend in Kontakt mit entsprechend kontaminiertem Boden und Bewuchs in Kontakt kommen können. Insbesondere kleinere Betriebe (bis etwa 1500 Tiere) haben Probleme mit erhöhten Dioxinwerten, da die Ausläufe dort ausgiebiger genutzt

werden und der Kontakt mit dioxinhaltigem Material intensiver ist. Höchstmengenüberschreitungen kommen dennoch selten vor und werden meist durch lokale Belastungsherde ausgelöst [CVUA Münster 2005].

Hinsichtlich organischer Kontaminanten und Pestizide unterscheiden sich also ökologisch und konventionell erzeugte Eier insgesamt nicht signifikant. Unter den Bio-Proben weisen Eier von Betrieben mit Verbandszugehörigkeit jedoch tendenziell geringere Gehalte auf als diejenigen von Betrieben, die allein nach EG-Öko-Verordnung wirtschaften. [CVUA Stuttgart 2006]

2.3.3.2 NMR-Spektroskopie (nuclear magnetic resonance)

In der Bundesanstalt für Fleischforschung (Kulmbach) wurde 2002 das Lagerverhalten von Eiern mithilfe der ^1H -NMR-Spektroskopie untersucht.

Werden intakte Eier in ein homogenes Magnetfeld gebracht und die enthaltenen Wasserstoffkerne durch Radiofrequenzimpulse angeregt, so können anschließend die Zeitspannen gemessen werden, die das System benötigt, um den Grundzustand wieder zu erreichen. Diese sogenannten Relaxationszeiten werden durch chemisch-physikalische Prozesse im Ei beeinflusst, wie sie etwa bei der Lagerung einsetzen.

Im Rahmen dieser Untersuchungen fiel außerdem auf, dass sich neben dem Alter der Hennen auch das Haltungssystem in den Relaxationszeiten niederschlägt. Bei Eiern aus Freilandhaltung war einerseits die Streubreite der Messwerte signifikant höher, andererseits lagen die Relaxationszeiten deutlich niedriger als bei Käfigeiern.

Da sich die Relaxationszeiten auch durch mikrobielle Kontamination der Eier verändern, letztere an den entsprechenden Eiern aus Käfig- und Freilandhaltung jedoch nicht gezielt untersucht wurde, ist noch keine definitive Aussage über die Eignung der NMR-Spektroskopie zur Aufdeckung von haltungsbedingten Qualitätsunterschieden von Eiern möglich. [HONIKEL et al. 2002; SCHWÄGELE et al. 2005]

2.3.3.3 Raman-Spektroskopie

Die Carotinoidkonzentration im Dotter ist bekanntermaßen durch Fütterung stark beeinflussbar [LEESON und CASTON 2004]. Aus diesem Grund wird zur Dotterpigmentierung mit (natürlichen oder synthetischen) Farbstoffen angereichertes Futter eingesetzt. Physiologisch besitzen Carotinoide insbesondere antioxidative, antikanzerogene und immunstimulierende Wirkungen [WATZL und BUB 2001], weshalb deren Gehalte in Lebensmitteln aus Verbrauchersicht interessieren.

Mittels Raman-Spektroskopie untersuchte HESTERBERG [2006], inwiefern sich Haltungform, Fütterung, genetische Herkunft und tierischer Metabolismus auf den Gehalt von Carotinoiden im Eidotter auswirken.

Bei dieser Methode wird die Probe mit intensivem monochromatischem Licht angeregt; ein sehr kleiner Anteil dieser Erregerstrahlung wird von der Probe unelastisch gestreut. Intensität und Wellenlänge dieser Strahlung erlauben nun Rückschlüsse auf den Carotinoidgehalt. β -Carotin, Lutein und Zeaxanthin können dabei nur als Gruppe erfasst werden, Lycopin hat dagegen ein eigenes Absorptionsspektrum.

Untersuchungen von Eiern aus ökologischer und konventioneller Produktion ergaben, dass Bio-Eier einen deutlich höheren Gehalt an Carotinoiden aufweisen. Dabei waren die Werte der Bio-Eier außerhalb der Vegetationsperiode (Winter) geringfügig niedriger als in den Sommermonaten, wohingegen die konventionellen Eier immer etwa dieselben Gehalte aufwiesen. In der konventionellen Erzeugung schlug sich das Haltungssystem nicht im Carotinoidgehalt nieder. Auch die genetische Herkunft spielte diesbezüglich keine Rolle.

Als Ursache für die höheren Carotinoidgehalte in Bio-Eiern nennt HESTERBERG die Aufnahme von Gras, welches weit mehr Substanzen dieser Stoffklasse enthält als übliches Legehennenalleinfutter. Bei wiederholter Umstallung zweier Hennen von konventioneller Stallhaltung auf ökologische Freilandhaltung und umgekehrt konnten jedes Mal Veränderungen der Gehalte an oben genannten Carotinoiden gemessen werden. Bereits nach 7 Tagen ökologischer Freilandhaltung enthielten die Dotter mehr β -Carotin, Lutein und Zeaxanthin. Die Ergebnisse der Freilandphasen ließen auch einen Zusammenhang mit der Witterung vermuten: die Carotinoidgehalte waren nach Schlechtwetterperioden niedriger, was sich durch intensiveren Stallaufenthalt und damit verringerte Grasaufnahme erklären ließ.

2.3.3.4 *Stabil-Isotopenmassenspektrometrie*

Jedes Bioelement (Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Wasserstoff) weist zumindest ein schweres Isotop auf, welches keinem radioaktiven Zerfall unterliegt. Die Verteilung dieser Isotope in Luft, Boden und Wasser variiert standortabhängig. Agrarprodukte spiegeln die lokalen Isotopenverhältnisse wider und tragen damit eine natürliche Markierung, einen 'isotopen Fingerabdruck' derjenigen Region, in der sie erzeugt wurden. Bei tierischen Produkten wird das Isotopenmuster gegebenenfalls zusätzlich durch Futtermittel beeinflusst, die von anderen Standorten bezogen werden.

In einer Studie der Agroisolab GmbH (Jülich) wurde die Isotopenmassenspektrometrie auf biologisch und konventionell erzeugte Eier angewandt [BONER 2003]. Im Eiklar konnten hinsichtlich folgender Isotope Unterschiede festgestellt werden:

- **Stickstoff** ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -Verhältnis):
Bio-Eier enthalten tendenziell mehr schweren Stickstoff als Eier aus konventioneller Landwirtschaft. Verantwortlich dafür ist der Einsatz *organischer* Dünger in der biologischen Landwirtschaft, welche hohe Gehalte an schwerem Stickstoff aufweisen und das Isotopenverhältnis in den Futtermitteln entsprechend beeinflussen.
- **Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel** ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -, D/H-, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ -Verhältnisse):
Die Isotopenverhältnisse von Sauerstoff und Wasserstoff im Eiklar korrelieren mit denjenigen des Trinkwassers vor Ort. In Deutschland weist das Grundwasser von Norden nach Süden zunehmend höhere Gehalte an schweren Isotopen auf, weshalb die Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopenverteilungen im Ei entsprechend Auskunft über die geographische Herkunft geben.
Unter Einbeziehung der Gehalte an schwerem Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel lässt sich die regionale Differenzierung weiter verbessern. Zu berücksichtigen ist, dass die Isotopenverhältnisse im Jahresverlauf starken Schwankungen unterliegen können, die geographische Identifizierung von Probenchargen innerhalb eines Monats aber möglich ist.

Insgesamt streuen die Werte konventioneller Eier weniger als die von Bio-Eiern, wodurch bei Erstgenannten eine feinere Differenzierung regionaler Unterschiede möglich ist. Als Grund hierfür wird die sehr homogene Nahrungsbasis in der konventionellen Tierhaltung gesehen, während der Auslauf in Bio-Haltung eine diverse Futterauswahl (Gräser, Kräuter, Samen, Insekten, Würmer) bietet. [BONER 2003]

2.3.3.5 Biophotonenmessung

Zur Untersuchung von Eiquantitätsunterschieden setzte erstmals B. KÖHLER die Biophotonenmethode ein [KÖHLER et al. 1991; KÖHLER 2001].

Bereits Vorversuche an Proben aus Praxisbetrieben wiesen eindeutige Unterschiede bezüglich der Biophotonenemission von Eidottern aus Käfig- und Freilandhaltung auf; weitere Untersuchungen bestätigten diese Ergebnisse.

So fanden sich unter standardisierten Bedingungen (baugleiche Stallungen an *einem* Standort, gleiche Futtermittel, gleichaltrige Tiere derselben genetischen Herkunft) signifikante Unterschiede zwischen Eidottern aus *Auslauf*-Haltung und den *Stall*-Haltungen 'Boden' und 'Käfig'. Innerhalb der Auslaufhaltung konnte zwischen den Bodenbeschaffenheiten 'Vegetation' und 'Sand' weiter differenziert werden, wobei die Variante 'Vegetation' die höchsten Strahlungsintensitäten der Dotter ergab.

Der Vergleich von Eiern aus Ställen mit verschiedenen Beleuchtungsarten (Tageslicht, True-Lite Lampen und Glühlampen) bestätigte den vermuteten positiven Einfluss von Sonnenlicht auf die Biophotonenemission der Dotter. Sonnenlicht-ähnliches Licht (*True-Lite* Lampen) führte gegenüber *Glühbirnen* tendenziell zu höheren Intensitätswerten der Dotter. Durch Fensterscheiben einfallendes *Tageslicht* übertraf diesen Effekt jedoch. Die Verfütterung von Grünfutter *im* Stall erhöhte die Biophotonenemission der Dotter in den meisten Fällen. In Kombination der Grünfütterung mit verschiedenen Stallbeleuchtungsarten äußerte sich dieser positive Effekt des Grasfutters am stärksten bei der Herde mit den unnatürlichsten Beleuchtungsbedingungen (Glühbirnen). Bereits zwei Wochen nach Beginn der Grünfütterung hob sich die entsprechende Bodenhaltung mit deutlich höheren Werten von der Kontrollgruppe ohne Grünfutter ab (**Abbildung 4**).

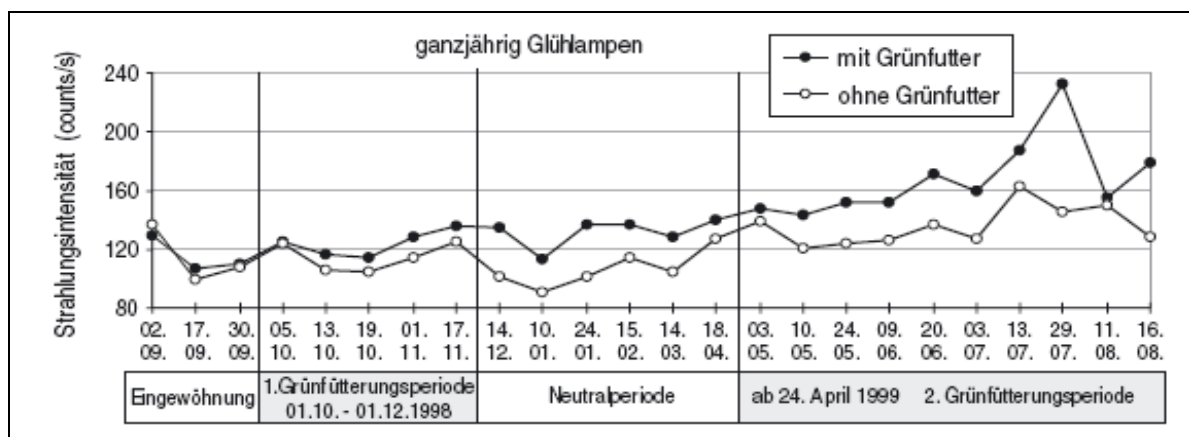


Abbildung 4: Jahreszeitlicher Verlauf der Biophotonenintensität von Eidottern bei ganzjähriger Stallhaltung mit Glühlampen-Beleuchtung (in der Neutralperiode wurde kein Grünfutter angeboten). [aus: KÖHLER et al. 2002]

Die genannten Einflussfaktoren wurden zusätzlich durch jahreszeitabhängige Größen wie etwa die Sonnenscheindauer und die Lufttemperatur überlagert. So schwankten insbesondere die Werte von Dottern aus Freilandhaltung. In den Sommermonaten fielen die Unterschiede zwischen Freiland- und Stallhaltungen in der Regel deutlich größer aus als in den Wintermonaten.

Das Ergebnis eines weiteren Versuchs lässt vermuten, dass sich auch die Prozessqualität des Legehennenfutters in der Strahlungsintensität der Dotter niederschlägt. Dotter von Hennen, die ökologisch erzeugte Proteinergänzer erhielten, lieferten deutlich höhere Biophotonenintensitäten als die Dotter rein konventionell gefütterter Tiere.

Insgesamt korrelierten hohe Biophotonenwerte mit hoher Sonneneinstrahlung, hohen Temperaturen sowie einem guten Gefiederzustand, welcher Ausdruck der Tiergesundheit ist.

LAMBING [1992] untersuchte in den Projekten KÖHLERs ergänzend, ob es Zusammenhänge zwischen analytisch messbaren Qualitätseigenschaften und der Biophotonenemission von Eidottern gibt. Cholesterol-, Fett-, Lecithin- und Gesamtcarotinoidgehalte sowie die Dotterdichte ergaben allerdings lediglich geringe Korrelationen mit den Biophotonenparametern. Ein Beitrag der genannten Inhaltsstoffe zur Lichtspeicherfähigkeit ist zwar denkbar, ein Kausalzusammenhang konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Vermutet wird, dass die Biophotonenemission ein Ergebnis komplexer Wechselwirkungen der Eiinhaltsstoffe darstellt.

Dass die Biophotonenmethode auch unter Praxisbedingungen ein hilfreicher Ansatz zur Unterscheidung von Eiern aus verschiedenen Produktionsformen darstellen könnte, fand auch MEIERHANS [1994]. Der mehrmonatige Vergleich von Eiern aus zwei Auslaufhaltungen und einer Hallenhaltung ergab signifikante Unterschiede, wenn auch die Haltungsformen aufgrund beträchtlicher Streuungen innerhalb eines Messtages nicht immer auseinander zu halten waren.

2.3.3.6 Fazit – Eiqualitätsunterschiede

Klassische Eiqualitätsmerkmale lassen keine signifikanten Unterschiede zwischen biologischen und konventionellen Eiern erkennen. Verschiedene optische Verfahren erweitern jedoch offensichtlich den Qualitätsbegriff um bislang unberücksichtigte Aspekte und erlauben damit eine Differenzierung.

Während mittels *Raman-Spektroskopie* auf einfache Weise temperaturabhängige Unterschiede im Gehalt von Carotinoiden erfasst werden können, stellt die *Stabil-Isotopenmethode* insbesondere einen Ansatz zur geographischen Herkunftsbestimmung dar. *NMR-spektroskopisch* lassen sich v.a. lagerungsbedingte chemisch-physikalische Produktveränderungen feststellen, welche möglicherweise auch durch die Haltungsform beeinflusst werden. Anhand der *Biophotonenmethode* ist unter standardisierten Versuchsbedingungen ein komplexes Ei-Qualitätsmerkmal feststellbar, das – ähnlich wie der Raman-spektroskopisch nachweisbare Carotinoidgehalt – von Futter, Lichtqualität bzw. Sonnenlichtexposition und Gesundheit der Hennen abhängt.

Als Methode für die Zurückverfolgung von Lebensmitteln ist bislang nur die Stabil-Isotopenmethode validiert, welche auf *stofflicher* Ebene eine Identitätsprüfung zulässt. Inwieweit die übrigen – zum Teil *ganzheitlichen* – Verfahren für eine Unterscheidung zwischen biologisch und konventionell erzeugten Eiern praxistauglich sind, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

3 ZIELSETZUNG UND HERANGEHENSWEISE

Wie im letzten Kapitel angesprochen, wurden mit der Biophotonenmethode bereits viel versprechende Ergebnisse hinsichtlich der Unterscheidung von konventionell und biologisch erzeugten Hühnereiern erzielt.

Zu klären ist, ob die unter *Versuchsbedingungen* entdeckten Zusammenhänge zwischen Haltungsform und Biophotonenemission der Eidotter auch auf *Praxisebene* reproduzierbar sind und, ob das Biophotonenverfahren als Kontrollmethode in der Eiervermarktung einsetzbar ist.

Dafür ist zu beantworten:

- welche **Messgröße** sich am besten für die Unterscheidung der Prozessqualität von Hühnereiern (biologisch, konventionell) eignet,
- wie groß unter Praxisbedingungen die **Unterschiede** dieses Parameters *zwischen*, und die **Streuungen** *innerhalb* der Haltungsformen sind,
- wie gut sich die Biophotonenwerte innerhalb eines Jahres **reproduzieren** lassen,
- mit welcher Wahrscheinlichkeit sich Eier anhand dieser Messwerte der richtigen **Produktionsform zuordnen** lassen.

In zwei Projekten soll diesen Fragestellungen nachgegangen werden:

- Quasi vom Standpunkt des Verbrauchers aus wird im **Datenbank-Projekt** untersucht, wie groß die Unterschiede der Biophotonenemission von Dottern aus verschiedenen Haltungsformen sind.
- Ziel der **Langzeitbeobachtung** ist es, Auskunft über die Dynamik der Biophotonenmesswerte über das Jahr zu erhalten. Es ist noch unklar, inwieweit sich Alterung der Tiere, Herdenwechsel am selben Standort oder saisonale Klimabedingungen auf die Lichtspeicherfähigkeit der Dotter auswirken. Um diesen Fragen nachzugehen werden hier zusätzlich klassische Eiqualitätsmerkmale untersucht.

Anhand der Daten beider Projekte wird anschließend geprüft, inwieweit mittels Biophotonenmessung die Prozessqualität von biologisch und konventionell erzeugten Eiern nachgewiesen werden kann.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 Projektorganisation und Probenmaterial

Die Biophotonenmessungen werden am Internationalen Institut für Biophysik in Neuss (Prof. Dr. F.A. Popp) durchgeführt, die Bestimmung der klassischen und analytischen Ei-Qualitätsmerkmale finden unter der Leitung von Prof. Dr. M. Grashorn am Institut für Tierhaltung und Tierzucht an der Universität Hohenheim statt.

4.1.1 Datenbank (DB)

Zur Erstellung der Datenbank werden Konsum Eier größtenteils aus Lebensmittelgeschäften, teilweise aber auch direkt von Erzeugern bezogen. Die Sammlung der Eier-Stichproben erfolgt ohne besondere Einschränkungen. Auswahlkriterien sind lediglich die *Frische* (möglichst langes Mindesthaltbarkeitsdatum) sowie die *Gewichtsklasse*. Um möglichst gleiche Messvoraussetzungen zu schaffen und das Volumen des Messgefäßes optimal auszunutzen, werden nur Eier der Klasse M und L erworben. Es wird darauf geachtet, dass sowohl weiß- als auch braunschalige Eier in die Untersuchung miteinbezogen werden.

Die Zeitpunkte der Probennahmen sind zufällig gewählt. Über etwa 1½ Jahre (Juli 2005 bis November 2006) werden pro Monat Eidotter aus ein bis vier Haltungsformen untersucht. **Tabelle 5** gibt Auskunft über die zeitliche Verteilung der Probennahme und die Anzahl der Proben je Haltungsform.

Aus welchen Regionen die Proben stammen (entsprechend aufgestempeltem Kennzeichnungscode, BMELV [2006a]) ist **Abbildung 5** zu entnehmen. Die jeweiligen Stichprobenumfänge, Ei-Alter und Schalenfarbe sind im Anhang (**Tabelle 29**) aufgeführt.

Tabelle 5: Verteilung der Eierstichproben im Projektzeitraum Juli '05 bis November '06.

		Probenanzahl				
		Bio	Kleinbäuerlich	Freiland	Boden	Käfig
2005	Juli	3		2	2	1
	August	5		1	1	4
	September	1	3			
	Oktober	2		7	6	5
	November	5				
	Dezember	5				1
2006	Januar	2		1	1	1
	Februar					
	März	2		2	2	1
	April	1		3	3	
	Mai	2	2			1
	Juni	1		2		3
	Juli				1	
	August					
	September					
	Oktober	1				1
	November	1		3	1	3

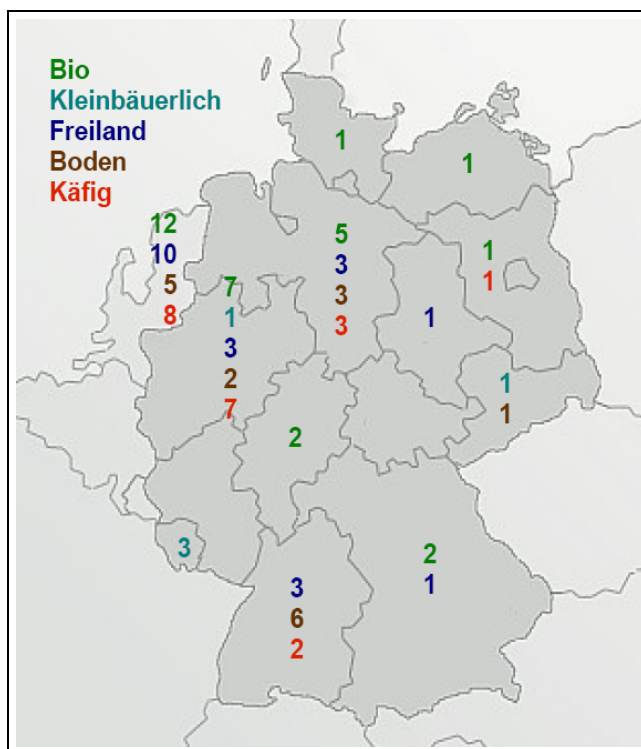


Abbildung 5: Anzahl der Eierstichproben je (Bundes-)Land.

4.1.2 Langzeitbeobachtung (LZ)

4.1.2.1 Durchführung

In einem Kooperationsprojekt zwischen dem Internationalen Institut für Biophysik (IIB)/ Neuss und dem Institut für Tierhaltung und Tierzucht (Fachgebiet Nutztierethologie und Kleintierzucht) an der Universität Hohenheim/ Stuttgart werden von 17. Mai 2006 bis 26. April 2007 Eier von acht deutschen Ei-Erzeugern untersucht. Monatlich gehen Eierproben aus insgesamt 12 Legehennenställen in die Untersuchung ein.

Aus Baden-Württemberg sind zwei Höfe mit Bodenhaltung sowie zwei Betriebe mit jeweils drei Haltungsformen (Käfig-, Boden- und Freilandhaltung) vertreten. Aus Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen werden zusätzlich vier Eierproben aus ökologischer Produktion bezogen. In **Tabelle 7** sind alle Proben mit dem im Folgenden verwendeten Probencode, der jeweiligen Haltung und dem Herkunftsland aufgelistet.

Tabelle 6 zeigt die monatlichen Beprobungszeiträume. Die Probenahme in den Ställen erfolgt alle vier Wochen. Von August bis Oktober 2006 sowie Februar bis April 2007 werden jeweils größere Probenabstände (fünf Wochen) gewählt, um insgesamt ein volles Jahr mit der Untersuchung abzudecken. Die einzelnen Termine sind **Tabelle 30** im Anhang zu entnehmen.

Jeden Monat erfolgt die Biophotonenmessung der Eidotter am IIB in Neuss, als auch die Bestimmung klassischer Eiquantitätsmerkmale durch Mitarbeiter des Fachgebietes Nutztierethologie und Kleintierzucht an der Universität Hohenheim. Die Stichprobengröße je Stall und Monat beträgt 30 Stück, wobei 10 Eier für die Bestimmung der klassischen Eiquantitätsparameter (Universität Hohenheim) und 20 Eier für die Biophotonenmessung (IIB/ Neuss) vorgesehen sind.

Tabelle 6: Beprobungszeiträume in der Langzeitbeobachtung (→ grau hinterlegt; KW: Kalenderwoche).

2006								2007			
Mai KW	Juni KW	Juli KW	Aug. KW	Sep. KW	Okt. KW	Nov. KW	Dez. KW	Jan. KW	Feb. KW	März KW	April KW
18	23	27	32	36	40	45	49	1	6	10	14
19	24	28	33	37	41	46	50	2	7	11	15
20	25	29	34	38	42	47	51	3	8	12	16
21	26	30	35	39	43	48	52	4	9	13	17
22		31			44			5			18

Tabelle 7: Codierung und Probenherkunft in der Langzeitbeobachtung (zwei Betriebe verfügen über drei Haltungssysteme: 'Standort A' und 'Standort B').

<i>Versuchsstall</i>	<i>Standort</i>	<i>Haltungssystem</i>	<i>Bundesland</i>
öF1		Bio	Niedersachsen
öF2		Bio	Nordrhein-Westfalen
öF3		Bio	Nordrhein-Westfalen
öF4		Bio	Nordrhein-Westfalen
kF1	A	Freiland	Baden-Württemberg
kF2	B	Freiland	Baden-Württemberg
B1	A	Boden	Baden-Württemberg
B2	B	Boden	Baden-Württemberg
B3		Boden	Baden-Württemberg
B4		Boden	Baden-Württemberg
K1	A	Käfig	Baden-Württemberg
K2	B	Käfig	Baden-Württemberg

4.1.2.2 Informationen zu Probenahme und Haltungsbedingungen

Um den Einfluss der Haltungssysteme auf die verschiedenen Eiquantitätsparameter bestmöglich zu erfassen, sollen über den gesamten Projektzeitraum alle übrigen Einflussfaktoren weitestgehend konstant gehalten bzw. dokumentiert werden.

Vor Projektbeginn werden die beteiligten Erzeugerbetriebe bezüglich der Probenahme gebeten, die Beprobungen jeden Monat stets

- am Legetag,
- im selben Stallabteil,
- im selben Hennenbestand über einen möglichst langen Zeitraum,
- rein zufällig

durchzuführen.

Einziges Auswahlkriterium stellt die Eiggröße dar. Einerseits sollen die Dottermassen über den gesamten Versuchszeitraum nicht zu stark streuen, andererseits die Kapazität des Messgefäßes nicht übersteigen. Solange vorhanden werden daher Eier der Größe M untersucht, ansonsten der Größe L.

Zudem wird eine stets gleiche Probenbehandlung von der Entnahme der Eier aus den Ställen über etwaige Zwischenlagerung bis zum Versand angestrebt.

Der Versand erfolgt spätestens einen Tag nach der Probenahme. Das Eialter zum Zeitpunkt der Bestimmung der äußeren und inneren Qualitätsparameter sowie der

Biophotonenmessung liegt daher in der Regel zwischen zwei und vier Tagen. Für die - möglichst zeitnah in den darauffolgenden Wochen durchgeführte - Fettsäureanalytik werden die Dotterproben eingefroren.

Genaue Angaben zu Herkunft und Alter der Tiere, Impfungen, eingesetzten Futtermitteln und Beleuchtungs- bzw. Auslaufzeiten werden (mit Ausnahme eines Betriebes) bei einer Besichtigung vor Ort eingeholt.

Klimadaten werden von Wetterstationen aus der jeweiligen Region des Projektbetriebes bezogen [Wetter 2008; GdHM 2008].

4.1.2.3 Probentransport

Der Probentransport erfolgt mittels Paketdienst – und spätestens ab Juli 2006 in speziellen Styropor-Eierboxen der Fa. Bauck GmbH (Uelzen). Trotz guter Verpackung kommt es hin und wieder zu Brucheiern, weshalb der Probenumfang in einigen Fällen auch geringfügig unter dem oben angegebenen von 30 Stück liegt. Die Probe des ökologischen Betriebs 'öF4' wird persönlich abgeholt und nur der Probenanteil für Hohenheim verschickt. Die Transportzeiten liegen zwischen einer Stunde und maximal zwei Tagen.

Nach Eintreffen im Institut für Tierhaltung und Tierzucht/ Hohenheim bzw. im IIB/ Neuss werden die Eier zunächst in den Versandkartons über ein bis drei Nächte stehen gelassen. Durch Erschütterungen während des Eiertransports wird der Dotter meist sehr stoßempfindlich, sodass ein Abtrennen vom Eiweiß kaum möglich ist. Nach Lagerung über mindestens 12 Stunden hat sich die Dotterkonsistenz jedoch wieder soweit verfestigt, dass der intakte Dotter gut vom Eiweiß abgenommen werden kann. Gelagert wird in einem kühlen, schattigen Raum (IIB) bzw. im Kühlschrank (Uni Hohenheim).

4.2 Biophotonenmessung

4.2.1 Messanordnung

Zur Detektion der Biophotonenemission werden zwei hochempfindliche Photomultiplier-Systeme (PMS) eingesetzt. Im DB-Projekt ist dies die Messanordnung 'PMS-1', im LZ-Projekt 'PMS-3.1'. Die Ansprechschwellen der Geräte liegen bei etwa 10^{-17} Watt. Diese hohe Sensitivität der Messgeräte verlangt eine Betriebsspannung von 1200 Volt. Das Eigenrauschen ist temperaturabhängig und kann durch Kühlung der Detektoren auf -25°C effektiv reduziert werden (von etwa 1000 counts/s bei

Raumtemperatur auf unter 10 counts/s). Um zu verhindern, dass Betaung der Oberflächen die Messempfindlichkeit beeinträchtigt, werden die Detektoren evakuiert. [RUTH 1977; BIESKE et al. 2000]

Abbildung 6 gibt den schematischen Aufbau einer solchen Messanordnung wieder. Das Messgefäß wird in der Dunkelkammer platziert. Es handelt sich hierbei um eine Quarzglasküvette mit den Abmessungen 2,2 cm x 2,2 cm x 4 cm. Die Messung der 'verzögerten Lumineszenz' erfolgt nach optischer Anregung der Probe. Je nach Messanordnung wird seitlich (PMS-1) bzw. von oben (PMS-3.1) frontal beleuchtet. Zum Schutz des Photomultipliers ist die Beleuchtungsrichtung rechtwinklig zur Detektionsrichtung angebracht. Außerdem ist der Detektor im Ruhezustand und während des Beleuchtens mit einem Shutter verschlossen. Die detektierte Photonenmenge wird über eine datenverarbeitende Einheit registriert und ausgewertet. **Tabelle 8** gibt Auskunft über Details und Unterschiede der beiden verwendeten Biophotonenmessgeräte.

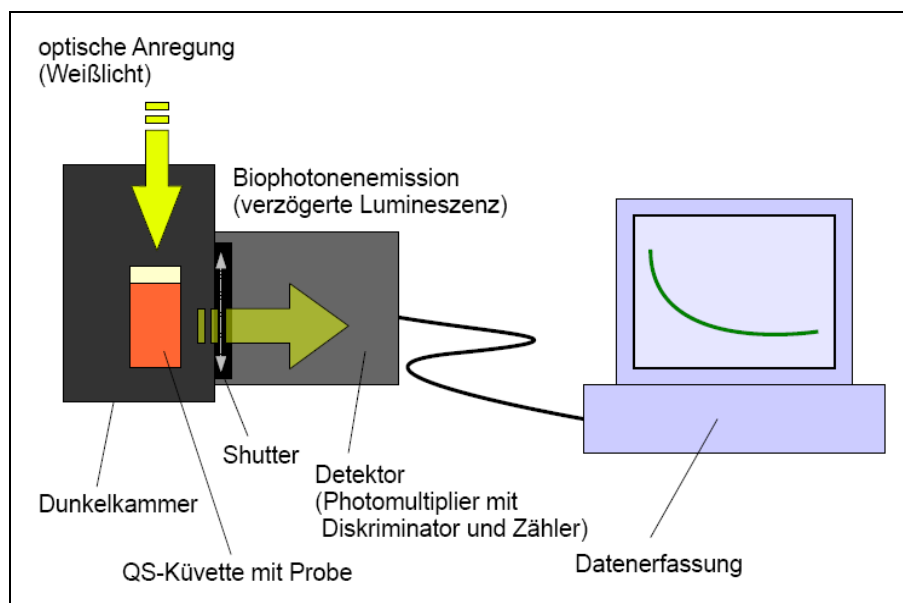


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Messanordnung.

4.2.2 Messeinstellungen

Die Messeinstellungen sind **Tabelle 9** zu entnehmen.

Beleuchtungs- und Messdauer stimmen in beiden Projekten überein. Lediglich das Messintervall wird bei der Langzeitbeobachtung von 1 s auf 50 ms reduziert, um das Abklingverhalten präziser zu erfassen. Gegenüber den Arbeiten von LAMBING [1992] und KÖHLER [2001] wird die Beleuchtungsdauer auf 30 s verkürzt, da längere Belichtung keine weitere Steigerung der Signalhöhe mehr bewirkt.

Tabelle 8: Angaben zu den verwendeten Biophotonenmessgeräten.

Messanordnung (Projekt)	PMS-1 (Datenbank)	PMS-3.1 (Langzeitbeobachtung)
Baujahr	1975	2005
Typ des Photomultipliers	EMI 9558 QB, Fa. Electron tubes	
Detektierter Spektralbereich	160 – 870 nm	
mittlere Quanteneffizienz	~ 15 %	
Eigenrauschen	< 10 counts/s	
Design der Messkammer	<i>horizontal</i> verschließbare Dunkelkammer mit einem <i>einzelnen</i> Probenpodest	<i>vertikal</i> verschließbare Dunkelkammer mit Probenkarussell für 16 Küvetten (Abbildung 7) (In der vorliegenden Arbeit wurden nur die ersten sechs Positionen belegt.)
Probenbeleuchtung	<i>direkt</i> mittels Liesegang-Projektor	<i>indirekt</i> mittels Lichtleiter
Lichtquelle	Wolfram-Lampe	Halogen-Kaltlicht LQ 1700 Fiberoptic Heim, Fa. Linos AG
Abstand: Probe ↔ Photodetektor	~ 5 cm	

Tabelle 9: Messeinstellungen (Biophotonenmessung).

Messanordnung (Projekt)	PMS-1 (DB)	PMS-3.1 (LZ)
Beleuchtungszeit	30 s	30 s
Messdauer	60 s	60 s
Messintervall	1 s	0,05 s
Dauer der Shutter-Öffnung (Zeit bis zum ersten Messpunkt)	0,10 – 0,15 s	0,10 s

4.2.3 Prüfung der Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessdaten

Photomultiplier sind hochempfindliche Messgeräte, welche sehr sensibel gegenüber elektromagnetischen Feldern, Streulicht oder Temperaturschwankungen reagieren.

Da in der vorliegenden Arbeit Messdaten von mindestens einjährigen Versuchsphasen miteinander verglichen werden sollen, ist es von wesentlicher Bedeutung, die Stabilität der Messempfindlichkeit der Photomultiplier zu überprüfen.

Aus diesem Grund wird an jedem Messtag mindestens einmal die 'leere Küvette' als Kontrollprobe sowie die 'leere Dunkelkammer' als Leerwert gemessen.

Im LZ-Projekt wird grundsätzlich bei *jedem* Messdurchgang ein Leerwert, die leere Position Nr.6 des Probenkarussells (**Abbildung 7**), erfasst. Außerdem werden Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Messraum regelmäßig dokumentiert. In beiden Projekten werden stets dieselben Küvetten verwendet, um Messwertschwankungen durch Fertigungsunterschiede der Probengefäße [vgl. KÖHLER 2001] zu minimieren. Vor Projektbeginn wurden Küvetten mit möglichst ähnlichen Strahlungseigenschaften ausgewählt.



Abbildung 7: Dunkelkammer des PMS-3.1.

4.2.4 Biophotonenmessung am Eidotter

Nach KÖHLER [2001] eignet sich für die Biophotonenmessung an Hühnereiern ausschließlich der Eidotter. Ganze Eier liefern aufgrund der variierenden Schalenbeschaffenheit (Schalendicke und -wölbung, Verschmutzungen...) keine vergleichbaren Messergebnisse. Auch das Eiklar ist durch seine inhomogene Zusammensetzung (dick- und dünnflüssige Anteile, Hagelschnüre) für die Biophotonenmessung ungeeignet. Die 'verzögerte Lumineszenz' liefert gegenüber der 'Eigenemission' (= Lichtemission ohne vorherige Beleuchtung) deutlich aussagekräftigere Ergebnisse. Während KÖHLER vorwiegend Mischproben aus je drei Dottern verwendete, werden in der vorliegenden Arbeit stets intakte Dotter untersucht, um die Dotterstruktur so wenig wie möglich zu zerstören.

4.2.4.1 Probenvorbereitung

Etwa 45 Minuten vor Messbeginn werden die Eierproben aus dem kühlen Lageraum genommen und zum Akklimatisieren in den Probenvorbereitungsraum gestellt. Eine etwaige Temperaturabhängigkeit der Biophotonenwerte soll von vornherein ausgeschlossen werden.

Vor Beginn der Messung werden zunächst folgende Probendaten erfasst bzw. überprüft:

- Haltungsform: Käfig-, Boden-, Freiland-, Bio- oder kleinbäuerliche Haltung,
- Probenherkunft: Code des Eierstempels und/oder Erzeugeranschrift,
- Ei-Frische: ≤ 3 Wochen,
- Eigewicht.

Nach der Bestimmung des Eigewichts wird das Ei aufgeschlagen und unter Verwendung eines Eiertrenners (Tupperware®) der Dotter vom Eiklar getrennt. Mithilfe zweier Pinzetten werden Eiweißreste und Hagelschnüre vom Dotter entfernt (**Abbildung 8**).

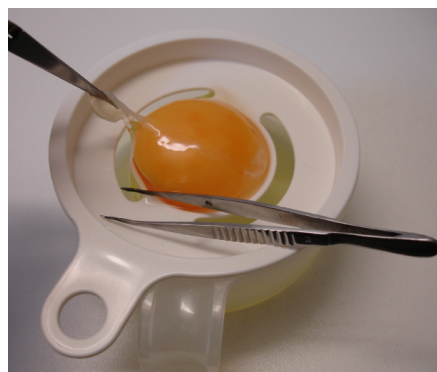


Abbildung 8: Isolierung des Dotters.

Über einen flachen Spatel lässt sich die Dotterkugel anschließend in der Regel unversehrt in die Quarzglas (QS)-Küvette überführen (**Abbildungen 9 und 10**).

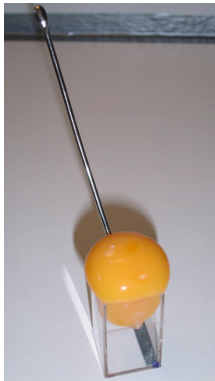


Abbildung 9: Einfüllen des Dotters in die QS-Küvette.

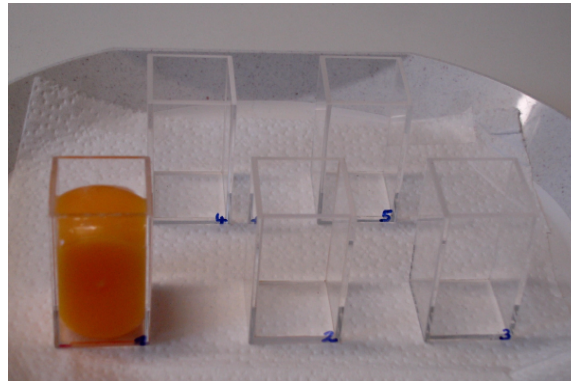


Abbildung 10: Verwendete QS-Küvetten.

Im Zuge der eben beschriebenen Probenvorbereitung werden weitere Eigenschaften notiert:

- Dottergewicht
- Dotterfarbe: Schätzung nach einer selbsterstellten 6-stufigen Farbskala (**Abbildung 11**)
- Flecken: Dotterauflagerungen wie Blut- oder Fleischflecken.

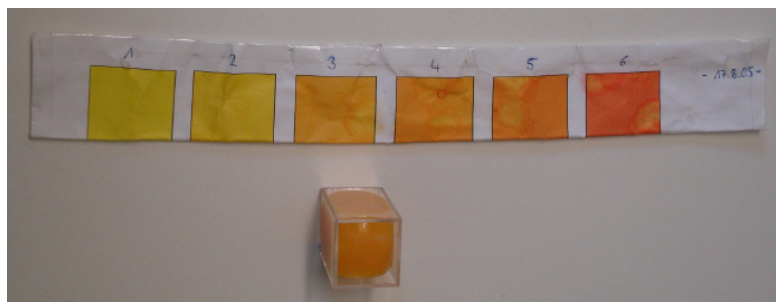


Abbildung 11: Bestimmung der Dotterfarbe vor der Biophotonenmessung.

4.2.4.2 Durchführung der Messung

Wie bereits erwähnt, erfolgen die Messungen für das DB-Projekt am Gerät PMS-1 mit einem Probenpodest für eine Küvette, diejenigen des LZ-Versuchs am Gerät PMS-3.1, welches über ein Probenkarussell verfügt.

Für einen Messdurchgang werden jeweils *eine* (PMS-1) bzw. *fünf* Küvetten (PMS-3.1) mit einem kompletten Dotter befüllt und direkt im Anschluss gemessen. Veränderungen an der Dotteroberfläche durch Austrocknen oder Kontakt mit Luft-sauerstoff sind damit auf eine Zeitspanne von maximal 20 Minuten beschränkt.

Im DB-Projekt wird ein Dotter stets zweimal gemessen, um mögliche lokale Unterschiede in der Beschaffenheit des Dotters mitzuerfassen. Die Küvette wird hierbei nach der ersten Messung manuell um 180° gedreht (PMS-1). Durch eine Markierung am Glasrand wird sichergestellt, dass im gesamten Versuchszeitraum stets dieselben Küvettenseiten gemessen werden.

Aufgrund der geringen Abweichungen beider Messungen werden im LZ-Projekt die Dotter nur noch von einer Seite gemessen.

Für die Entfernung von Dotter- und Eiweißresten werden die Küvetten in Wasser mit Spülmittel gesäubert und mit destilliertem Wasser nachgespült. Zum Abtrocknen dienen Wattestäbchen und Papiertücher.

Je Messtag werden in der Regel drei bis vier Proben untersucht (entsprechend bis zu 80 Eiern), wobei der zeitliche Aufwand für 20 Eier knapp 2 Stunden beträgt.

4.2.4.3 Weitere Messgeräte

In **Tabelle 10** sind alle weiteren Messinstrumente aufgelistet, die im Rahmen der Biophotonenmessung von Eidottern verwendet werden.

Tabelle 10: Weitere Messinstrumente im Rahmen der Biophotonenuntersuchung.

<i>Parameter</i>	<i>Verwendetes Messgerät</i>	<i>Zeitraum</i>
Raumtemperatur	– elektrisches Thermometer mit Thermoelement, Lutron TM-914C Messbereich: - 40 bis 1200 °C	DB-Projekt
Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit	– Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsstation Europe Supplies Ltd., WS-9400 CE, 12/06 V10 Messbereiche: • -9,9 °C bis +69,9 °C in 0,1 °C • 1 % - 99 % in 1 % Messintervall: 10 s	LZ-Projekt
Ei-Gewicht	– Laborwaage I: KERN 440-33 max. 200g, d= 0,01g – Laborwaage II: BRAINWEIGHTM B300 B300-00 220V, OHAUS	17.05.06 bis 23.11.06 13.12.06 bis 26.04.07
Dotter-Gewicht	– Analysenwaage: sartorius analytic A120S – Laborwaage I: (<i>siehe unter Eigewicht</i>) – Laborwaage II: (<i>siehe unter Eigewicht</i>)	28.06.05 bis 22.06.06 22.06.06 bis 23.11.06 13.12.06 bis 26.04.07

4.3 Klassische Eiquantitätsmerkmale

Im Folgenden werden die im LZ-Projekt bestimmten klassischen Quantitätsmerkmale aufgezählt und erläutert. Die Bestimmung erfolgt an zehn Dottern je Stichprobe (d.h. je Stall und Monat) bzw. im Falle der Fettsäureanalytik und Oxidationsprodukte anhand von zwei Pools à fünf Dottern. Für die Auswertung werden stets Stichproben-Mittelwerte verwendet.

4.3.1 Äußere Quantitätsmerkmale

4.3.1.1 Ei-Gewicht

Bestimmung durch Wägung der einzelnen intakten Eier.

4.3.1.2 Bruchfestigkeit der Schale

Die Bruchfestigkeit der Schale wird mit einem Festigkeitsprüfgerät (Instron Modell 4301) ermittelt. Nach Einspannen des Eies (von Pol zu Pol) zwischen den beiden Druckplatten wird zuerst dessen **Elastische Verformung** in mm bei einer Druckkraft von 10 N (Newton) gemessen. Es folgt der statische Kompressionstest bis zum Schalenbruch mit einer Kompressionsgeschwindigkeit von 5 mm/min. Die beim Springen der Schale gemessene Bruchkraft (i.d.R. 30 bis 40 N) dient als Parameter zur Bewertung der Schalenfestigkeit (hier Angabe als **Maximale Kraft**). Die Daten werden mit Hilfe der Software Instron Serie S ausgewertet.

4.3.2 Innere Quantitätsmerkmale

4.3.2.1 Luftkammerhöhe (Frische)

Abmessung am durchleuchteten Ei mithilfe einer Schablone.

Nach dem Aufschlagen der Eier auf eine Glasplatte (**Abbildung 12**) werden folgende Eigenschaften bestimmt:

4.3.2.2 Eiklarhöhe, Haugh Unit (Frische)

Mithilfe eines dreibeinigen Höhenmessers (**Abbildung 13**) wird die Eiklarhöhe 1 cm neben dem Dotter gemessen. Aus Eimasse und Eiklarhöhe wird die Haugh Unit (HU) nach folgender Formel berechnet:

$$(I) \quad \boxed{HU = 100 \cdot \log_{10} (h - 1,7 \cdot w^{0,37} + 7,6)}$$

h = Höhe des Eiklars in mm, w = Eimasse in g [MONIRA et al. 2003]



Abbildung 12: Bestimmung innerer Eiquantitätsmerkmale am aufgeschlagenen Ei.

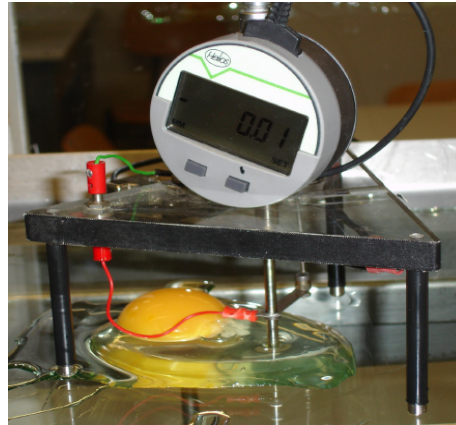


Abbildung 13: Dreibein zur Bestimmung der Eiklarhöhe.

$$4.3.2.3 \text{ Schalenanteil} = \frac{\text{Gewicht der leeren Schale}}{\text{Eigewicht}}$$

$$4.3.2.4 \text{ Dotteranteil} = \frac{\text{Dottergewicht}}{\text{Eigewicht}}$$

Zur Bestimmung des Dottergewichts wird der Dotter von der Glasplatte abgenommen und nach Entfernung von Eiklar und Hagelschnüren gewogen.

4.3.2.5 Dotterfarbe

Die Dotterfarbe wird zum einen mit Hilfe eines Farbfächers (Firma DSM, Basel, 2004), zum anderen nach dem L*a*b*-Farbsystem (CIE-Kommission, 1976) mit einem Chromameter (Minolta CR-300) bestimmt, und zwar unter Verwendung der CIE-Normlichtart D₆₅ und einem Beobachtungswinkel von 2°. Bei diesen Einzelmessungen wird jeweils unter direktem Kontakt von Messeinheit und intakter Dottermembran durch letztere hindurch gemessen. Anhand von drei Koordinaten wird die Farbe folgendermaßen beschrieben:

- L* → Helligkeit oder Farbtiefe
- a* → Grün- oder Rotanteil
(negative Werte: Grün; positive Werte: Rot)
- b* → Blau- oder Gelbanteil
(negative Werte: Blau; positive Werte: Gelb)
[SCHOLTYSSEK 1994; WIKIPEDIA 2009b]

Wie oben bereits angesprochen werden im Anschluss an die Bestimmung eben genannter Eiquantitätsmerkmale für die weiteren Analysen jeweils fünf Dotter gepoolt und eingefroren. Je Probe ergeben sich also zwei Dotterpools.

4.3.2.6 Fettsäureanalytik

Das Fettsäuremuster der Eidotter wird gaschromatographisch untersucht (Varian 3700 Gaschromatograph, Varian Inc. Palo Alto, USA; Säule DB 23, J&W Scientific, Folsom, USA). Nach hierzu erforderlicher Verseifung und Derivatisierung der Dotterlipide wird mit Hilfe von Triarachidin als internem Standard der Gehalt der einzelnen Fettsäuren ermittelt. Die Quantifizierung erfolgt – unter Verwendung zuvor bestimmter Responsefaktoren – wie üblich durch einen Flächenvergleich des internen Standards mit jeder einzelnen Fettsäure.

Die Identifizierung der Fettsäurenmethylester wird über die Retentionszeiten vorgenommen, welche zuvor über einen externen Standard, Supelco 37 der Firma Supelco (Bellefonte, USA), bestimmt wurden. Mit Hilfe der Software Varian Star Chromatographie Workstation Version 4.51 wird anschließend die qualitative Auswertung der Chromatogramme durchgeführt. Für die Auswertung des Fettsäuremusters (**Tabelle 11**) werden die nachgewiesenen Mengen an gesättigten, einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren bzw. n3- und n6-Fettsäuren jeweils addiert, die Anteile dieser Fettsäuregruppen am Gesamtfettsäuregehalt und das ernährungsphysiologisch relevante n6/n3-Verhältnis berechnet.

Tabelle 11: In der Langzeitbeobachtung bestimmte Fettsäuren.

C 14:0	C 18:0	C 20:2n6
C 16:0	C 18:1n9c	C 20:4n6
C 16:1n7c	C 18:2n6c	C 22:6n3
C 17:0	C 18:3n3	C 24:0

4.3.2.7 Oxidationsempfindlichkeit (TBARS)

Zur Quantifizierung des Oxidationsgrades der Dotterlipide werden die thiobarbitursäure-reaktiven Äquivalente (TBARS) bestimmt. Dabei handelt es sich um Oxidationsprodukte, welche mit Thiobarbitursäure unter Bildung von Malondialdehyd reagieren. Der entstehende Komplex aus Malondialdehyd und Thiobarbitursäure kann photometrisch gemessen werden [MENN 2006]. In dieser Arbeit wird die Extinktion nach einer Inkubationszeit von 135 min mit einem Zeiss PM 2 DL Photometer bei einer Wellenlänge von 535 nm gemessen und die Konzentration der TBARS in nmol/mg berechnet.

Eine ausführliche Beschreibung der Bestimmung von Fettsäuren und TBARS findet sich in der Dissertation von S. STEINHILBER [2003].

4.4 Auswertung der Biophotonenmessdaten

4.4.1 Eliminierung von Störeffekten während der Messung

Während der Biophotonenmessungen an Gerät PMS-3.1 werden Störeffekte beobachtet, welche sich in Unregelmäßigkeiten der Abklingkurve äußern. Sowohl bei den Referenzmessungen ('leere Dunkelkammer' bzw. 'leere Küvette') als auch bei den Dottermessungen treten Ausreißerwerte auf, und zwar in Form einzelner Peaks oder ganzer Gruppen erhöhter Werte (**Abbildung 14**).

Als Ursache hierfür können Spannungsschwankungen im Stromnetz identifiziert werden. Ein im Nachbarzimmer angeschlossener Hochspannungsgenerator verursacht im Rhythmus des An- und Abschaltens drastische Peaks in der Messkurve (**Abbildung 15**).

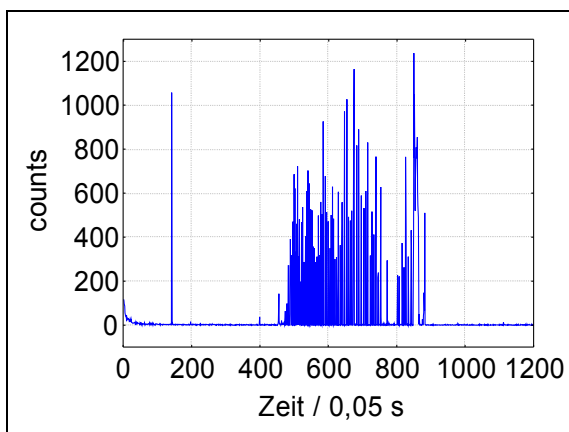


Abbildung 14: Abklingkurve eines Dotters mit Störsignalen.

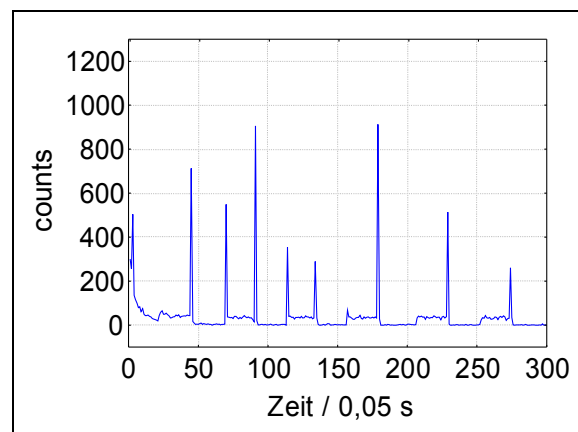


Abbildung 15: Provokationstest Auswirkungen von Schwankungen der Spannungsversorgung auf die Messung einer leeren Küvette an PMS-3.1.

Um verfälschende Auswirkungen derartiger Störeffekte auf die Messergebnisse zu minimieren, werden alle Messkurven des *LZ-Projektes* vor der Auswertung geglättet. Die damit gegebenenfalls einhergehenden Informationsverluste werden im Vergleich zu den störungsbedingten Ergebnisverzerrungen gering eingeschätzt. An PMS-1 im *DB-Projekt* war diese Maßnahme nicht erforderlich.

Bei der Glättung wird folgendermaßen vorgegangen:

als **Peaks** werden diejenigen Messwerte definiert, die

1. mehr als das Dreifache des vorangegangenen Messwertes betragen, sofern dieser größer als 1,3 counts ist,
2. mehr als 3,9 counts betragen, sofern der vorangegangene Messwert kleiner oder gleich 1,3 counts ist.

Ersetzt werden diese Werte durch das Mittel aus Vorgänger- und Nachfolgewert, falls letzterer nicht mehr als: das Dreifache des Vorgängerwertes (s. 1.) bzw. 3,9 counts beträgt (s. 2.)

andernfalls wird der Peak durch die Summe 'Vorgängerwert + 2' substituiert.

In **Tabelle 12** sind Peakbedingungen und Glättungsmaßnahmen zusammenfassend mathematisch ausgedrückt. Den Effekt dieses Verfahrens zur Kurvenglättung veranschaulicht **Abbildung 16**.

Tabelle 12: Glättungsregeln zur Peakeliminierung, mit x_n als n-tem Wert der Messkurve und \hat{x}_n als Ersatzwert.

wenn $x_{n-1} > 1,3$ und $x_n > 3 \cdot x_{n-1}$	$\rightarrow \hat{x}_n = \frac{x_{n-1} + x_{n+1}}{2}$, wenn $x_{n+1} < 3 \cdot x_{n-1}$
	$\rightarrow \hat{x}_n = x_{n-1} + 2$, wenn $x_{n+1} \geq 3 \cdot x_{n-1}$
wenn $x_{n-1} \leq 1,3$ und $x_n > 3,9$	$\rightarrow \hat{x}_n = \frac{x_{n-1} + x_{n+1}}{2}$, wenn $x_{n+1} < 3,9$
	$\rightarrow \hat{x}_n = x_{n-1} + 2$, wenn $x_{n+1} \geq 3,9$

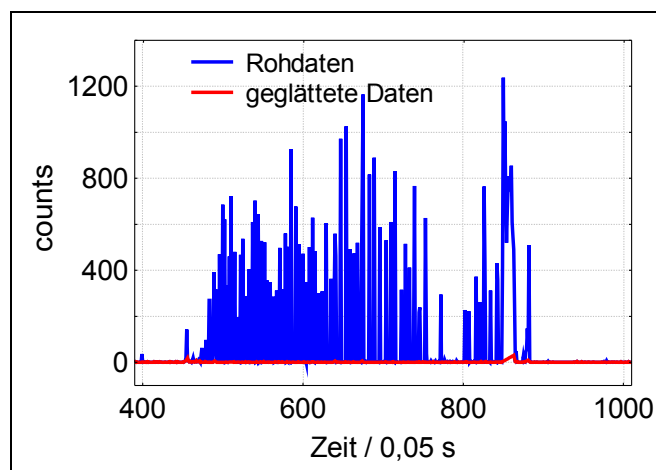


Abbildung 16: Effizienz der Kurvenglättung (Kurvenausschnitt).

4.4.2 Kenngrößen der Biophotonenemission

Die Biophotonenemission der untersuchten Proben wird – in Anlehnung an die Autoren TEUBNER [1983], KÖHLER et al. [1991], LAMBING [1992] und STRUBE und STOLZ [2001] – durch drei Parameter beschrieben:

- den ersten Wert der Abklingkurve, hier als **Startwert SW** bezeichnet (in counts),
- eine Größe zur Beschreibung der **Abklinggeschwindigkeit AG** (dimensionslos) und
- die **Intensität des Nachleuchtens NL** (in counts).

Da die ersten Messpunkte der Nachleuchtcurve besonders anfällig gegenüber Störungen sind, werden die ersten beiden Kenngrößen allerdings nicht aus den originalen Messdaten generiert, sondern von nachfolgender Anpassungsfunktion (**Abbildung 17**) abgeleitet:

$$(II) \quad I(t) = \frac{SW_{fit}}{t^{AG_{fit}}}, \quad \text{wobei } I \text{ die Lichtintensität in counts zum Zeitpunkt } t \text{ in Sekunden angibt.}$$

Die Güte des Kurvenfits ist in Form des Bestimmtheitsmaßes **Tabelle 32** im Anhang zu entnehmen. Es beträgt mindestens 0,8.

Angefittet wird immer der *Abklingbereich* der Nachleuchtcurve. Aufgrund der verschiedenen Messintervalle (**Tabelle 9**) muss dieser Bereich jedoch in den beiden Projekten unterschiedlich gewählt werden: im DB-Projekt stellen die ersten 5 Messpunkte (entsprechend 5 Sekunden), im LZ-Projekt die ersten 50 Messpunkte (entsprechend 2,5 Sekunden) die Datengrundlage für den Kurvenfit dar.

Für die Nachleuchtintensität (NL) wird im Gegensatz zu KÖHLER [2001] und STRUBE und STOLZ [2001] nicht die durchschnittliche Intensität, sondern die *Summe* aller Signale (counts) in einer festgelegten Zeitspanne im Anschluss an die Abklingphase berechnet um auch Messungen mit unterschiedlichen Messintervallen vergleichen zu können.

Abbildung 18 veranschaulicht den Messparameter 'NL'. Er gibt die Anzahl der in den letzten 40 Sekunden detektierten counts einer einminütigen Messung an.

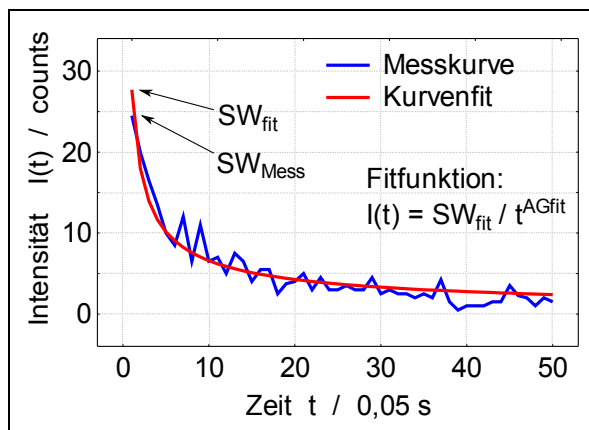


Abbildung 17: Fit der Abklingkurve (hier: leere Dunkelkammer von PMS-3.1).

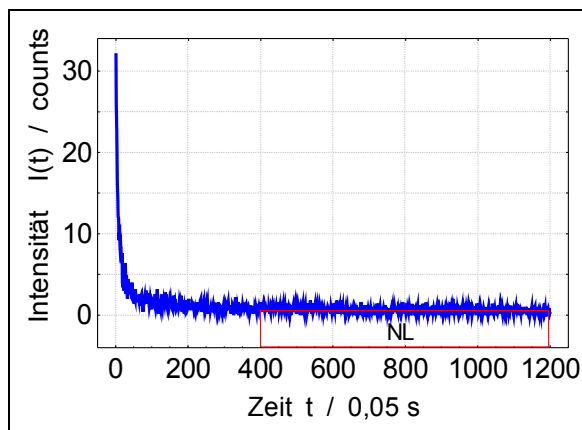


Abbildung 18: Nachleuchtintensität NL.

4.4.3 Entwicklung eines Kalibrierverfahrens

Um die Vergleichbarkeit der Dottermessdaten über den jeweiligen Projektzeitraum zu gewährleisten, ist es sehr wichtig, die Geräteempfindlichkeit regelmäßig zu prüfen und gegebenenfalls deren Veränderungen bei der späteren Datenauswertung zu berücksichtigen. Wie oben angesprochen, werden daher an jedem Untersuchungstag Kontrollmessungen durchgeführt.

Da sich in beiden Projekten, das heißt sowohl an Gerät PMS-1 als auch Gerät PMS-3.1, zwischen den Messterminen erhebliche Messwertschwankungen zeigen, wird anhand der Kontrolldaten ein Kalibrierverfahren entwickelt. Der dazu verfügbare Datenpool besteht zum einen aus den Messkurven der leeren Küvetten, wobei alle Messungen der Küvetten binnen eines Monats gemittelt werden. Zum anderen beinhaltet er die entsprechenden Daten der leeren Dunkelkammern, welche ebenfalls monatsweise und für jede Messanordnung monatlich gemittelt werden.

Unter der Annahme, dass die Lichtspeichereigenschaften der Küvetten über die Zeit stabil sind, werden nun verschiedene Korrekturverfahren getestet. Der Erfolg der jeweiligen Kalibriervariante wird an der Konstanz der Küvettenmesswerte über die Zeit geprüft.

4.5 Statistische Auswertung

4.5.1 Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität

Statistische Verfahren wie die Varianz- und Diskriminanzanalyse setzen voraus, dass die zu analysierenden Daten normalverteilt sind und Varianzhomogenität zeigen.

Bei Ei-, Dotter- und Schalengewicht, Eiklar- und Lufkammerhöhe, Haugh Unit sowie den Größen der Farb- und Bruchfestigkeitsmessungen handelt es sich erfahrungsgemäß um normalverteilte Eiquantitätsparameter.

Die Biophotonendaten müssen dagegen *logarithmiert* werden, um eine Normalverteilung zu erzielen. In den Tabellen sind jedoch der Anschaulichkeit wegen die Rohdaten dargestellt, sofern nicht anders vermerkt.

Die Kontrolle der Varianzhomogenität je Haltungsform erfolgt über *Scatterplots*, wobei die vorhergesagten Werte (predicted values) gegen die *studentisierten Residuen* aufgetragen werden.

4.5.2 Behandlung von Ausreißern

Ausreißer in den Messdaten können anschließende Datenanalysen stark verzerren [SCHENDERA 2007]. Aus diesem Grund werden – nach der Kalibrierung aller Messdaten – Extremwerte in zweierlei Hinsicht entfernt:

Bezüglich der Biophotonenwerte wie auch der klassischen Eiquantitätsparameter erweist sich der '*3-Sigma-Bereich*' als geeignetes Ausreißerkriterium. Alle Werte, die mehr als die dreifache Standardabweichung vom Mittelwert der studentisierten Residuen abweichen, werden eliminiert.

Die zweite Form der Ausreißereliminierung besteht daraus, nur Dotter der Massen 12 bis 22 g zu berücksichtigen. Dadurch soll eine unvollständige Ausnutzung des Photomultiplier-Messfensters verhindert werden.

Sowohl im DB- als auch im LZ-Projekt wird damit ein Datenverlust von jeweils etwa 4 % der gesamten Dotter-Biophotonendaten akzeptiert. Die ausgewerteten Stichprobenumfänge sind den **Tabellen 29** (DB) und **31** (LZ) im Anhang zu entnehmen.

4.5.3 Haltungs- und Stallunterschiede

Inwiefern sich die Haltungsformen bzw. Versuchsställe bezüglich der Biophotonenemission als auch der klassischen Ei-Qualität voneinander unterscheiden, wird über *einfaktorielle univariate Varianzanalysen* geklärt. Die jeweiligen Faktoren sind in den Abbildungs- bzw. Tabellenbeschriftungen vermerkt.

Anhand multipler Mittelwertsvergleiche werden dann die Unterschiede zwischen den Faktorstufen auf Signifikanz geprüft. Wegen seiner Eignung für variierende Stichprobenumfänge [SACHS 2002] wird hierfür der *Scheffé-Test* verwendet.

4.5.4 Prüfung potentieller Einflussfaktoren auf die Biophotonenemission von Eidottern

Welche Bedeutung die Faktoren:

- Dottergewicht, Dotterfarbe, Dotteranteil, Luftkammerhöhe, Eiklarhöhe, Haugh Unit, Fettsäuregehalte und TBARS,
- Alter der Hennen in Form des Legemonats,
- klimatische Bedingungen: Sonnenscheindauer, Niederschlag, Temperatur

hinsichtlich der Biophotonenemission haben, darüber geben *Korrelationsrechnungen* Aufschluss.

Wie sich die Jahreszeit (Sommer-, Winterhalbjahr) auf die Lichtspeicherfähigkeit auswirkt, wird per *t-Test* geprüft.

4.5.5 Differenzierung zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Eiern

Um zu testen, inwiefern sich die Biophotonenmessung zur Unterscheidung von Eiern bzw. deren Dottern aus unterschiedlichen Produktionssystemen eignet, wird eine *Diskriminanzanalyse* durchgeführt. Als multivariates Verfahren stellt sie eine Möglichkeit dar, untersuchte Objekte anhand bestimmter Merkmalsvariablen festgelegten Gruppen zuzuordnen. Hierfür wird der gesamte Messdatensatz zunächst in eine 'Lern-Stichprobe' und eine 'Test-Stichprobe' aufgeteilt.

Anhand der 'Lern-Stichprobe', für deren Elemente sowohl Merkmalsausprägungen als auch Gruppenzugehörigkeiten bekannt sind, wird zunächst für jede Gruppe eine Klassifizierungsfunktion bestimmt. In **Tabelle 13** sind beispielhaft entsprechende Funktionen für eine bivariate Diskriminanzanalyse zur Unterscheidung zweier Gruppen angegeben. Die Klassifizierungsfunktionen dienen der Vorhersage der Gruppenzugehörigkeiten. Zur Bestimmung der Effizienz des Klassifizierungsverfahrens werden nun die Elemente der 'Test-Stichprobe' klassifiziert, deren wahre Gruppenzugehörigkeiten ebenfalls bekannt sind. Durch Einsetzen der Merkmalsvariablen der zu klassifizierenden Probe erhält man aus jeder dieser Funktionen einen Klassifikationswert. Die Probe wird derjenigen Gruppe zugeordnet, für welche der Klassifikationswert größer ausfällt. Aus dem Vergleich der tatsächlichen und der prognostizierten Gruppenzugehörigkeit ergibt sich die Trefferquote des Klassifikationsmodells. [TRAMPISCH 1985; BACKHAUS et al. 2006]

Um eine zuverlässigere Aussage machen zu können, wird in dieser Arbeit der Vorgang an *zehn* verschiedenen 'Lern- und Test-Stichproben' wiederholt, und die Trefferquoten anschließend gemittelt. Außerdem werden unterschiedliche *Umfänge* der Dotterproben getestet sowie die Effizienz einer *univariaten* mit derjenigen einer *bivariaten* Diskriminanzanalyse verglichen.

Tabelle 13: Struktur der Klassifikationsfunktionen bei einer bivariaten Diskriminanzanalyse zur Unterscheidung zweier Gruppen (Merkmalsvariablen: x_1, x_2 ; Konstanten: $const.a$ und $const.b$; Koeffizienten: k_{a1}, k_{a2} bzw. k_{b1}, k_{b2}).

Gruppe	Klassifikationsfunktion
G_a	$G_a(x_1, x_2) = const.a + x_1 \cdot k_{a1} + x_2 \cdot k_{a2}$
G_b	$G_b(x_1, x_2) = const.b + x_1 \cdot k_{b1} + x_2 \cdot k_{b2}$

4.5.6 Software

Die Abklingkurve der Biophotonenmessung wird über *nicht-lineare Regression* mit Hilfe des Programms SAS® 8.2 ('PROC NLIN') angefitet und die Biophotonenparameter 'SW_{fit}' und 'AG_{fit}' bestimmt (**Abbildung 31**, Anhang).

Zur Berechnung der Nachleuchtintensität 'NL' sowie für alle weiteren Datenverarbeitungsschritte, die statistische Auswertung der gesamten Daten zur Eiqualität und die Erstellung von Schaubildern wird das Programm 'STATISTICA 6.0' von StatSoft® verwendet.

5 ERGEBNISSE

5.1 Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessergebnisse

Bei langfristigen Messreihen spielt die Stabilität des Testverfahrens eine besonders große Rolle. Gegebenenfalls auftretende Schwankungen der Messempfindlichkeit müssen durch ein geeignetes Korrekturverfahren ausgeglichen werden.

Den Ergebnissen der Eieruntersuchungen werden daher Messergebnisse zu Empfindlichkeitsschwankungen des Biophotonenmessgerätes sowie eine Möglichkeit zur Datenkorrektur vorangestellt.

5.1.1 Referenzmessungen

Während der mindestens einjährigen Versuchszeiträume (Datenbankprojekt und Langzeitbeobachtung) werden an jedem Untersuchungstag Referenzmessungen zur Überprüfung der Empfindlichkeit des Biophotonenmessgerätes durchgeführt. Als Kontrollproben dienen die 'leeren Küvetten' sowie die 'leeren Dunkelkammern' der Photomultipliersysteme (PMS-1 und PMS-3.1).

Anhand dieser Daten werden die – im Kapitel 'Material und Methoden' beschriebenen – Parameter (Startwert der Abklingkurve 'SW', Abklinggeschwindigkeit 'AG' und Nachleuchtintensität 'NL') hinsichtlich ihrer Stabilität über die Zeit untersucht.

Da sich die Messintervalle unterscheiden, sind die Parameter 'SW' und 'AG' im Datenbank-Projekt (DB, Messgerät PMS-1) und der Langzeitbeobachtung (LZ, Messgerät PMS-3.1) nicht vergleichbar. Zudem stehen im DB-Projekt von der zweiten Referenzprobe ('leere Dunkelkammer') nur Messdaten über 10 Sekunden zur Verfügung, weshalb für die 'leere Küvette' auch nur ein modifizierter Nachleuchtwert – basierend auf den Messsignalen von der 6. bis 10. Sekunde der Messung – berechnet wird. In **Tabelle 14** sind die Bezeichnungen der Biophotonenparameter und die jeweiligen Berechnungsgrundlagen für beide Projekte zusammengestellt.

Tabelle 14: Biophotonenparameter der *Referenzmessungen*.

	DB-Projekt	LZ-Projekt
Startwert: counts innerhalb der ersten ... der Messung	(SW_{fit-DB}) Sekunde	(SW_{fit-LZ}) 50 Millisekunden
Abklinggeschwindigkeit: berechnet aus den ersten ... der Nachleuchtkurve	(AG_{fit-DB}) 5 Messpunkten	(AG_{fit-LZ}) 50 Messpunkten
Nachleuchtintensität: Summe der Signale über die ... der Messung	(NL_{DB}) 6. bis 10. Sekunde (5 s)	(NL_{LZ}) 21. bis 60. Sekunde (40 s)

In **Abbildung 19** sind die monatlichen Mittel der Biophotonenwerte der 'leeren Küvetten' dargestellt. In beiden Projekten, d.h. an beiden Messgeräten, schwanken diese Kontrollwerte zum Teil erheblich.

Im DB-Projekt fällt besonders der AG_{fit-DB}-Wert auf, welcher ab Juni 2006 auf ein sehr viel niedrigeres Niveau absinkt.

Im LZ-Versuch ist einerseits der Peak des NL_{LZ}-Wertes im Juni 2006 beachtlich, andererseits zeigen die Parameter 'SW_{fit-LZ}' und 'AG_{fit-LZ}' jeweils im November der Jahre 2006 und 2007 einen stufenförmigen Anstieg.

Dass die Abklinggeschwindigkeit (AG) nicht unwesentlich von der Höhe des Startwertes (SW) mitbestimmt wird, zeigen die parallelen Abschnitte dieser beiden Verlaufskurven.

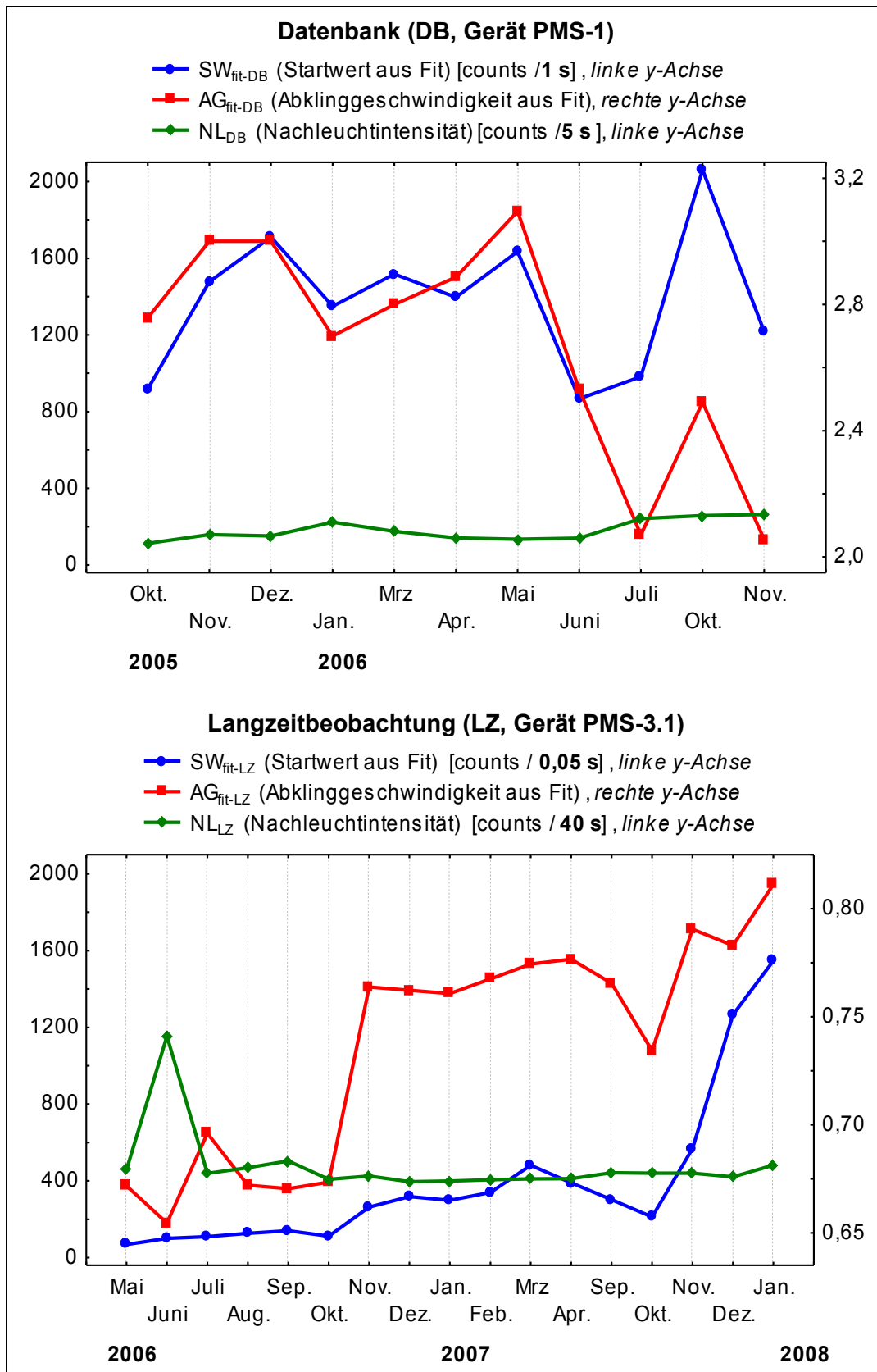


Abbildung 19: Monatsmittelwerte der Biophotonenparameter 'SW', 'AG' und 'NL' der leeren Küvette im DB- und LZ-Projekt. (Im DB-Projekt begannen die Referenzmessungen erst nach Projektbeginn im Oktober 2005. Im LZ-Projekt wurden sie noch einige Monate nach Beendigung der Dottermessungen im April 2007 fortgesetzt.)

5.1.2 Einflussfaktoren 'Raumtemperatur' und 'Luftfeuchtigkeit'

Als naheliegende Ursachen für die in 5.1.1 beobachteten Messwertschwankungen kommen die Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit in Frage. Beide variierten über die Untersuchungszeiträume und beeinflussten möglicherweise die Empfindlichkeit der Messgeräte. In **Tabelle 15** sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den Biophotonenwerten und den genannten Umgebungsbedingungen (jeweils Monatsmittelwerte, s. **Tabellen 33** und **34** im Anhang) für die 'leere Küvette' sowie die 'leere Dunkelkammer' aufgeführt.

Für beide Proben ('leere Küvette' und 'leere Dunkelkammer') ist im LZ-Versuch ein hochsignifikanter Einfluss der Temperatur auf die **Abklinggeschwindigkeit 'AG_{fit-LZ}'** nachweisbar. Wenn auch weniger deutlich, so nimmt doch auch im DB-Projekt mit ansteigender Temperatur die Abklinggeschwindigkeit **'AG_{fit-DB}'** ab.

Der **Startwert 'SW_{fit}'** ist nur im LZ-Projekt signifikant abhängig von der Raumtemperatur.

Zwischen Temperatur und **Nachleuchtintensität ('NL_{DB}' bzw. 'NL_{LZ}')** ist für die beiden 'leeren Dunkelkammern' ein Zusammenhang erkennbar.

Die relative Luftfeuchtigkeit korreliert nur mit dem AG_{fit-LZ}-Wert der 'leeren Küvette' und hat in den anderen Fällen offensichtlich keinen nennenswerten Einfluss.

5.1.3 Auswahl eines Biophotonenparameters

Wie die bisherigen Ausführungen zeigen, sind die verschiedenen Biophotonenparameter unterschiedlich störanfällig. Aus den zeitlichen Verläufen der Parameter 'SW_{fit}' und 'AG_{fit}' sind trendartige Entwicklungen zu erkennen. Insbesondere der AG-Wert korreliert stark mit der Temperatur.

Da die Nachleuchtintensität 'NL' am stabilsten ist, beschränken sich alle folgenden Auswertungen auf den NL-Wert.

Tabelle 15: Korrelation der Biophotonenwerte mit Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit (Daten der 'Küvette' und 'leeren Dunkelkammer' von 11 (DB) bzw. 14 (LZ) Monaten).

Probe	DB			LZ				
	Parameter	Temperatur		Parameter	Temperatur		relative Luftfeuchtigkeit	
		Korrelation	p		Korrelation	p	Korrelation	p
Küvette	SW _{fit-DB}	-0,430	0,187	SW _{fit-LZ}	-0,594 *	0,025	-0,520	0,057
leer	SW _{fit-DB}	-0,580	0,062	SW _{fit-LZ}	-0,563 *	0,036	-0,470	0,090
Küvette	AG _{fit-DB}	-0,640 *	0,035	AG _{fit-LZ}	-0,826 ***	0,000	-0,542 *	0,045
leer	AG _{fit-DB}	-0,710 *	0,015	AG _{fit-LZ}	-0,794 **	0,001	-0,358	0,209
Küvette	NL _{DB}	0,290	0,391	NL _{LZ}	0,311	0,280	0,282	0,329
leer	NL _{DB}	0,740 *	0,010	NL _{LZ}	0,646 *	0,013	0,216	0,459

5.1.4 Entwicklung eines Korrekturverfahrens

Ganz unempfindlich bezüglich Störeinflüssen ist auch die Nachleuchtintensität 'NL' nicht. Deswegen soll mithilfe der Kontrollproben 'leere Küvette' und 'leere Dunkelkammer' ein Verfahren zur Korrektur der Messwerte gefunden werden. Dabei wird angenommen, dass sich die Lichtspeichereigenschaften der Küvette mit der Zeit nicht wesentlich verändern. Die stabilsten Messwerte für die 'leere Küvette' ergeben sich über die Normierung mit dem 'Leerwert' :

(III)
$$qNL_{\text{Probe}} = \frac{NL_{\text{Probe}}}{NL_{\text{leer}}}$$
 mit qNL_{Probe} = normierte Nachleuchtintensität der Probe (q steht für Quotient)

NL_{Probe} = ursprünglicher NL-Wert der Probe

und NL_{leer} = 'Leerwert' (für die Küvetten: Werte der 'leeren Dunkelkammer')

Neben den originalen NL-Werten von 'leerer Küvette' und 'leerer Dunkelkammer' (gestrichelte Linien) zeigt **Abbildung 20** die zeitlichen Verläufe der normierten Referenzprobandaten ('leere Küvette': durchgezogene Linien).

Die Nachleuchtintensität der Küvetten liegt etwa beim 1,5-fachen (DB) bzw. 1,1-fachen (LZ) der leeren Dunkelkammer. Bemerkenswert ist, dass die Werte der 'leeren Küvette' in beiden Projekten größtenteils parallel zu denjenigen der 'leeren Messkammer' verlaufen.

Trotz abweichender Berechnung der Nachleuchtintensität (**Tabelle 14**) erweist sich die oben genannte Normierung sowohl an PMS-1 (DB) als auch an PMS-3.1 (LZ) als effizientes Korrekturverfahren. Für die 'leere Küvette' ('NL_K') verringert sich der Variationskoeffizient VK (= Standardabweichung/Mittelwert) durch die Normierung ('qNL_K') im LZ-Versuch um mehr als 80 %, im DB-Projekt nur um knapp 30 % (**Tabelle 16**).

Tabelle 16: Variationskoeffizienten der Nachleuchtintensität für 'leere Küvette', 'leere Dunkelkammer' und 'normierte Küvette'.

	Variationskoeffizienten VK	
	DB	LZ
NL _K	0,301	0,371
NL _{Leer}	0,304	0,359
qNL _K	0,214	0,053

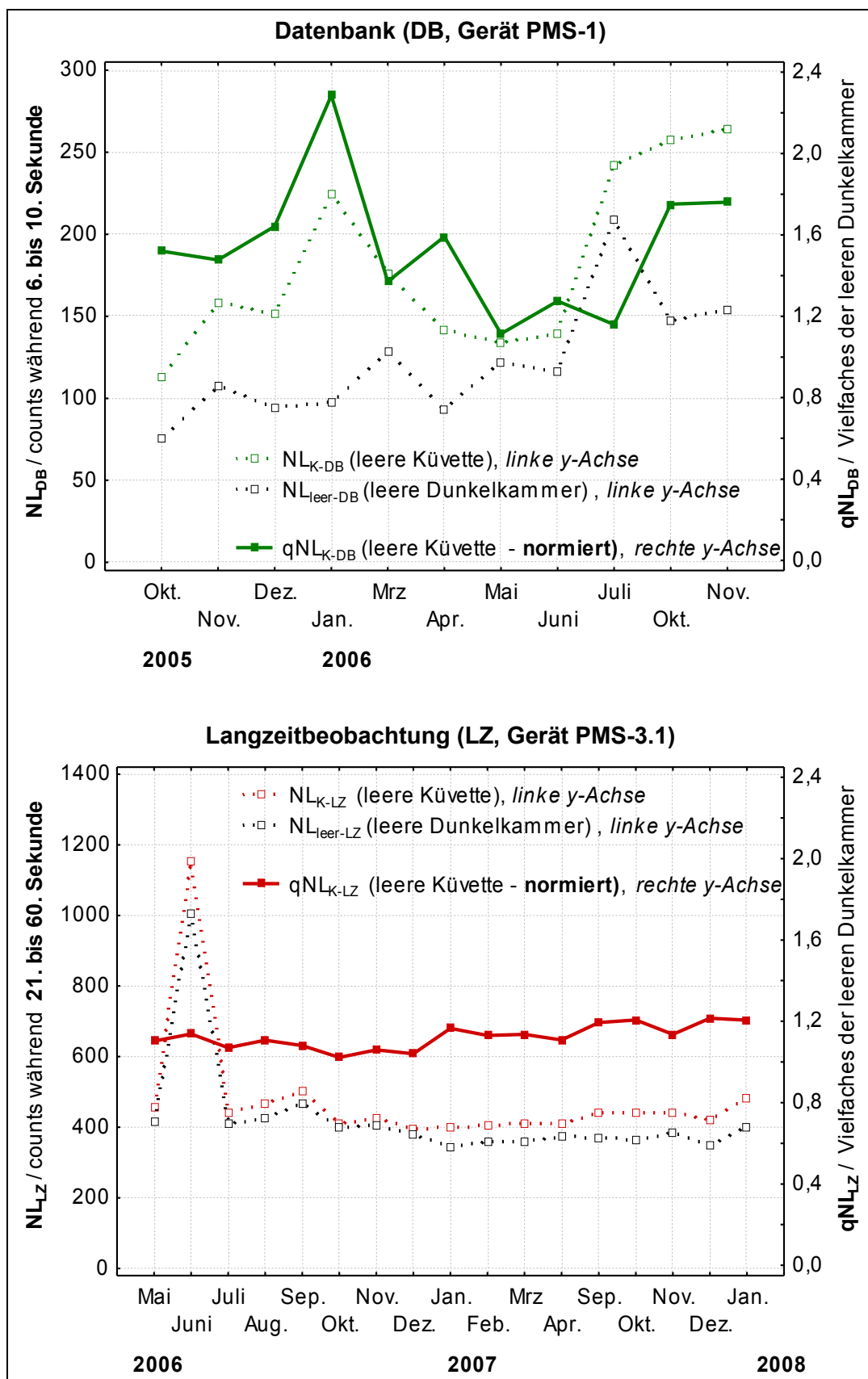


Abbildung 20: Originale und normierte Monatsmittelwerte der Nachleuchtintensität NL von 'leerer Dunkelkammer' bzw. 'leerer Küvette' im DB- und LZ-Projekt.

5.1.5 Korrektur der Dotter-Messdaten

Nach erfolgreicher Nivellierung der *Kontrollprobenwerte* ('leere Küvette') mittels des in 5.1.4 beschriebenen Verfahrens, werden auch die NL-Werte der *Dotter* nach Gleichung (III) normiert. In den folgenden Abschnitten sind die Biophotonenintensitäten stets ohne Einheit angegeben, denn in Form des qNL-Werts stellen sie dimensionslose Vielfache der Strahlung des entsprechenden 'Leerwerts' dar.

Da im DB-Versuch von der 'leeren *Dunkelkammer*' nicht über den gesamten Versuchszeitraum Daten vorliegen, dient in diesem Projekt die – an jedem Mess-tag erfasste – 'leere *Küvette*' als Leerwert für die Korrektur der Dotter-Messdaten. Im LZ-Projekt wird der Mittelwert von drei Messungen der leeren Position 6 des Probenkarussells ('leere *Dunkelkammer*') als Referenzwert herangezogen. Für jede Eierstichprobe werden dabei diejenigen 'Leerwerte' verwendet, welche bei der monatlichen Untersuchung dieser mitgemessen wurden. Auf diese Weise sollen auch Empfindlichkeitsschwankungen innerhalb eines Tages möglichst genau berücksichtigt werden. In **Tabelle 17** sind für beide Projekte die Leerwerte zur Korrektur der Küvetten- und Dotterdaten aufgeführt.

Tabelle 17: Übersicht der verwendeten Leerwerte zur Normierung der Messwerte.

	'Leerwert' zur Korrektur der ...	
	Küvetten-daten:	Dotter-daten:
DB-Projekt	leere Dunkelkammer	leere Küvette
LZ-Projekt	leere Dunkelkammer	leere Dunkelkammer

5.1.6 Zusammenfassung – Reproduzierbarkeit und Datenkorrektur

Referenzmessungen von leeren Messküvetten und leeren Dunkelkammern der Photomultiplier weisen auf Schwankungen der Geräteempfindlichkeiten hin. Wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß, so kommen laut Korrelationsrechnung für alle drei zunächst bestimmten Biophotonenparameter die Messbedingungen Temperatur und Luftfeuchtigkeit als Einflussfaktoren in Frage.

Weil sich insbesondere die Parameter 'Startwert SW' und 'Abklinggeschwindigkeit AG' im zeitlichen Verlauf trendartig verändern, konzentrieren sich alle weiteren Biophotonenergebnisse allein auf die stabilere Messgröße 'Nachleuchtintensität NL'. Ein effizienter Ausgleich dennoch bestehender Messwertschwankungen ist durch Normierung des 'Probenwerts' mit dem zugehörigen 'Leerwert' ('leere Dunkelkammer' bzw. 'leere Küvette') zu erzielen.

5.2 Biophotonenemission von Eidottern aus unterschiedlichen Haltungssystemen

Die Biophotonenmessungen des Datenbankprojektes (DB) und der Langzeitbeobachtung (LZ) fanden an unterschiedlichen Messgeräten (PMS-1 und PMS-3.1) in verschiedenen Räumen statt. Soweit sinnvoll, werden die Daten des DB- und des LZ-Projektes in den folgenden Abschnitten einander gegenübergestellt, um die Konsistenz der Aussagen bzw. die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse an verschiedenen Messanordnungen zu demonstrieren.

Mittelwert und Standardabweichung sind im Folgenden mit Mw und Sd abgekürzt, n steht für den Stichprobenumfang.

Da die normierten Biophotonenmessdaten (qNL-Werte) nicht normalverteilt sind, werden die Rohdaten zur statistischen Analyse transformiert (log-Transformation). Zur besseren Veranschaulichung sind aber in den folgenden Graphiken und Tabellen die nicht-transformierten Werte aufgeführt.

Es sei angemerkt, dass die Haltungssysteme in der Ergebnisdarstellung nach ethologischen Gesichtspunkten sortiert sind. Der Käfighaltung – als per definitionem unnatürlichster Form der Tierhaltung – folgen in der Reihenfolge zunehmender Artgerechtigkeit die Boden-, Freiland- und schließlich die Bio-Haltung, als extensivstes Produktionssystem.

5.2.1 Vergleich verschiedener Haltungssysteme

Zu Beginn der Datenanalyse wird untersucht, in welchem Intensitätsbereich ('qNL') die Biophotonenemission von Ei-Dottern liegt und wie groß das Spektrum der Messdaten von Dottern aus verschiedenen Haltungssystemen ist.

In **Abbildung 21** sind die Häufigkeiten dargestellt, mit welcher die verschiedenen hohen qNL-Werte je Haltungssystem im DB- und LZ-Projekt auftreten (relative Häufigkeiten in %).

Zunächst fallen die Lagen der Maxima der Verteilungsfunktionen auf, welche die – je Haltungssystem – am häufigsten auftretenden Intensitäten angeben. Während sich die Spitzen der Verteilungen der konventionellen Produktionsformen (Käfig, Boden, Freiland) sehr eng um den Wert 2,5 (DB) bzw. 2,0 (LZ) gruppieren, streuen die

Dotter aus privater kleinbäuerlicher Tierhaltung (DB) um einen höheren Biophotonenwert von 3,5. Die Verteilungen der Bio-Dotter sind flacher und erstrecken sich in beiden Projekten deutlich in höhere Intensitätsbereiche.

Unter den konventionellen Systemen weist die Freilandhaltung in der Tendenz die höchsten Werte auf. Allerdings übertreffen die relativen Häufigkeiten der Käfighaltung im DB-Projekt die Freilandhaltung bei höheren Intensitäten (3,5 bis 6). Die Bodenhaltung zeigt in beiden Versuchen die niedrigsten Werte.

Insgesamt liegen die qNL-Werte im DB-Versuch ('qNL_{DB}') höher als im LZ-Projekt ('qNL_{LZ}').

Des Weiteren ist bemerkenswert, dass sich die Verteilungen in ihrer Streubreite unterscheiden. Im Gegensatz zu den konventionellen Haltungen, die inklusive der kleinbäuerlichen Hennenhaltung weitgehend einheitliche und geringe Streuungen aufweisen, decken die Bio-Dotter sowohl im DB- als auch LZ-Projekt relativ gleichmäßig ein sehr breites Intensitätsspektrum ab. Im DB-Projekt streuen die Dotter aus Biohaltung bis zum Dreifachen der Werte der konventionellen Haltungen.

Die Verteilungskurven des DB-Projektes weisen grundsätzlich größere Streuungen auf, als diejenigen des LZ-Versuchs.

Mittels univariater Varianzanalyse und multiplem Mittelwertsvergleich nach Scheffé lässt sich der optische Eindruck aus **Abbildung 21 (Tabelle 35, Anhang)** überprüfen. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Haltungsformen sind in den Legenden durch verschiedene Buchstaben kenntlich gemacht.

In beiden Versuchen unterscheiden sich die ökologischen und die konventionellen Proben signifikant. Im DB-Projekt liegen die Dotter aus kleinbäuerlicher Hühnerhaltung auf dem Niveau der biologisch erzeugten Dotter. Der LZ-Versuch lässt insofern noch eine weitere Differenzierung zu, als dass sich die Freilandhaltung von der Käfig- und Bodenhaltung signifikant abhebt.

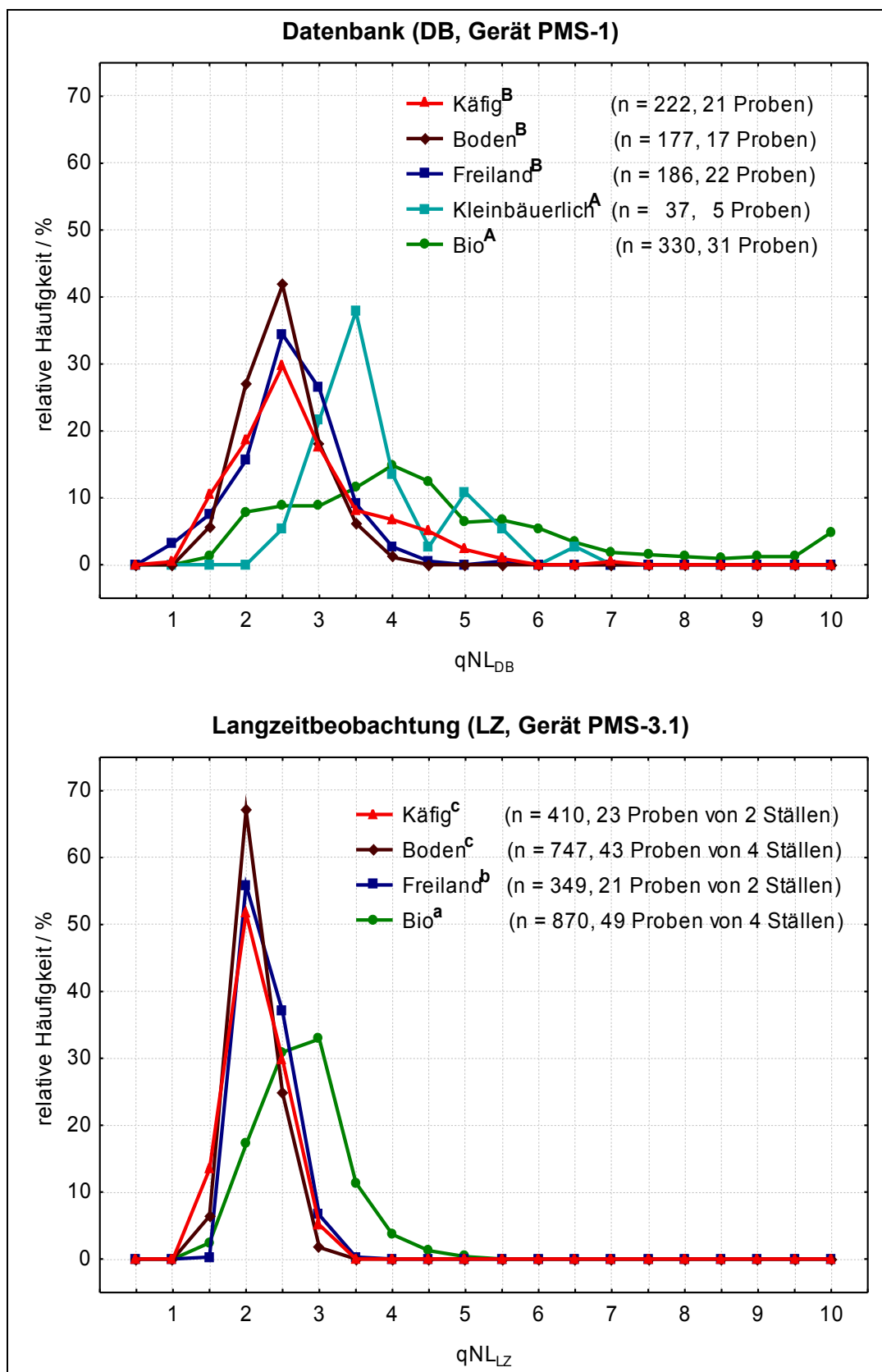


Abbildung 21: Relative Häufigkeiten des korrigierten Nachleuchtparameters 'qNL' für jede Haltungssystem im DB- und LZ-Projekt (unterschiedliche Buchstaben in der Legende bedeuten signifikante Haltungssystemunterschiede mit $p < 0,05$; n: untersuchte Dotteranzahl, Proben: Anzahl unterschiedlicher Probenherkünfte).

5.2.2 Jahresverlauf der Biophotonenwerte von Dottern aus 12 Praxisställen

Die Betrachtung der qNL_{LZ} -Monatsmittel je untersuchter Herde soll Aufschluss über die Stabilität der Biophotonenmesswerte von Dottern über die Zeit geben. **Abbildung 22** zeigt die Werte der einzelnen Ställe im LZ-Projekt. Die Daten der beiden 'Standorte A und B', welche jeweils über die drei Haltungsformen 'konventionelles Freiland', 'Boden' und 'Käfig' verfügen, sind in je einem Diagramm zusammengefasst und werden den Bio-Haltungen als auch den beiden ausschließlichen Bodenhaltungsbetrieben gegenübergestellt. Für den direkten Vergleich mit letzteren sind die Bodenhaltungen der 'Standorte A und B' nochmals in der entsprechenden Teilabbildung mitaufgenommen.

Die Proben der Betriebe mit je drei Haltungsformen ('Standort A und B') zeigen standortintern im zeitlichen Verlauf Parallelitäten oder liegen sogar auf sehr ähnlichem Niveau. Bei ('Standort A') ist zudem zwischen Juli 2006 und Februar 2007 ein annähernd linearer Anstieg der Biophotonenintensität zu beobachten. Insgesamt ist das qNL_{LZ} -Niveau der Dotter vom 'Standort A' deutlich höher als derjenigen vom 'Standort B'.

Stellt man alle Bodenhaltungen einander gegenüber, so hebt sich – mit Ausnahme der Monate Mai und Juni 2006 – ebenfalls Stall 'B1' (von 'Standort A') mit höheren qNL_{LZ} -Werten charakteristisch von den weitgehend einheitlichen Werten der übrigen drei Bodenhaltungsställe ab.

Generell fällt auf, dass im Juni und November 2006 der ' qNL_{LZ} ' gegenüber den anderen Monaten bei den meisten Proben niedriger ist.

Die größte Variationsbreite im Jahresverlauf zeigen die Bio-Haltungen. Insbesondere zwischen Mai und September 2006 schwanken deren qNL_{LZ} -Werte beträchtlich. Abgesehen von den tendenziell niedrigeren Intensitäten von September bis Dezember 2006 und den Proben der gemischten Herde des Stalls 'öF1' ab Oktober 2006 (öF1-B: Tierherkunft 'Tetra brown', öF1-S: Tierherkunft 'Tetra silver') sind keine Parallelitäten in den monatlichen Messwertschwankungen der Bio-Dotter zu erkennen.

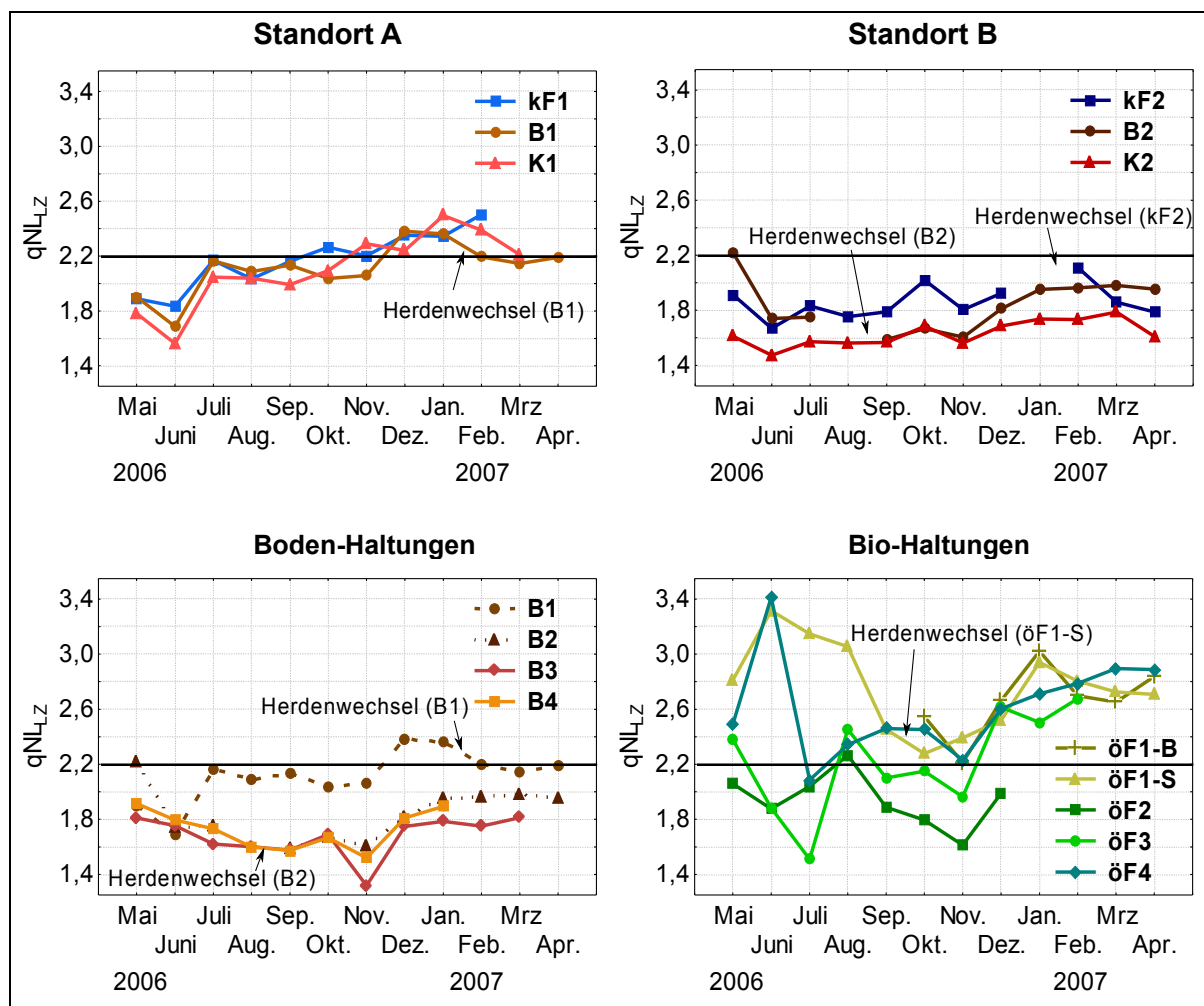


Abbildung 22: Mittelwerte von 'qNL_{LZ}' je Versuchsstall und Monat (mittlerer monatlicher Stichprobenumfang n = 17 Dotter je Stall; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

5.2.3 Betriebseffekt

Da zwei der Projektbetriebe über drei Haltungsformen verfügen, kann anhand dieser Proben geprüft werden, inwieweit sich neben Haltungsbedingungen auch Betriebseffekte auf die Biophotonenemission der Dotter auswirken.

Wie **Abbildung 23** zeigt, lässt sich der oben (5.2.2) bereits vermutete Niveauunterschied der 'Standorte A und B' statistisch absichern. Alle Proben des 'Standortes A' liegen signifikant über denjenigen des 'Standortes B'.

Während Käfig-, Boden- und Freilandhaltung auf ersterem Betrieb nur geringfügig differieren, unterscheidet sich am 'Standort B' die Käfighaltung mit einem deutlich niedrigeren Wert signifikant von den beiden alternativen Haltungsformen.

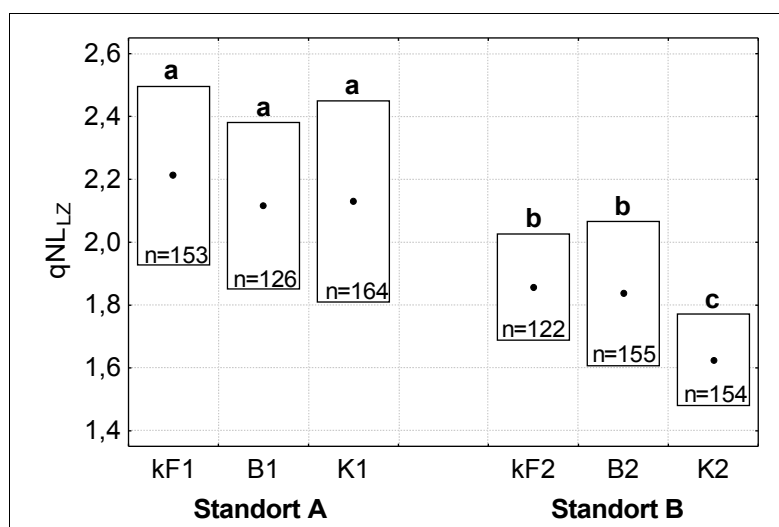


Abbildung 23: Effekte von Betriebsstandort- und Haltungsform (Mw und Sd, zweifaktorielle Varianzanalyse; verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$; Daten der Monate Mai - Juli '06 und September '06 - Februar '07; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig).

5.2.4 Zusammenfassung – Vergleich von Dottern aus unterschiedlichen Haltungsformen

Die Bio-Dotter heben sich in beiden Projekten durch signifikant höhere Nachleuchtintensitäten von den konventionellen Dottern ab. Letztere unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Bemerkenswert ist, dass die Käfigproben im DB-Versuch zum Teil höhere Werte aufweisen als die Proben aus Freilandhaltung.

Nicht nur hinsichtlich des *Intensitätsniveaus*, auch in der *Streubreite* unterscheiden sich die Produktionssysteme. Die Dotter aus kleinbäuerlicher und ökologischer Erzeugung decken einen weit größeren Intensitätsbereich ab als diejenigen aus konventioneller Haltung. Insgesamt treten im Datenbankprojekt größere Streuungen auf als in der Langzeitbeobachtung.

Die wiederholte Beprobung von 12 Ställen zeigt, dass die Nachleuchtintensität von Eidottern keine starre Größe ist. Auffallend ist, dass im Juni bzw. Juli und November 2006 beinahe einheitlich sehr niedrige Werte auftreten. Tendenziell steigen die Werte im Jahresverlauf an.

Aus dem Vergleich der Betriebe mit mehreren Haltungsformen ergibt sich, dass Standortfaktoren – zumindest im konventionellen Bereich – stärker zum Tragen kommen als die Unterschiede in den Haltungssystemen.

Die Proben aus kleinbäuerlichen Hühnerhaltungen kommen den Bio-Proben bezüglich Intensität und Streubreite sehr nahe.

5.3 Vergleich der LZ-Versuchsställe hinsichtlich Produktionsbedingungen und Eiquantitätsparametern

Dieses Kapitel widmet sich der Untersuchung möglicher Ursachen der unterschiedlichen Biophotonenemission bei Eidottern – anhand der Daten der Langzeitbeobachtung (LZ). So werden einerseits die in den Versuchsställen dokumentierten Einflussfaktoren betrachtet, andererseits die zur Lichtspeicherfähigkeit der Dotter parallel untersuchten klassischen Eiquantitätsmerkmale ausgewertet.

- Zunächst sollen Unterschiede zwischen den beteiligten Legehennenställen hinsichtlich klimatischer, tier- und haltungsspezifischer Parameter herausgestellt werden. **(5.3.1)**
- Es folgt ein Vergleich innerer und äußerer Eiquantitätsmerkmale der vier Haltungssysteme Bio, Freiland, Boden und Käfig. **(5.3.2)**
- Merkmale, die innerhalb einer Produktionsform stark variieren oder auffallende Unterschiede zwischen den Haltungssystemen erkennen lassen, werden anschließend auf ihren Einfluss bezüglich der Biophotonenmesswerte geprüft. **(5.4)**

5.3.1 Haltungsbedingungen und tierspezifische Faktoren

Das Langzeitbeobachtungsprojekt stellt eine Untersuchung auf Produktionsebene dar. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Versuchsställe standortbedingt nicht nur in klimatischer Hinsicht, sondern auch bezüglich Herkunft und Alter der Tiere sowie einigen Haltungsbedingungen.

5.3.1.1 Klimafaktoren

In **Abbildung 24** sind die Monatsmittelwerte der Klimafaktoren Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum des LZ-Projektes dargestellt. Sie stellen Durchschnittswerte der Wetterangaben aller beteiligten Regionen Deutschlands dar [GdHM, 2008].

Während Sonnenscheindauer und Lufttemperatur in den Wintermonaten jahreszeitlich deutlich abnehmen, ist der Niederschlag eher gleichmäßig über das Jahr verteilt. Bemerkenswert sind jedoch die Monate Mai 2006 und Januar 2007 mit hohen, der August 2006 sogar mit auffällig hohen Niederschlagsmengen. Im Gegensatz dazu ist es im April 2007 extrem trocken.

Was den Verlauf von Sonnenscheindauer und damit verbundener Lufttemperatur angeht, fallen der Juli 2006 äußerst sonnig, der August 2006 aufgrund der hohen Niederschläge ausgesprochen sonnenarm und kühl aus. Nach vergleichsweise mildem Herbst und Winter folgt der trockenste, sonnigste und wärmste April seit dem Jahr 1901. [Wetter 2008]

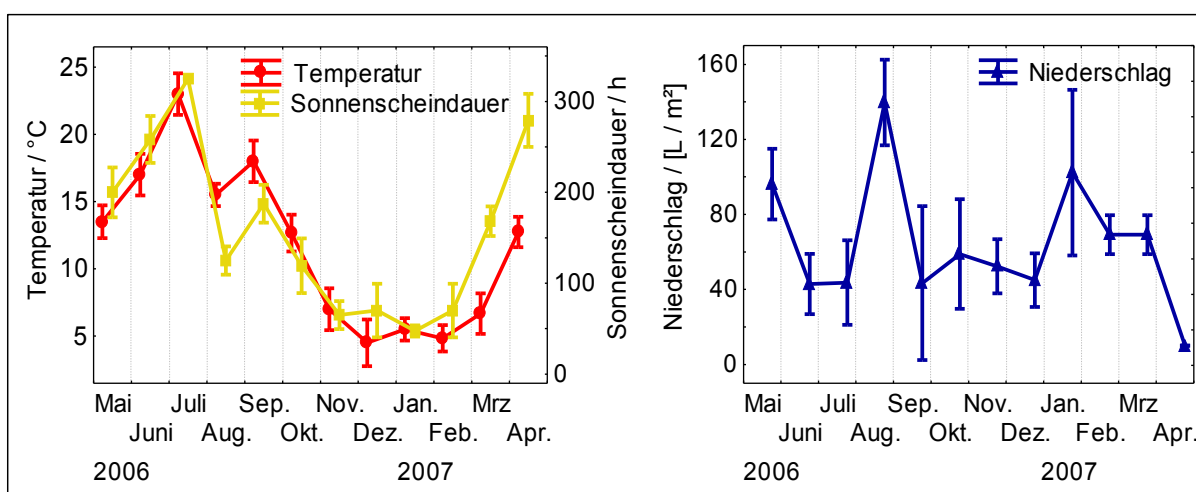


Abbildung 24: Klima im Versuchszeitraum des LZ-Projekts (Monatsmittel der sechs beteiligten Regionen [GdHM, 2008]).

5.3.1.2 Stallbeleuchtung und Auslaufverfügbarkeit

Da nach B. KÖHLER [2001] die Dauer der Lichtexposition der Legehennen und die Art der Lichtquelle entscheidenden Einfluss auf die Biophotonenemission der Eier haben, werden Informationen zu Leuchtmitteln, Dauer der Stallbeleuchtung und Auslaufnutzung eingeholt. **Tabelle 18** fasst die entsprechenden Angaben der Betriebsleiter zusammen.

Neben dem verbreiteten Einsatz von Glühlampen ist die Verwendung von Vollspektrumlampen in drei Bio-Ställen bemerkenswert. In der Käfighaltung 'K1' des 'Standorts A' und allen drei Ställen am 'Standort B' kommen dagegen gewöhnliche weiße und grüne Leuchtstoffröhren als alleinige oder zusätzliche Lichtquellen zum Einsatz.

In den Ställen am 'Standort A' sowie im Stall 'öF2' werden vergleichsweise kurze Beleuchtungsprogramme gefahren. Auch die durchschnittliche Dauer der Auslauföffnung ist am 'Standort A' von allen Freiland-Betrieben am kürzesten.

Auf drei Bio-Betrieben ist das Auslaufgelände mit Büschen, Bäumen oder Mais bepflanzt. Von allen Bioherden wird der Auslauf intensiv genutzt, während sich in den konventionellen Haltungen nur ein kleiner Anteil der Tiere im Freien aufhält.

Tabelle 18: Stallbeleuchtung, Wintergarten und Auslauf der LZ-Versuchsställe nach Angaben der Betriebsleiter (Zutreffendes ist mit **x** gekennzeichnet, die Angaben der Auslaufnutzung bedeuten: +++ → mehr als 60%, ++ → 20 bis 60 %, + → bis 20 % der Herde nutzen den Auslauf; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

Stall	Standort A			Standort B			Boden		Bio			
	kF1	B1	K1	kF2	B2	K2	B3	B4	öF1	öF2	öF3	öF4
Glühlampen	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x
konv. Leuchtstoffröhren			x	x	x	x						
Vollspektrumleuchten									x	x	x	
durchschnittliche Beleuchtungsdauer / h	13	13	13	16	16	16	15	16	16	10	16	16
Tageslichteinfall	x	x	x				x		x	x	x	x
Wintergarten	x	x		x	x		x		x	x	x	x
Auslaufbepflanzung										x	x	x
durchschnittliche Dauer der Auslauföffnung / h	6			8					10	9	9	9
Auslaufnutzung	++			(+) [#]					+++	+++	+++	+++

[#] Nur weiße Hennen dieser Herde werden beprobt; diese nutzen Auslauf und Wintergarten aber kaum.

5.3.1.3 Tierherden

In **Tabelle 19** sind Informationen zu den beprobten Tierherden sowie die Zeiträume der Probenahme zusammengefasst. Erwartungsgemäß unterscheiden sich die Herden in ihrer Größe, ihrer genetischen Herkunft als auch in ihrem Alter.

Die Hälfte der Tierbestände befindet sich bei der ersten Probennahme im ersten oder zweiten Legemonat. Die ältesten Gruppen stellen Stall 'B2^I' und Stall 'öF2' mit Tieren im 8. bzw. 9. Legemonat.

Von zwei Herden ('öF4' und 'K2') sind durchgängig über 12 Monate Eier verfügbar. Von allen anderen Ställen gehen aufgrund von Ausstellungen bzw. Neueinstellungen nur über einen Zeitraum von 3 bis 11 Monaten kontinuierlich Proben in die Studie ein. Ab Oktober 2006 wird von Stall 'öF1' eine gemischte Herde beprobt. Aus derselben Herde können Eier von 'Tetra silver'- und 'Tetra brown'-Tieren getestet, und so zwei genetische Herkünfte unter denselben Haltungsbedingungen verglichen werden. Die Herdenwechsel sind an der Mehrfachnennung eines Stalls und den Indizes am Probencode ablesbar.

Im Bio-Bereich werden ausschließlich Braunleger eingesetzt, wobei die Tierherkunft 'Tetra Brown' am häufigsten ist. In den konventionellen Haltungen dominiert die Herkunft 'LSL', welche weißschalige Eier legt. Die ökologischen Betriebe dieser Untersuchung halten grundsätzlich Tiere anderer Zuchtfirmen als die konventionellen Eierproduzenten.

Die Gruppengröße der Herden variiert stark. Die Tierzahlen in den Boden- bzw. Freilandhaltungen liegen zwischen 140 Hennen im Stall 'öF4' und knapp 12 000 im Stall 'B2'. In der Käfighaltung umfassen die Herden bis zu 17280 Tiere.

Zu Tabelle 19:

- ^I Herde mit insgesamt 10650 weißen und braunen Tieren, gemischt im Verhältnis 1 zu 2.
- ^{II} Herde mit insgesamt 10440 weißen und braunen Tieren, gemischt im Verhältnis 1 zu 2.
- ^{III} Herde mit insgesamt 11500 Tieren, weiße Hennen separat gehalten.
- ^{IV} Im Stall insgesamt 2880 Käfige à 4 Tieren, beprobt wurde die oberste Käfigetage: 480 Käfige mit weißen Hennen.
- ^V Herde mit insgesamt 1000 Tieren 'Tetra Silver' und 'Tetra Brown', gemischt im Verhältnis 1 zu 1.
- ^{VI} Tierherkünfte in einer Herde, Eierproben gemischt.
- ^{VII} Tierherkünfte getrennt gehalten (2 Abteile), aber Eierproben gemischt.

ERGEBNISSE

Tabelle 19: Tierherkunft, Größe und Legemonat der beprobten Herden jeweils zu Beginn der angegebenen Beprobungsphasen (Herdenwechsel: s. Indizes in der Spalte 'Stall'; 'KF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

Stall	Genetische Herkunft	Tieranzahl	Legemonat	2006												2007			
				Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.				
Standort A	KF1	7000	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	B1 ₁	12000	5	x	x														
	B1 ₂	11700	1													x			
	K1	17280	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Standort B	KF2 ₁	3550 ^I	4	x	x	x	x	x	x	x									
	KF2 ₂	3480 ^{II}	1													x		x	
	B2 ₁	5750	9	x		x													
	B2 ₂	5700 ^{III}	1							x								x	
	K2	1920 ^{IV}	1	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	B3	400	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	B4	400	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	öF1-S ₁	900	6	x	x	x	x	x	x										
Boden	öF1-S ₂	500 ^V	2															x	
	öF1-B	500	2															x	
	öF2	3000 ^{VI}	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	öF3	4710 ^{VII}	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
öF4	130	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Bio																			

5.3.1.4 Futter

Die Zusammensetzung des Futters der beprobten Legehennenställe ist in **Tabelle 20** aufgeführt. Die Futtermischungen werden ad libitum gefüttert.

Bezüglich der Getreidekomponenten unterscheiden sich die Bio-Futtermischungen von den konventionellen durch den Einsatz von Triticale. Zudem erhalten die Tiere in den Bio-Ställen eingestreute Weizenkörner oder Getreidepicksteine im Wintergarten. Während die meisten konventionellen Futtermischungen Soja-Extraktionsschrot und Sojaöl beinhalten, sind die Bio-Futtermischungen mit diversen Ölkuchen und Sonnenblumenöl angereichert.

Im Gegensatz zu allen anderen konventionellen Betrieben wird am 'Betriebsstandort A' (Ställe 'kF1', 'B1' und 'K1') naturbelassenes Soja verwendet (anstelle des Extraktionsschrots), sowie Ackerbohnen und Grünmehl in Pelletform verfüttert. Grünmehl, ein aus getrocknetem Gras, Klee oder Luzerne bestehendes Futter, ist ansonsten nur noch in drei Bio-Betrieben Bestandteil der Rationen.

Erwähnenswert ist des Weiteren der Einsatz von Frischfutter (Salat, Möhren, Rote Bete) aus eigener Erzeugung oder Vermarktung auf den Bio-Betrieben 'öF1' und 'öF4', welches insbesondere in den Wintermonaten bei mangelnder Grasverfügbarkeit angeboten wird.

Nach den gesetzlichen Vorschriften für die ökologische Legehennenhaltung [VO(EG) Nr.834/2007] dürfen im Bio-Bereich keine Dotterfarbstoffe und Extraktionsschrote verwendet werden. Dementsprechend werden diese nur in den konventionellen Versuchsbetrieben eingesetzt. Am 'Standort B' handelte es sich um einen natürlichen Dotterfarbstoff mit Extrakten aus Tagetesblüten und Paprika.

Zur Unterstützung der Darmflora erhalten die Hennen der Biobetriebe 'öF1' und 'öF4' in regelmäßigen Abständen Essigwasser, am 'Betriebsstandort B' wird zu diesem Zweck Propionsäure eingesetzt.

5.3.1.5 Impfprogramm, Tiergesundheit, Tierverluste

Die Tiere aller Versuchsställe erhalten in der Aufzucht ein Standardimpfprogramm und in der Legephase größtenteils eine Nachimpfung gegen Infektiöse Bronchitis und die Newcastle-Krankheit. Wiederholungsimpfungen werden in den Betrieben unterschiedlich gehandhabt. Von einigen Betriebsleitern werden genaue Impftermine mitgeteilt, welche beim Vergleich mit den Jahresverläufen jedoch keinerlei Hinweis auf einen Zusammenhang ergeben, sodass sie hier nicht weiter betrachtet werden. Im Hinblick auf die Tiergesundheit ist ansonsten bemerkenswert, dass in

den Monaten Juni bis August 2006 temperaturbedingt – insbesondere in den Auslaufhaltungen – die Legeleistung deutlich absinkt und Tierverluste durch Hitzschlag ansteigen. In Stall 'B4' setzt im Oktober 2006 ein auffälliges Federpick- und Federfressverhalten ein, welches in den Folgemonaten zu einem raschen Anstieg der Tierverluste und schließlich, Ende Januar 2007, zur Notschlachtung führt.

Tabelle 20: Komponenten der Futtermischungen in den LZ-Versuchsställen (weitere Futterzusätze wie Mineralstoffe, Vitamine und - in konventionellen Futtermischungen - synthetische Aminosäuren sind des einheitlichen Einsatzes wegen nicht gelistet; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

Stall	Standort A			Standort B			Boden		Bio			
	kF1	B1	K1	kF2	B2	K2	B3	B4	öF1	öF2	öF3	öF4
Weizen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Triticale									x	x	x	x
Mais	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Picksteine oder Weizen in Einstreu									x	x	x	x
Soja-Extraktionsschrot				x	x	x	x	x				
Soja	x	x	x					x			x	x
Ackerbohnen	x	x	x									
Erbsen									x		x	
Grünmehl	x	x	x						x	x		x
Salat, Gemüse									x			x
Ölkuchen	Soja								x	x	x	x
	Sonnenblumen								x	x	x	x
	Sesam								x			x
OI	Soja	x	x	x	x	x	x	x				
	Sonnenblumen							x	x	x	x	x
Dotterfarbstoff #	x	x	x	x	x	x	x	x				
Essigwasser									x			x
Propionsäure				x	x	x						

Ställe kF2, B2 und K2: Paprika- und Tagetesblütenextrakte anstelle von Canthaxanthin.

5.3.1.6 Zusammenfassung – Produktionsbedingungen im LZ-Versuch

Die klimatischen Bedingungen sind an allen Betriebsstandorten weitgehend einheitlich: Juni, Juli 2006 und April 2007 fallen mit außergewöhnlich viel Sonnenschein und hohen Temperaturen auf. Im August 2006 ist es dagegen extrem feucht. Auf die hohen Temperaturen im Juni/Juli 2006 reagieren die Tiere mit einer niedrigeren Legeleistung, insbesondere an dem konventionellen 'Standort A' sind Tierverluste durch Hitzschlag zu verzeichnen.

Bezüglich der Stallbeleuchtung fallen drei Bio-Ställe ('öF1', 'öF2', 'öF3') durch den Einsatz von Vollspektrumlampen auf. In allen übrigen Ställen (außer 'K2') werden Glühbirnen eingesetzt, in Stall 'K1' sowie den Ställen an 'Standort B' kommen auch Leuchtstoffröhren zum Einsatz.

Den Auslauf betreffend unterscheiden sich die Bio-Ställe von den konventionellen Haltungen in dreierlei Hinsicht:

- der Auslauf ist etwa 2 Stunden länger geöffnet,
- die Auslauflächen sind (mit Ausnahme von Stall öF1) mit Bäumen, Büschen oder Mais bepflanzt,
- die Ausläufe werden von den Tieren sehr viel stärker genutzt als auf den konventionellen Betrieben.

Auch die Herdengrößen unterscheiden sich deutlich: im Bio-Bereich stammen die Eier von 130 bis maximal 4710 Tieren, die Bodenhaltungsgruppen 'B3' und 'B4' sind mit je 400 Tieren recht klein. Am 'Standort B' liegt die Herdengröße von Boden- und Freilandhaltung zwischen 3500 und 5700 Hennen, an 'Standort A' sind es 7000 bis 12000 Tiere.

Die Zusammensetzung von konventionellem und ökologischen Futter unterscheidet sich entsprechend der Vorschriften bezüglich Dotterfarbstoff, Futterfett, Eiweißlieferanten und dem Angebot von Körnern in der Einstreu bzw. in Form von Picksteinen. Der konventionelle 'Standort A' fällt durch den Einsatz von Ackerbohnen und Grünmehl auf. Zwei der Bio-Betriebe verfüttern Frischfutter in Form von Salat und Gemüse.

Im Bodenhaltungsstall 'B4' verschlechtert sich der Allgemeinzustand der Tiere durch Federpicken und Federfressen zunehmend, sodass im Januar 2007 die Notschlachtung erfolgt.

5.3.2 Eiqualität

Parallel zu den Biophotonenmessungen am IIB/Neuss werden an der Universität Hohenheim monatlich Eierproben der am LZ-Projekt beteiligten Versuchsställe auf äußere und innere Qualitätsmerkmale untersucht. Zum Vergleich der Probenherkünfte werden die Eiqualitätsdaten über den Zeitraum Mai bis Dezember 2006 stallweise gemittelt, da in diesem Zeitraum von jedem Stall mindestens sieben Monatsanalysen vorliegen.

5.3.2.1 Merkmale der äußeren Eiqualität und Dotteranteil

In **Tabelle 21** sind die Mittelwerte der Merkmale 'Ei-Gewicht', 'Schalenanteil' und 'Dotteranteil' – sowie zur Erinnerung nochmals die 'Schalenfarbe' aufgeführt.

Da bezüglich Verformbarkeit ('Elastische Verformung') und Stabilität ('Max.Kraft') der Eischale keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsställen bestehen, wird hier auf eine Darstellung verzichtet und auf den Anhang verwiesen (**Tabelle 36**).

Das durchschnittliche Ei-Gewicht ist mit Ausnahme zweier Probenherkünfte weitgehend einheitlich. Am größten sind die Eier der konventionellen Freilandhaltung 'kF1', am kleinsten diejenigen der Bodenhaltung 'B4'. Letztere fallen auch mit dem geringsten Schalenanteil sowie dem höchsten Dotteranteil auf. Tendenziell ist der Dotteranteil bei größeren Eiern geringer.

Tabelle 21: Schalenfarbe sowie Anteile der Eikomponenten Schale und Dotter am Ei-Gewicht (Untersuchungszeitraum, Statistik sowie Abkürzungen: s. **Tabelle 22**)

Stall	n	Schalen- farbe	Ei-Gewicht / g		Schalenanteil / %		Dotteranteil / %		
			Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	
Standort A	kF1	70	braun	64,6 ^c	4,7	10,01 ^b	0,74	24,2 ^a	1,6
	B1	69	braun	61,1 ^{ab}	5,1	9,96 ^b	0,64	24,5 ^{ab}	2,2
	K1	70	braun	62,4 ^{bc}	4,8	9,94 ^b	0,66	24,9 ^{abc}	1,8
Standort B	kF2	60	weiß	60,4 ^{ab}	4,0	9,63 ^{ab}	0,59	27,6 ^{ef}	2,2
	B2	50	weiß	60,2 ^{ab}	5,1	9,89 ^{ab}	0,70	25,8 ^{abcd}	2,9
	K2	60	weiß	59,6 ^{ab}	5,0	9,91 ^{ab}	0,60	26,8 ^{def}	2,2
Boden	B3	65	weiß	61,4 ^{abc}	3,7	9,82 ^{ab}	0,49	26,8 ^{def}	2,5
	B4	70	weiß	58,8 ^a	4,2	9,40 ^a	0,79	27,8 ^f	1,8
Bio	öF1	68	braun	59,8 ^{ab}	3,2	9,86 ^{ab}	0,54	25,6 ^{abcd}	2,3
	öF2	69	braun	62,7 ^{bc}	4,4	10,01 ^b	0,74	26,0 ^{bcde}	2,4
	öF3	62	braun	62,3 ^{bc}	5,4	10,02 ^b	0,74	26,2 ^{cdef}	1,9
	öF4	70	braun	62,0 ^{abc}	4,4	9,89 ^{ab}	0,64	24,4 ^{ab}	1,9

5.3.2.2 Merkmale der inneren Eiqualität

5.3.2.2.1 Frischeparameter

Luftkammerhöhe, Eiklarhöhe und Haugh Unit sind Eiquälitätsparameter zur Beschreibung des Frischegrads und in **Tabelle 22** aufgeführt.

Sowohl hinsichtlich Luftkammerhöhe als auch Eiklarkonsistenz treten signifikante Unterschiede zwischen den Probenherkünften auf. Die Eier mit den günstigsten Werten (kleine Luftkammer, große Eiklarhöhe bzw. Haugh Unit) stammen vom 'Betriebsstandort B'. Den zweithöchsten Frischegrad – bezogen auf die Luftkammerhöhe – weisen die Proben des 'Standorts A' auf. In puncto Eiklarkonsistenz fallen zudem die Proben aus den Bodenhaltungen 'B3' und 'B4' positiv auf, wobei diese gleichzeitig eine große Luftkammer besitzen. Hinsichtlich dieser Frischeparameter schneiden die Bio-Betriebe – mit Ausnahme von Stall 'öF4' – am schlechtesten ab.

Tabelle 22: Größe der Luftkammer und Parameter des Eiklars (Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd beim Probenumfang n je Stall des LZ-Projektes über die Monate Mai bis Dezember 2006; Extremwerte sind fettgedruckt, einfaktorielle Varianzanalyse mit Faktor 'Stall', unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

Stall	n	Luftkammer / mm		Eiklarhöhe / mm		Haugh Unit		
		Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	
Standort A	kF1	70	2,67 ^{abc}	0,58	5,10 ^{bcd}	1,42	65,5 ^{bc}	14,7
	B1	69	2,59 ^{ab}	0,60	4,63 ^{ab}	1,40	62,3 ^{ab}	15,7
	K1	70	2,47^a	0,57	4,84 ^{abc}	1,15	64,8 ^{bc}	12,1
Standort B	kF2	60	2,82 ^{abcd}	0,54	5,55 ^{bcd}	1,20	72,2 ^{bc}	9,7
	B2	50	2,71 ^{abcd}	0,50	5,91^d	1,29	75,1^c	9,8
	K2	60	2,72 ^{abcd}	0,45	5,25 ^{bcd}	1,18	70,0 ^{bc}	10,2
Boden	B3	65	3,02 ^{bcd}	0,66	5,84 ^d	1,12	74,3 ^c	8,9
	B4	70	3,08 ^{cd}	0,60	5,45 ^{bcd}	1,14	72,1 ^{bc}	9,4
Bio	öF1	68	2,77 ^{abcd}	0,57	4,96 ^{bcd}	1,60	65,7 ^{bc}	16,5
	öF2	69	2,91 ^{abcd}	0,61	3,92 ^a	1,31	53,0^a	19,0
	öF3	62	3,15^d	0,58	3,87^a	1,08	54,0 ^a	14,0
	öF4	70	2,68 ^{abc}	0,70	5,60 ^{cd}	1,26	71,5 ^{bc}	13,1

5.3.2.2.2 Dotterfarbe

Die Farbe der Bio-Dotter weicht nach den L*a*b*-Farbwerten bis auf wenige Ausnahmen von allen konventionellen Proben deutlich ab, laut a-Wert und Fächerwert sogar signifikant (**Tabelle 23**). Die Bio-Eier besitzen einen sehr hellen (hoher L-Wert), weniger roten (negativer a-Wert), dafür meist stärker gelb gefärbten (hoher b-Wert) Dotter. Die intensivste Rotfärbung besitzen die Dotter aus Käfigsystemen. Zu erwähnen ist zudem, dass sich – im Gegensatz zu 'Standort A' – am 'Standort B' die Käfighaltung von den beiden anderen Haltungssystemen desselben Betriebes farblich deutlich unterscheidet.

Tabelle 23: Dotterfarbe – Farbbestimmung mithilfe von Farbfächer und Chromameter (L*a*b*-Farbsystem) (Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd beim Stichprobenumfang n je Stall des LZ-Projektes über die Monate Mai bis Dezember 2006; Extremwerte sind fettgedruckt, einfaktorielle Varianzanalyse mit Faktor 'Stall', unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland).

Stall	n	Fächerwert		L*		a*		b*		
		Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	
Standort A	kF1	70	12,70 ^{de}	0,62	55,7 ^a	2,1	8,48 ^{de}	1,75	42,6 ^{bcd}	3,2
	B1	69	12,74 ^{de}	0,80	55,5 ^a	2,8	8,80 ^e	2,50	42,9 ^{bcd}	3,5
	K1	70	12,69 ^{de}	0,79	55,3^a	2,4	9,64 ^e	2,45	42,6 ^{bcd}	2,7
Standort B	kF2	70	10,83 ^c	1,61	60,5 ^{cde}	2,4	2,74 ^b	2,63	36,7^a	5,3
	B2	60	11,95 ^d	0,43	58,9 ^{bc}	2,1	5,13 ^c	1,32	39,8 ^{ab}	3,3
	K2	70	13,27^e	1,03	56,9 ^{ab}	2,7	10,27^e	3,72	41,3 ^{bc}	2,9
Boden	B3	65	12,55 ^{de}	1,70	57,9 ^b	2,6	9,02 ^e	3,43	37,5 ^a	4,9
	B4	70	12,06 ^d	0,96	58,5 ^b	2,5	6,78 ^{cd}	3,20	41,8 ^{bc}	3,7
Bio	öF1	69	7,70 ^b	1,32	60,4 ^{cd}	2,4	-3,86 ^a	2,64	43,8 ^{cd}	5,2
	öF2	69	8,07 ^b	1,22	62,4^e	2,8	-3,21 ^a	2,27	47,1^e	5,4
	öF3	62	7,85 ^b	0,76	62,2 ^{de}	2,6	-3,99 ^a	1,18	45,5 ^{de}	4,6
	öF4	70	6,56^a	1,78	61,0 ^{de}	3,0	-4,56^a	2,15	42,0 ^{cd}	5,7

5.3.2.2.3 Fettsäuregehalte

Hinsichtlich des Fettsäuremusters ergeben sich während der Sommermonate zwar insbesondere für die Bio-Haltungen etwas höhere Gehalte an einfach ungesättigten Fettsäuren, ansonsten sind aber bei keiner Probe charakteristische saisonale Veränderungen feststellbar (Anhang, **Tabellen 37 – 40**). Daher werden für jeden Versuchsstall durchschnittliche Fettsäuregehalte über den Zeitraum Mai bis Dezember 2006 berechnet.

Bei der Betrachtung von **Tabelle 24** fällt auf, dass die Zusammensetzung des Dotterfetts offenbar stark betriebsabhängig ist. Die Proben des 'Standorts A' weisen einheitlich niedrigere Anteile an gesättigten Fettsäuren (SAT) und einfach ungesättigten Fettsäuren (MUFA) auf als die der übrigen konventionellen Standorte. Noch ausgeprägter sind die Abweichungen bezüglich der mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA). Deren prozentuale Gehalte liegen am 'Standort A' signifikant über den übrigen konventionellen Proben. Das Verhältnis von n6- zu n3-Fettsäuren ist im Stall 'öF4' sowie am 'Standort A' am kleinsten und daher günstigsten, wobei hier insgesamt nur vereinzelt signifikante Differenzen zwischen den Proben nachweisbar sind. Die Bio-Haltungen liegen hinsichtlich aller genannten Fettsäureklassen mehr oder weniger einheitlich zwischen 'Standort A' und den restlichen konventionellen Proben.

5.3.2.2.4 Oxidationsempfindlichkeit

Die Empfindlichkeit der Dotterlipide gegenüber Oxidation wird indirekt über den Gehalt an TBARS (thiobarbitursäure-reaktive Substanzen) bestimmt. Zwar treten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ställen auf, doch wie bei den Fettsäuregehalten fällt auch hier die Homogenität innerhalb der 'Standorte A' und 'B' auf. Die Proben des 'Standorts B' sowie die Bio-Proben sind gegenüber Oxidation offensichtlich stabiler als die übrigen Proben, wobei die Werte letzterer stärker streuen als diejenigen konventioneller Eidotter.

ERGEBNISSE

Tabelle 24: Anteile der Fettsäureklassen am gemessenen Gesamtfettsäuregehalt und Oxidationsempfindlichkeit der Dotterlipide, ausgedrückt als Gehalt an TBARS (Untersuchungszeitraum, Statistik sowie Abkürzungen: s. **Tabelle 23**)

Stall		n	SAT / %		MUFA / %		PUFA / %		n6/n3		TBARS / nmol/mg	
			Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd
Standort A	kF1	7	32,4 ^{ab}	1,0	35,8^a	0,9	31,9 ^c	1,0	10,1 ^{abc}	0,5	1,79 ^a	0,09
	B1	7	31,5^a	0,7	36,1 ^{ab}	1,6	32,2^c	1,8	10,4 ^{abc}	0,6	1,58 ^a	0,47
	K1	8	31,8 ^a	1,3	38,6 ^{abc}	1,9	29,6 ^c	1,7	10,0 ^{ab}	0,9	1,50 ^a	0,46
Standort B	kF2	7	36,4 ^{ab}	1,7	44,7^c	1,6	18,8 ^a	1,4	16,5^d	1,8	1,34 ^a	0,48
	B2	7	38,0 ^{ab}	3,5	42,5 ^{abc}	2,3	19,4 ^a	2,3	14,2 ^{cd}	2,2	1,10 ^a	0,35
	K2	8	38,0 ^{ab}	3,6	41,0 ^{abc}	3,2	21,0 ^a	1,8	11,7 ^{abc}	1,7	1,13 ^a	0,55
Boden	B3	8	39,9^b	4,8	42,0 ^{abc}	3,4	18,1 ^a	1,4	10,6 ^{abc}	1,2	1,60 ^a	0,53
	B4	8	38,7 ^{ab}	3,8	43,2 ^{abc}	2,3	18,1^a	1,5	13,8 ^{bcd}	2,9	1,48 ^a	0,46
Bio	öF1	8	33,5 ^{ab}	3,8	43,6 ^{bc}	5,1	23,0 ^{ab}	3,7	12,3 ^{abc}	2,1	1,11 ^a	0,71
	öF2	7	33,6 ^{ab}	3,0	42,9 ^{abc}	3,2	23,4 ^{ab}	2,0	13,2 ^{abcd}	2,6	1,04 ^a	0,57
	öF3	8	34,1 ^{ab}	4,6	38,2 ^{abc}	4,4	27,7 ^{bc}	3,4	10,9 ^{abc}	0,9	1,47 ^a	0,53
	öF4	8	33,3 ^{ab}	2,2	43,3 ^{abc}	4,6	23,4 ^{ab}	3,6	9,7^a	1,7	1,18 ^a	0,63

Abkürzungen:

SAT: gesättigte Fettsäuren

n3: Omega 3 - Fettsäuren

MUFA: einfach ungesättigte Fettsäuren

n6: Omega 6 - Fettsäuren

PUFA: mehrfach ungesättigte Fettsäuren

TBARS: Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen (Oxidationsgrad)

5.3.2.3 Zusammenfassung – Eiqualität im LZ-Versuch

Das Ei-Gewicht liegt haltungsunabhängig innerhalb eines Bereichs von durchschnittlich 58 bis 65 g.

Die günstigsten Frischeparameter weisen die Proben des konventionellen 'Standorts B' auf. Mit Ausnahme von Stall 'öF4' schneiden die Bio-Eier hinsichtlich der Frische am schlechtesten ab.

Während die Bio-Dotter hellgelb bis gelb gefärbt sind, haben die konventionellen Eier orange-rote Dotter; den dunkelsten Farbton besitzen die Dotter aus Käfighaltung.

Bezüglich der enthaltenen Fettsäuren fallen die Proben von 'Standort A' auf: die prozentualen Gehalte an gesättigten und einfach-ungesättigten Fettsäuren sind dort deutlich geringer; die mehrfach-ungesättigten Fettsäuren machen hingegen einen signifikant höheren Anteil aus als bei allen übrigen Ställen. Außerdem weisen die Proben von 'Standort A' ein tendenziell günstigeres Verhältnis von n6- zu n3-Fettsäuren auf. Dagegen sind sie – wie auch die Proben der Bodenhaltungen 'B3' und 'B4' – oxidationsempfindlicher. Für die Bio-Proben ergeben sich ansonsten etwas niedrigere Gehalte an gesättigten, jedoch höhere Gehalte an mehrfach-ungesättigten Fettsäuren als in den konventionellen Dottern (ausgenommen 'Standort A').

5.4 Potentielle Einflussfaktoren auf den Dotter-qNL-Wert

Nachdem in Kapitel 5.3 die Produktionsbedingungen und die Qualität der Eier aus dem LZ-Projekt besprochen wurden, werden im Folgenden die Beziehungen zwischen der *Biophotonenintensität* und *klassischen Eiquälitätsmerkmalen* sowie *klimatischen Faktoren* und dem *Tieralter* untersucht.

Auf die standortspezifischen Parameter wie *Auslaufnutzung* und *Futterzusammensetzung* wird in der Diskussion näher eingegangen.

5.4.1 Dottergewicht und Dotterfarbe

In Abhängigkeit vom Versuchsstall schwanken Dottergewicht und Dotterfarbe in den Stichproben teilweise beträchtlich. Um die Vergleichbarkeit aller Stichproben generell zu überprüfen, wird daher die Abhängigkeit der Biophotonenemission von diesen beiden Qualitätsmerkmalen getestet.

Der Einfluss des **Dottergewichts** wird mittels Korrelationsrechnung für jeden Versuchsstall an zwei Monatsstichproben (Juni und Dezember 2006) geprüft, wobei je Stall nur Dotter *einer* Farbstufe berücksichtigt werden, um hier einen möglichen Effekt dieser auszuschließen.

Auf einen Zusammenhang zwischen **Dotterfarbe** und Biophotonenintensität wird auf zwei Arten getestet:

1. *Korrelationen der Farbstufen* (der selbsterstellten Farbskala) mit den Biophotonenwerten, wobei exemplarisch die Daten eines Monats (Juli 2006) für jeden Stall betrachtet werden.
2. Vergleich von Dottern *derselben* Farbstufe aus *unterschiedlichen* Produktionssystemen.

Die Korrelationskoeffizienten (Anhang, **Tabelle 41**) ergeben weder für das Dottergewicht noch für die Dotterfarbe einen signifikanten Zusammenhang mit dem q_{NLZ} -Wert.

Abbildung 25 verdeutlicht, dass sich Dotter verschiedener Produktionsqualität auch bei gleicher Färbung in der Biophotonenemission unterscheiden. Während die konventionellen Produktionssysteme meist sehr eng beieinander liegen (nur im August, Oktober, November und Februar sind deutliche Unterschiede zu verzeichnen) übertreffen die Bio-Dotter konventionelle Dotter *derselben* Farbstufe in sieben Monaten signifikant (Juni/ Aug./ Dez. '06, Jan-Apr. '07).

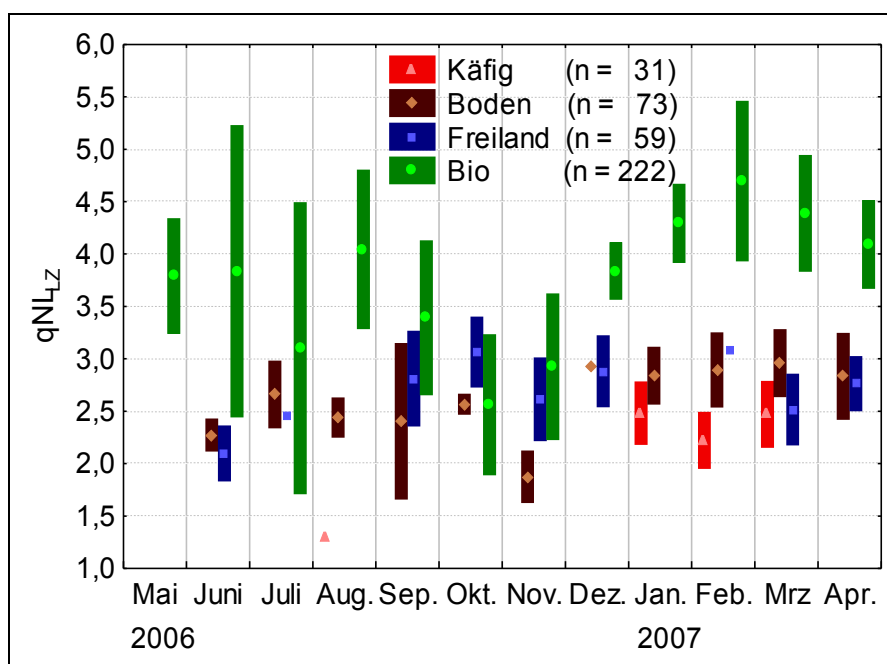


Abbildung 25: Nachleuchtintensität q_{NLZ} von Eiern der Farbstufe 3 (s. **Abbildung 11**, Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd beim Probenumfang n je Monat und Haltung).

5.4.2 Dotterauflagerungen

In einzelnen Fällen werden extrem hohe Biophotonenintensitäten im Zusammenhang mit weißlichen und bräunlichen Dotterauflagerungen beobachtet.

Wie **Abbildung 26** zeigt, verringert sich die Lichtemission (qNL) des Dotters durch Entfernen der Auflagerung drastisch. Fügt man den separierten Fleck einem anderen Dotter hinzu, so steigt dort die Emission beträchtlich an.

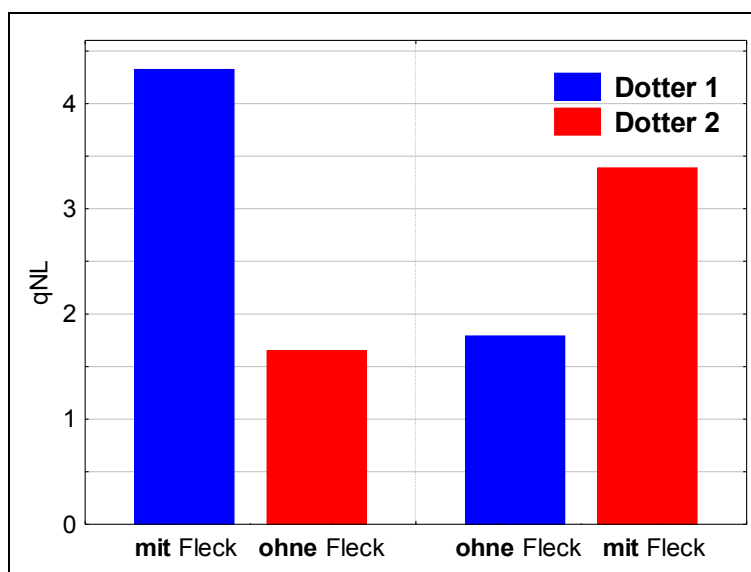


Abbildung 26: Effekt des Transfers einer Dotterauflagerung auf die Nachleuchtintensität 'qNL' eines fremden Dotters.

Es wird daher geprüft, ob sich auffallend hohe Biophotonenemissionen mit Auflagerungen auf der Dottermembran erklären lassen. Aus dem DB- und LZ-Projekt werden hierfür von Ställen jeder Haltungsform Monatsstichproben ausgewählt, die sowohl Dotter *mit* als auch *ohne* Flecken enthalten, und mittels Varianzanalyse (F-Test) untersucht.

Ein genereller Effekt von Dotterauflagerungen auf die Biophotonenemission kann jedoch nicht belegt werden. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Dottern *ohne* und Dottern *mit* Flecken bzw. Auflagerungen (**Tabelle 42**, Anhang).

5.4.3 Klimafaktoren, Tieralter und Parameter der inneren Eiqualität

Mittels Korrelationsrechnung werden weitere Faktoren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Biophotonenemission untersucht. In **Tabelle 25** sind die Korrelationskoeffizienten zusammengestellt, welche sich jeweils auf Basis der Monatsmittelwerte je Merkmal und Versuchsstall berechnen.

Es zeigt sich nur bei einzelnen Proben ein signifikanter Zusammenhang. Für kein Merkmal haben die Korrelationskoeffizienten ein einheitliches Vorzeichen, sodass keine Beziehung zwischen den protokollierten Qualitätsparameter bzw. Klimafaktoren und der Biophotonenemission nachgewiesen werden kann.

Tabelle 25: Korrelation zwischen q_{NLZ} -logT und verschiedenen Klimabedingungen, dem Tieralter sowie Eiquälitätsparametern im Zeitraum Mai bis Dez. 2006. (signifikante Korrelationen mit $p < 0,05$ sind fettgedruckt; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland)

	Standort A			Standort B			Boden		Bio			
	kF1	B1	K1	kF2	B2	K2	B3	B4	öF1	öF2	öF3	öF4
n (Monate)	7	7	8	7	6	7	8	8	8	7	8	8
Sonnenscheindauer	-0,53	-0,26	-0,59	-0,22	0,15	-0,46	0,35	0,38	0,74	-0,09	-0,71	0,26
Niederschlag	-0,39	-0,43	-0,09	0,02	0,87	0,10	0,11	-0,05	0,19	0,80	0,50	-0,27
Temperatur	-0,50	-0,29	-0,47	-0,35	-0,05	-0,54	0,18	0,03	0,61	0,04	-0,64	0,05
Legemonat	0,91	0,73	0,81	0,20	0,51	0,47	-0,47	-0,48	0,57	-0,20	0,30	-0,32
Luftkammer	-0,31	-0,55	0,82	0,22	0,79	-0,08	-0,15	-0,31	0,49	-0,68	0,36	0,54
Eiklarhöhe	-0,23	0,00	-0,13	0,30	-0,08	0,37	-0,02	0,38	-0,79	0,17	0,27	0,02
Haugh Unit	-0,44	-0,02	-0,31	0,35	-0,14	0,29	-0,07	0,37	-0,82	0,33	0,18	0,03
Dotteranteil	0,33	-0,03	0,41	-0,05	0,57	0,22	0,26	-0,54	0,70	-0,14	-0,62	-0,23
SAT	0,56	-0,77	-0,38	0,05	0,07	-0,24	0,11	-0,33	-0,69	-0,16	-0,05	-0,32
MUFA	-0,32	0,17	-0,48	0,47	0,61	0,55	-0,14	0,29	0,48	-0,33	0,06	0,30
PUFA	0,07	0,07	0,80	-0,38	-0,65	-0,49	-0,06	0,34	-0,02	0,69	0,10	-0,23
n3	-0,12	0,41	-0,10	-0,01	-0,57	-0,19	0,11	0,45	0,65	0,73	-0,24	0,22
n6	0,09	0,02	0,84	-0,40	-0,63	-0,48	-0,09	0,30	-0,08	0,67	0,13	-0,25
Verhältnis n6/n3	0,19	-0,54	0,68	-0,26	-0,06	-0,04	-0,18	-0,49	-0,72	-0,64	0,60	-0,34
TBARS	0,65	0,26	-0,16	-0,03	-0,54	0,28	-0,11	-0,00	-0,05	0,56	0,47	-0,11

Abkürzungen:

- | | | | |
|-------|----------------------------------|--------|--|
| SAT: | gesättigte Fettsäuren | n3: | Omega 3 - Fettsäuren |
| MUFA: | einfach ungesättigte Fettsäuren | n6: | Omega 6 - Fettsäuren |
| PUFA: | mehrfach ungesättigte Fettsäuren | TBARS: | Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen (Oxidationsgrad) |

5.4.4 Jahreszeit

Wie die LZ-Daten in Kapitel 5.2.2 zeigen, variiert die Biophotonenemission von Eidottern saisonal erheblich. Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen jahreszeitabhängigen Größen und den qNL-Werten gibt. Dabei wird zwischen Sommer- und Wintermonaten unterschieden. Als Sommermonate gelten die Monate zwischen astronomischem Frühlings- und Herbstbeginn [Landscape 2001], also die Monate April bis September. Die Zeit von Oktober bis März entspricht folglich dem Winterhalbjahr.

5.4.4.1 DB-Projekt

In **Abbildung 27** sind die qNL_{DB} -Werte des DB-Projekts für jede Haltung nach Sommer- und Winterabschnitten differenziert dargestellt.

Auffallende Unterschiede zwischen den Jahreszeiten weisen die Bio-Proben auf. Während sich hier die Sommer- von den Winterproben einheitlich durch signifikant höhere qNL_{DB} -Werte abheben, liegen die Proben der Käfig- und Freilandhaltung nur im Winter 2006/07 charakteristisch unter den Sommerhalbjahren. Die Dotter aus Bodenhaltung zeigen keine derartige Beeinflussung durch die Jahreszeit, vielmehr unterscheiden sich hier die beiden Sommer '05 und '06 signifikant.

Beim Vergleich der Haltungsformen ist erkennbar, dass sich die Bio-Proben sehr deutlich von den konventionellen Dottern abheben, wobei der Unterschied in den Sommermonaten größer ist als im Winterhalbjahr. Die drei konventionellen Haltungen weichen dagegen kaum voneinander ab.

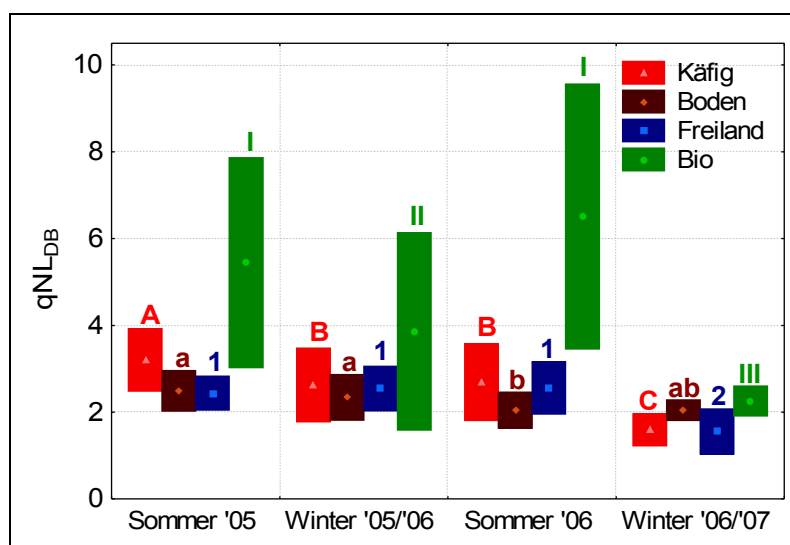


Abbildung 27: Mw und Sd von ' qNL_{DB} ' je Haltung und Jahreszeit (einfaktorielle Varianzanalyse mit Faktor 'Jahreszeit', unterschiedl. Zeichen einer Farbe kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb eines Haltungssystems mit $p < 0,05$; n je Haltung:s. Anhang, **Tabelle 43**).

5.4.4.2 LZ-Projekt

Im LZ-Versuch wird der Jahreszeiteinfluss auf die Biophotonenemission mittels t-Test anhand der einzelnen Dotterwerte überprüft, wobei die Jahreszeiten Sommer und Winter stallweise miteinander verglichen werden.

Dabei finden nur diejenigen Monate Berücksichtigung, in welchen Messdaten von Proben aller Ställe vorliegen (Sommer: Mai, Juli, September, Winter: Oktober, November, Dezember). Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, werden je Monat und Stall stets 10 zufällig gewählte Dotter für die Berechnungen verwendet.

Wie aus **Tabelle 26** abzulesen ist, weichen die Sommer-qNL_{LZ}-Werte der meisten Ställe hoch bzw. höchstsignifikant von den Winter-qNL_{LZ}-Werten ab. Bemerkenswert ist allerdings, dass bei fünf Proben ein signifikanter *Anstieg* der Biophotonenemission zum Winterhalbjahr zu verzeichnen ist (fettgedruckte Werte), wohingegen vier weitere Proben signifikante *Abnahmen* der Strahlungsintensitäten aufweisen (fett-kursiv gedruckte Werte). Drei Proben zeigen keine jahreszeitabhängigen Intensitätsveränderungen. Insgesamt verringern sich in den Wintermonaten – wie im DB-Versuch – auch hier die Unterschiede zwischen den Produktionsformen 'Bio' und 'Konventionell'. Dies jedoch nicht nur durch den Rückgang zweier Bio-Proben, sondern auch durch den beinahe einheitlichen Anstieg der konventionellen Proben zum Winter hin.

5.4.5 Zusammenfassung – potentielle Einflussfaktoren auf den qNL-Wert

Weder für tierspezifische noch für klimatische Faktoren kann ein direkter Zusammenhang mit der Lichtspeicherfähigkeit festgestellt werden.

Tendenziell sinkt der Intensitätsunterschied zwischen ökologischen und konventionellen Dottern in den Wintermonaten.

Ein Kausalzusammenhang zwischen Dotterauflagerungen und stark erhöhten Biophotonenwerten ist nur in Einzelfällen auszumachen.

Bemerkenswert ist, dass Dotter mit hohen qNL-Werten relativ hohe Anteile an mehrfach-ungesättigten Fettsäuren enthalten.

Alle weiteren Eiquantitätsmerkmale lassen keine Beziehung zur Lichtspeicherfähigkeit erkennen.

Tabelle 26: Intensitätsveränderung vom Sommer zum Winter je Versuchsstall des LZ-Projektes (qNL_{LZ}; Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd; Sommer: Mai, Juli, Sep., Winter: Okt., Nov., Dez.; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland; * signiifkant, ** hoch-signifikant, *** höchst-signifikant).

			n	qNL _{LZ}		signifikante Intensitätsveränderung im Winter	p
				Mw	Sd		
Standort A	kF1	Sommer	30	2,06	0,21	↑	0,000 ***
		Winter	30	2,29	0,22		
	B1	Sommer	30	2,08	0,23		0,218 ns
		Winter	30	2,16	0,26		
	K1	Sommer	30	1,98	0,18	↑	0,000 ***
		Winter	30	2,19	0,18		
Standort B	kF2	Sommer	30	1,85	0,13	↑	0,034 *
		Winter	30	1,94	0,19		
	B2	Sommer	30	1,86	0,31	↓	0,012 *
		Winter	30	1,69	0,14		
	K2	Sommer	30	1,61	0,13		0,262 ns
		Winter	30	1,64	0,13		
Boden	B3	Sommer	30	1,68	0,14	↓	0,008 **
		Winter	30	1,56	0,20		
	B4	Sommer	30	1,74	0,21		0,063 ns
		Winter	30	1,65	0,19		
Bio	öF1-S	Sommer	30	2,83	0,44	↓	0,001 ***
		Winter	29	2,46	0,39		
	öF2	Sommer	30	1,99	0,22	↓	0,001 ***
		Winter	30	1,78	0,24		
	öF3	Sommer	30	2,00	0,45	↑	0,041 *
		Winter	30	2,27	0,59		
	öF4	Sommer	30	2,23	0,57	↑	0,025 *
		Winter	30	2,45	0,27		

5.5 Differenzierung zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Eiern

Letzter Teil der Datenanalysen ist die Prüfung, ob sich mithilfe der Biophotonenmessung Eier aus konventioneller und ökologischer Produktion identifizieren lassen. Ein Verfahren zur Klassifikation unbekannter Objekte anhand bestimmter Probenmerkmale ist die Diskriminanzanalyse.

5.5.1 Relevante Messgrößen

Der Vergleich der vier bzw. fünf Produktionssysteme in **5.2.1** ergab, dass Dotter aus konventioneller Freilandhaltung, Boden- und Käfighaltung bezüglich der hier untersuchten Biophotonengröße 'qNL' nur geringfügig voneinander abweichen.

Konventionell und *ökologisch* erzeugte Eidotter unterscheiden sich hingegen in zweierlei Hinsicht markant:

- zum einen in der *Intensität* des Nachleuchtens 'qNL',
- zum anderen in der *Streubreite* des qNL-Wertes innerhalb einer Stichprobe.

Die Zahlen in **Tabelle 27** bestätigen dies. Aufgrund der Abhängigkeit der Standardabweichung vom Stichprobenumfang, sind mittlere Nachleuchtintensität und Standardabweichung je Probe jeweils für *gleichgroße* Stichprobenumfänge angegeben (n=5 bzw. im LZ-Projekt aufgrund der größeren Datenbasis auch n=10).

Sowohl für die Bio-Haltungen als auch für die kleinbäuerlichen Hennenbestände liegen die Werte deutlich bis signifikant über den Werten der (kommerziellen) konventionellen Produktionssysteme.

Die Standardabweichung ist grundsätzlich nicht normalverteilt, nähert sich aber mit wachsendem Stichprobenumfang asymptotisch einer Normalverteilung. [CROUCHER 1988; WEISSTEIN 2009] Im Gegensatz zur Stichprobengröße n=5 liegt bei n=10 (nach doppelter Logarithmierung) annähernd eine entsprechende Verteilung vor, sodass die Standardabweichung im *LZ-Versuch* mittels Varianz- und Diskriminanzanalyse ausgewertet werden kann.

Um die Streuungsunterschiede von ökologischen und konventionellen Proben besser einschätzen zu können, sind in **Tabelle 27** für den LZ-Versuch zusätzlich die Variationskoeffizienten des qNL_{LZ} ($VK = Sd / Mw$) je Haltung angegeben. Auch dieses maßstabsunabhängige Streuungsmaß zeigt, dass die Bio-Proben erheblich stärker streuen als die konventionellen Dotter.

Mittelwert und Standardabweichung der Nachleuchtintensität q_{NL} lassen sich folglich als charakteristische Probenmerkmale für die Diskriminanzanalyse heranziehen.

5.5.2 Datengrundlage

Die Messdaten des DB- und LZ-Projektes werden aufgrund der unterschiedlichen Geräteempfindlichkeiten weiterhin separat betrachtet.

Wie bereits erwähnt, gehen nur *gleichgroße* Stichproben in die Berechnungen ein, um eine Beeinflussung der Klassifikation durch den Stichprobenumfang zu vermeiden. Die hierzu notwendige Datenauswahl erfolgt folgendermaßen: von allen Stichproben mit mindestens fünf Dottern werden kategorisch die *ersten fünf* (bzw. im LZ-Projekt zusätzlich die *ersten zehn*) untersuchten Dotter ausgewählt. Von den so erhaltenen Stichproben werden nun Mittelwert und Standardabweichung bestimmt.

Im LZ-Projekt finden ausschließlich die Monate Mai bis Dezember 2006 Berücksichtigung, da nur in diesem Zeitraum von allen Ställen mindestens sieben Monatsstichproben vorliegen und damit eine gleichmäßige Datenbasis gegeben ist. (Die Probenherkunft 'öF1-B' wurde aufgrund zu weniger Stichproben nicht mit einbezogen.)

Tabelle 27: Mittelwert Mw, mittlere Standardabweichung Sd bzw. Variationskoeffizient VK der Nachleuchtintensität je Haltungsform im DB- und LZ-Projekt. (Stichproben vom Umfang $n=5$ bzw. $n=10$; unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$.)

	DB-Projekt			LZ-Projekt					
	Stichprobenanzahl	$q_{NL_{DB}}, n=5$		Stichprobenanzahl	$q_{NL_{LZ}}, n=5$		$q_{NL_{LZ}}, n=10$		
		Mw	mittlere Sd je Probe		Mw	mittlere Sd je Probe	Mw	mittlere Sd je Probe	mittlerer VK je Probe
Käfig	21	2,59 ^a	0,39	16	1,84 ^a	0,16	1,81 ^a	0,15 ^a	0,082
Boden	17	2,25 ^a	0,25	30	1,84 ^a	0,15	1,82 ^a	0,14 ^a	0,079
Freiland	21	2,31 ^a	0,30	16	1,95 ^a	0,14	1,98 ^a	0,16 ^a	0,081
Bio	28	4,05 ^b	0,95	31	2,37 ^b	0,29	2,38 ^b	0,34 ^b	0,137
Kleinbäuerl.	5	3,52 ^{ab}	0,78						
Σ	87 (+5)			93					

5.5.3 Klassifizierung von Dotter-Stichproben

Zunächst werden Stichproben des Umfangs $n=5$ ausgewertet. Da die Standardabweichung bei dieser Stichprobengröße weder im DB- noch im LZ-Projekt normalverteilt ist, wird nur eine *univariate* Diskriminanzanalyse mit den Stichproben *Mittelwerten* durchgeführt.

Im LZ-Versuch stehen ausreichend Daten zur Verfügung, um zu prüfen, wie sich ein größerer Stichprobenumfang von $n=10$ auf die Trefferquote der Zuordnung auswirkt. Da die Standardabweichung bei dieser Stichprobengröße nach doppelter Logarithmierung ('...loglogT') annähernd normalverteilt ist, kann außerdem eine *bivariate* Diskriminanzanalyse mit der Standardabweichung als zweiter Merkmalsvariable durchgeführt werden.

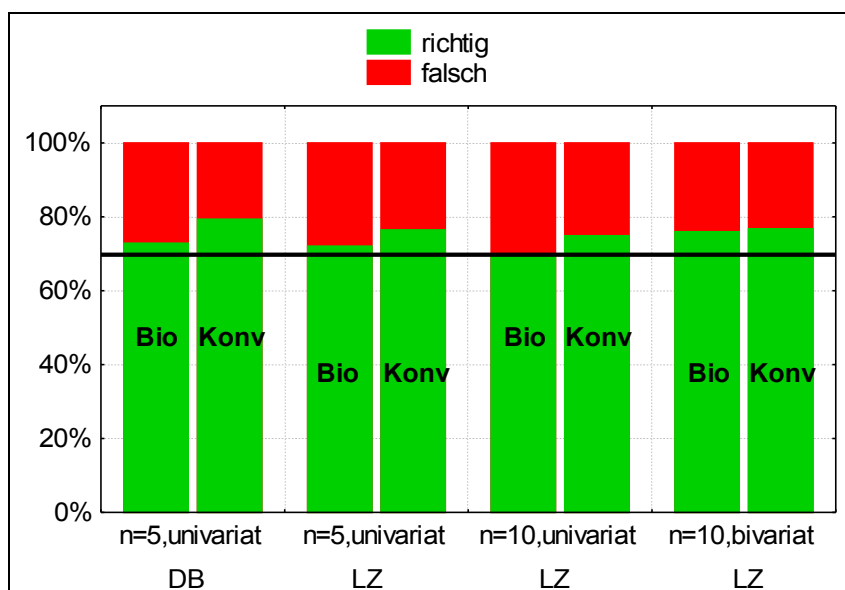
Abbildung 28 veranschaulicht die Ergebnisse. Die Prozentzahlen stellen Mittelwerte aus 10 Wiederholungen der Diskriminanzanalyse mit jeweils unterschiedlichen, zufällig gewählten Lern- und Teststichproben dar.

Bei einem Stichprobenumfang von $n=5$ ergeben sich im DB- und LZ-Versuch praktisch dieselben Trefferquoten für ökologische und konventionelle Dotter. In beiden Projekten liegt die Trefferquote für die konventionellen Dotter mit etwa 77 % etwas höher als für die ökologischen Dotter mit rund 72 %.

Überraschenderweise steigt der Anteil an Fehlklassifikationen bei einer Stichprobengröße von $n=10$ an.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Standardabweichung (bivariate Diskriminanzanalyse) erhöht sich im LZ-Projekt sowohl bei den konventionellen als auch bei den Bio-Proben der Anteil richtiger Beurteilungen um drei bis vier Prozent.

Abbildung 28: Trefferquoten für die Test-Stichproben in unterschiedlichen Varianten der Diskriminanzanalyse DA. (n: Stichprobenumfang, univariate DA: Merkmalsvariable qNL-logT-Stichproben-Mw, bivariate DA: Merkmalsvariablen qNL-logT-Stichproben-Mw u. qNL-loglogT-Stichproben-Sd, DB: Datenbank, LZ: Langzeitbeobachtung)



Aus **Abbildung 29** ist abzulesen, wie viele Stichproben (in %) jeweils aus den konventionellen Haltungen falsch klassifiziert werden:

Im DB-Projekt erhalten mit über 30% auffällig viele *Käfig*proben die Bewertung 'Bio', wohingegen die *Freiland*proben mit nur knapp 15 % am seltensten falsch zugeordnet werden.

Im LZ-Versuch wird, sowohl bei univariater als auch bei bivariater Diskriminanzanalyse – unabhängig vom Stichprobenumfang – die *Boden*haltung mit der höchsten Trefferquote richtig erkannt. *Käfig*- und *Freiland*haltung werden zu etwa gleichen Anteilen fehlklassifiziert, steigen mit größerem Probenumfang allerdings etwas an. Das bivariate Klassifizierungsverfahren macht sich insbesondere bei den Proben aus *Boden*haltung positiv bemerkbar.

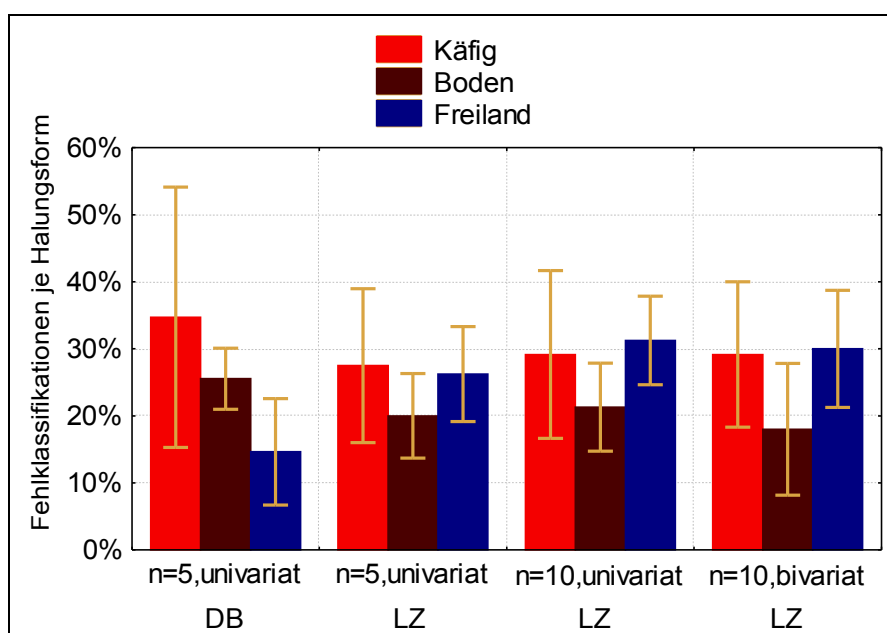


Abbildung 29: Anteile von Fehlklassifikationen je konventioneller Haltungsform. (Mw und Sd aus je 10 Diskriminanzanalysen (DA); n: Stichprobenumfang, DB: Datenbank, LZ: Langzeitbeobachtung, univariate DA: Merkmalsvariable qNL-logT– Stichproben-Mw, bivariate DA: Merkmalsvariablen qNL-logT-Stichproben-Mw u. qNL-loglogT-Stichproben-Sd)

5.5.4 Klassifizierung von Dottern aus kleinbäuerlicher Erzeugung

Die Proben aus kleinbäuerlicher Erzeugung sollen ebenfalls bewertet werden, und zwar anhand der Klassifizierungsfunktionen, welche sich durchschnittlich aus den im DB-Projekt durchgeführten Diskriminanzanalysen ergeben. (Die Koeffizienten der 10 bestimmten Klassifizierungsfunktionen werden hierfür gemittelt; **Tabelle 44** im Anhang.)

Vier der fünf kleinbäuerlichen Proben entsprechen demnach der Kategorie 'Bio'.

5.5.5 Klassifizierung der Versuchsställe des LZ-Projekts

Abschließend werden die Klassifizierungsmodelle ('univariate' und 'bivariate Diskriminanzanalyse') an den einzelnen Versuchsställen des LZ-Projektes erprobt. Für jeden Versuchsstall wird eine eigene Diskriminanzanalyse durchgeführt. Die *Test-Stichprobe* enthält jeweils alle Monatsproben des zu klassifizierenden Stalls. Die Proben der übrigen Ställe stellen die *Lern-Stichprobe* dar und dienen der Bestimmung der Klassifizierungsfunktionen. Dadurch, dass *keine* Stichprobe des Test-Stalls in die Lern-Stichprobe eingeht, wird eine Anpassung des Klassifizierungsmodells an die zu beurteilende Probe vermieden.

Je Stall werden 7 bzw. 8 Monats-Stichproben innerhalb des Zeitraums Mai bis Dezember 2006 bewertet (Stichprobendaten und Klassifizierungsfunktionen im Anhang: **Tabellen 45** und **46**). Wie in **Abbildung 30** dargestellt, ergeben sich für 8 der 12 Versuchsställe mehrheitlich korrekte Klassifikationen.

In 5 Fällen erzielt die bivariate Diskriminanzanalyse bessere Trefferquoten als die univariate, einmal auch eine schlechtere. 100%-igen Erfolg hat das bivariate Klassifizierungsverfahren bei allen Proben des konventionellen 'Standorts B' sowie denjenigen des Stalls 'B2' und drei der Bio-Ställe. Hinsichtlich der Bio-Haltung 'öF2' sowie aller Ställe am 'Standort A', welche – u.a. auch hinsichtlich der Fettsäurezusammensetzung – bereits in den vorangegangenen Kapiteln eine Sonderrolle eingenommen haben, versagt das Bewertungsverfahren allerdings.

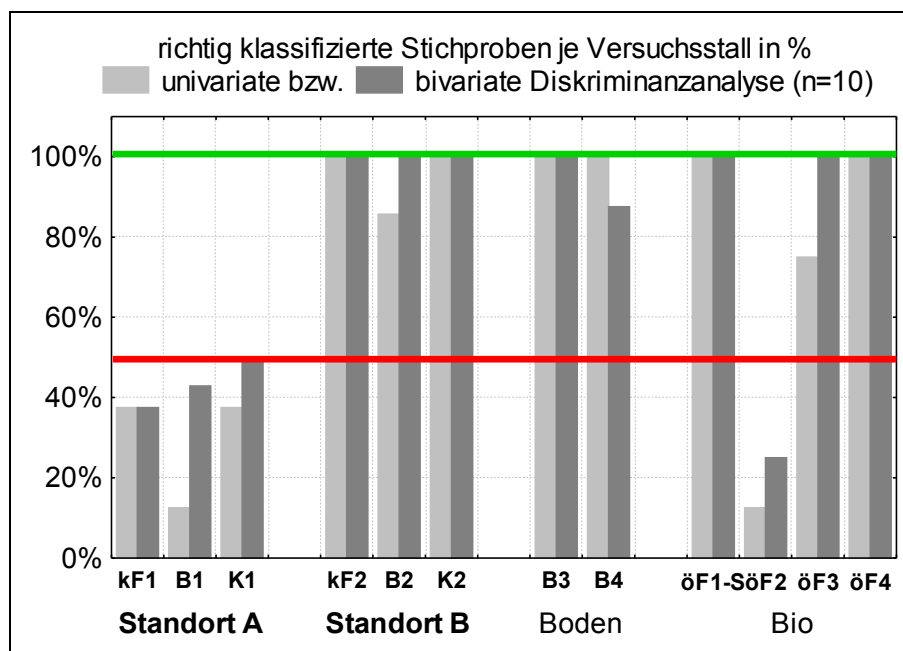


Abbildung 30: Klassifizierung der Versuchsställe des LZ-Projektes. ('kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland, univariate DA: Merkmalsvariable qNL-logT- Stichproben-Mw, bivariate DA: Merkmalsvariablen qNL-logT-Stichproben-Mw u. qNL-loglogT-Stichproben-Sd)

Die Betrachtung der einzelnen Monatsstichproben (**Tabelle 28**) verdeutlicht, dass sowohl der Zeitpunkt als auch die Anzahl von Wiederholungen der Probenahme die Effizienz der Klassifizierung erheblich beeinflussen können. Tendenziell häufen sich die Fehlzuordnungen in den Herbst- und Wintermonaten. Während die Fehlklassifikationen bei den Betrieben 'B4' und 'öF3' einmalig auftreten, weichen alle Proben des konventionellen 'Standorte A' sowie diejenige von Stall 'öF2' wiederholt von der erwarteten Klassenzugehörigkeit ab.

Tabelle 28: Übersicht über richtig (✓) und falsch (✗) klassifizierte Stichproben des LZ-Projektes bei bivariater Diskriminanzanalyse DA. (Mw und Sd berechnen sich aus n=10 Dottern; 'kF': konv. Freiland, 'B': Boden, 'K': Käfig, 'öF': ökolog. Freiland; bivariate DA: Merkmalsvariablen qNL-logT-Stichproben-Mw u. qNL-loglogT-Stichproben-Sd)

LZ, n=10		Standort A			Standort B			Boden		Bio			
		kF1	B1	K1	kF2	B2	K2	B3	B4	öF1-S	öF2	öF3	öF4
Sommer	Mai '06	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
	Juni '06	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Juli '06	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
	Aug. '06	✓	✓	✗	✓		✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
	Sep. '06	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Winter	Okt. '06	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓		✗	✓	✓
	Nov. '06	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
	Dez. '06	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓

5.5.6 Zusammenfassung – Klassifizierung

Die Biophotonenemission von Eiern aus ökologischer und konventioneller Haltung unterscheidet sich zum einen in der *Intensität* und zum anderen in der *Streuung* gleichgroßer Stichproben. Zieht man allein die Intensität als Merkmalsvariable für eine Diskriminanzanalyse heran, so ergeben sich in beiden Projekten für die Klassifizierung der Eier in die Kategorien 'Bio' und 'Konventionell' Trefferquoten von etwa 70 Prozent, wobei die Zuordnung für die konventionellen Stichproben etwas erfolgreicher ist als für die Bio-Proben. Von den kleinbäuerlichen Erzeugern erhalten vier der fünf Dotterproben die Bewertung 'Bio'.

In der Langzeitbeobachtung sind die statistischen Voraussetzungen für eine bivariate Diskriminanzanalyse (mit der Standardabweichung als zweiter Merkmalsvariable) gegeben. Die Treffsicherheit steigt dabei insbesondere zugunsten der Bio-Proben um knapp vier Prozent an.

In der Gegenüberstellung der konventionellen Haltungen fällt auf, dass Proben aus Käfighaltungen tendenziell häufiger fehlerklassifiziert werden als Proben aus Bodenhaltungen. Dotter aus Freilandssystemen machen im DB-Versuch den geringsten, im LZ-Projekt zusammen mit der Käfighaltung die höchsten Anteile der falschen Zuordnungen aus.

Anhand der Monatsstichproben von Mai bis Dezember 2006 wird die Produktionsform von acht Ställen eindeutig erkannt. Falsche Beurteilungen erhalten die Bio-Probe 'öF2' sowie die drei Proben des konventionellen 'Standortes A', welche zuvor bereits durch das abweichende Fettsäuremuster auffielen.

Bei der Betrachtung der Klassifikationsergebnisse der einzelnen Monatsstichproben wird klar, dass die Richtigkeit der Bewertung eines Betriebes stark von Anzahl der gezogenen Stichproben wie auch dem Zeitpunkt im Jahresverlauf abhängen kann.

6 DISKUSSION

Die Angabe KÖHLER bezieht sich im Folgenden stets auf die Dissertation von Barbara Köhler [2001], welche die bislang ausführlichste Arbeit über die Biophotonemission von Eidottern aus verschiedenen Haltungsformen ist und daher sehr oft zitiert wird.

6.1 Reproduzierbarkeit der Biophotonenmessergebnisse

6.1.1 Schwankungen der Kontrollwerte

Zur Kontrolle der Messempfindlichkeit der verwendeten Geräteanordnungen wurden in vorliegender Arbeit regelmäßig Referenzmessungen mit den Objekten 'leere Dunkelkammer' und 'leere Küvette' durchgeführt. Hierbei wurden Schwankungen festgestellt, die nicht allein der natürlichen Streuung der Messwerte zuzuschreiben sind.

Im Langzeitbeobachtungsprojekt (LZ) ist insbesondere der stufenartige Anstieg der Parameter 'Startwert SW' und 'Abklinggeschwindigkeit AG' auffällig. Dieser weist auf charakteristische und dauerhafte Veränderungen von Messbedingungen und/oder an Bauteilen hin. Dass diese Messwertverschiebungen systemimmanent und nicht zufällig waren, lässt sich durch den auffallend synchronen Verlauf der Nachleuchtintensität (NL) von 'leerer Dunkelkammer' und 'leerer Küvette' belegen. Mögliche Ursachen dafür werden im Folgenden diskutiert.

6.1.2 Mögliche Störeinflüsse

Elektrische Messungen erlauben die Erfassung einer Vielzahl von Signalqualitäten. Gleichmaßen vielfältig sind jedoch auch die Faktoren, welche *Messtechnik* und *Probenmaterial* störend beeinflussen [Hamamatsu 2007]. So können beispielsweise elektromagnetische Felder, akustische Quellen oder Temperaturschwankungen wie auch die Feuchtigkeit und Temperatur der Probenoberfläche die Messwerte merklich verändern [JONES 1980].

Diese Einflüsse wirken sich umso drastischer aus, je niedriger die zu messenden Signalspannungen sind. Aufgrund ihrer äußerst geringen Intensität stellt die Biophotonenstrahlung folglich sehr hohe Anforderungen an die Messbedingungen.

Zwingende Voraussetzung für die reproduzierbare Messung dieser ultraschwachen Lichtsignale ist eine *stabilisierte Betriebsspannung*, da der Verstärkungseffekt des Photomultipliers auf der spannungsabhängigen Beschleunigung von Elektronen beruht [BIESKE et al. 2000; NIEBUHR und LINDNER 1994]. Auch eine ausreichende *Evakuierung* der detektierenden Geräteeinheit ist sicherzustellen, da bei Betaung der kalten Detektoroberfläche Messsignale verfälscht werden. Die verlässliche Messung ultraschwacher Lichtintensitäten erfordert folglich *konstante klimatische Bedingungen, gleichbleibende Luftzusammensetzung* wie auch eine *streulichfreie Messumgebung*. [BIESKE et al. 2000; KÖHLER et al. 1991]

In der vorliegenden Arbeit fanden die Biophotonenmessungen zwar in Räumen statt, die verdunkelt, jedoch nicht klimatisiert oder in besonderer Weise gegenüber anderen Umwelteinflüssen abgeschirmt waren. Eine Beeinflussung des Messinstrumentariums bzw. der Proben durch oben genannte Faktoren ist daher nicht auszuschließen.

Tatsächlich konnte anhand der Kontrollproben eine Abhängigkeit der Messwerte von *Temperatur* und *relativer Luftfeuchtigkeit* nachgewiesen werden. Zudem wurde in einem Provokationstest die Störanfälligkeit der Messanordnung PMS-3.1 gegenüber Schwankungen in der *Spannungsversorgung* aufgezeigt. Es bestand jedoch keine Möglichkeit, die Netzspannung zu überwachen und damit entsprechende Beeinträchtigungen zu verhindern bzw. im Nachhinein gezielt zu eliminieren. Des Weiteren sind Störungen durch *mechanische Erschütterung* aufgrund einer benachbarten Großbaustelle denkbar.

Neben eben genannten Einflüssen der *Messumgebung*, können auch *geräteinterne* Prozesse eine Rolle gespielt haben. Auf eine damit einhergehende Drift des Messsystems weist im LZ-Versuch hin, dass die Größen 'Startwert SW' und 'Abklinggeschwindigkeit AG' jeweils von Oktober auf November der Jahre 2006 und 2007 sprunghaft anstiegen, jedoch in den Sommermonaten nicht auf das Niveau der vorangegangenen Monate zurückgingen. Offensichtlich überlagerten sich die identifizierten saisonalen Einflussfaktoren ('Temperatur' und 'Luftfeuchtigkeit') mit weiteren Effekten.

Eine Drift des Messsystems kann durch verschiedene Bauteile hervorgerufen werden. STRUBE [2003] fand insbesondere einen Einfluss der *Lampenbrenndauer* auf die Biophotonenwerte. Mit der Brenndauer nahm die Helligkeit der Lampe (in der Beleuchtungsvorrichtung) stetig ab. Im gleichen Maße sank die Nachleuchtintensität des verwendeten Prüfkörpers.

Aufgrund der vergleichsweise langen Untersuchungszeiträume in den hier

besprochenen Versuchen ist ein solcher Effekt naheliegend und nicht zu vernachlässigen.

Eigenen Erfahrungen nach können auch im Lichtweg integrierte *Filter* oder *Glasfenster* durch Materialermüdung ihre Eigenschaften verändern, und so in langfristigen Messreihen zu systematischen Fehlern führen. Im hiesigen Fall wäre auch vorstellbar, dass die Streulichtverhältnisse durch Alterung der schwarzen Lackierung im Inneren der Dunkelkammer variieren.

Weitere Ursachen für zufällige oder systematische Fehler sind nach STRUBE [2003]:

- die Drift des *Eigenrauschens* des Photomultipliers,
- Instabilitäten der *Kühlung*, welche das Eigenrauschen minimieren soll,
- *zufällige Schwankungen der Lichtemissionen*,
- minimale *Variationen der Shutteröffnungszeit*, welche für den Startwert der Abklingkurve von Bedeutung ist.

Der Einfluss dieser Effekte sinkt mit zunehmender Nachleuchtintensität der Probe.

6.1.3 Auswahl des Biophotonenparameters 'NL'

In dieser Arbeit wird das Hauptaugenmerk auf den nahezu linearen Kurvenabschnitt (im Anschluss an den Abklingbereich) gelegt, die sogenannte 'Nachleuchtintensität NL' der Proben (= Summe der counts innerhalb der letzten 40 s einer einminütigen Messung). Der vor ihm liegende Abklingbereich der Nachleuchtkurve (Parameter: 'Startwert SW' und 'Abklinggeschwindigkeit AG') ist nämlich nicht unabhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. TEUBNER [1983] und KÖHLER [2001] berichten ebenfalls von starker Streuung und Küvettenabhängigkeit des Kurvenbeginns. Der NL-Wert hingegen ist im Wesentlichen durch die Eigenemission der Probe geprägt, welche gegenüber Temperaturveränderungen unempfindlicher ist. Zudem dürfte die Nachleuchtintensität auch deshalb deutlich stabiler gegenüber zufälligen Störungen sein, weil sie im Gegensatz zu 'SW-' und 'AG-Wert' auf sehr *vielen* (40 bzw. 800) Messpunkten basiert.

6.1.4 Korrektur der Messwerte

Die oben erwähnten möglichen Störeinflüsse auf die Messung ultraschwacher Lichtemissionen machen deutlich, dass insbesondere bei langfristigen Untersuchungen ein Vergleich von Messdaten nicht ohne weiteres möglich ist. Den zufälligen und systematischen Fehlern muss durch ein geeignetes Korrekturverfahren Rechnung getragen werden.

Während TEUBNER [1983] und MEI [1991] die Messungen der ultraschwachen Photonenemission durch Subtraktion des *thermischen Rauschens* des Photomultipliers (= Dunkelzählrate) korrigieren, verwenden LAMBING [1992] und KÖHLER [2001] die Differenz zwischen Probenstrahlung und *leerer Küvette*.

Zur Effizienz dieser Kalibrierungsverfahren bei langfristig angelegten Messreihen liegen keine Informationen vor.

Hinsichtlich der Nivellierung der Kontrollprobe 'leere Küvette' bringt die *Subtraktion* von Referenzwerten in der vorliegenden Arbeit keinen Erfolg. Im Unterschied zu STRUBE [2003], welcher einen Kompensationsfaktor aus Tages- und Messreihenmittelwert berechnet, gelingt der Ausgleich messtechnikbedingter Schwankungen in dieser Arbeit am effektivsten über die Normierung auf einen regelmäßig gemessenen Referenzwert. Das bedeutet, dass sich die Summe der Störeinflüsse offensichtlich nicht additiv, sondern multiplikativ auf das Messsignal auswirkt.

6.1.5 Anmerkung zur Reproduzierbarkeit

Ein großes Problem von Messungen derart geringer Lichtintensitäten ist das Fehlen 'echter Standardstrahler', das heißt Referenzproben, deren Strahlungsspektrum und -intensität bekannt und stabil sind [BIESKE et al. 2000].

Die hier angewandte Normierung anhand von 'Leerwerten' ('leere Dunkelkammer' und 'leere Küvetten') kann sicher nur als Ansatz für eine weiter zu optimierende Kalibrierung betrachtet werden.

6.2 Vergleich der Projekte (DB und LZ)

Stellt man die Biophotonen-Ergebnisse von Datenbankprojekt (DB) und Langzeitbeobachtung (LZ) einander gegenüber, so ist Folgendes zu erkennen:

- DB- und LZ-Projekt unterscheiden sich im *Niveau der Nachleuchtintensität (qNL)*. (6.2.1)
- Das *Intensitätsverhältnis 'Bio : Konventionell'* ist reproduzierbar. (6.2.2)
- Im DB-Versuch *streuen* die Werte innerhalb der *Haltungsformen* stärker als im LZ-Projekt. (6.2.3)

6.2.1 qNL-Niveau

Im DB-Projekt liegen die normierten Nachleuchtintensitäten 'qNL' der Dotter eindeutig höher als im LZ-Versuch.

Zwar wurden für die Datenkorrektur in den beiden Projekten abweichende 'Leerwerte' ('leere Küvette' im DB-, 'leere Dunkelkammer' im LZ-Projekt) verwendet, doch hätte dies – aufgrund der im Vergleich zur Dunkelkammer höheren Emissionswerte der Küvette – eigentlich im DB-Projekt zu niedrigeren Werten führen müssen. Folglich kommen auch Eigenschaften der zwei *Messanordnungen* (DB: Gerät PMS-1, LZ: Gerät PMS-3.1) als Ursache für die verschiedenen Strahlungsniveaus in den beiden Projekten in Frage. Die Messgeräte unterscheiden sich u.a. in der Art der Beleuchtung. Wie unter 6.1.2 angesprochen, hat die *Helligkeit* der Lampe Einfluss auf die Höhe der Nachleuchtintensität.

Auch das *Wellenlängenspektrum* der Beleuchtung kann sich auf die Messwerte auswirken. Bei Gerät PMS-3.1 (LZ) erfolgt die Probenbeleuchtung über einen Lichtleiter, was zu Verlusten im kurzwelligen Bereich des Strahlungsspektrums führt. Die Messanordnung PMS-1 dagegen verfügt über eine direkte Probenbeleuchtung; dies könnte zu höheren Messsignalen im DB-Versuch beigetragen haben.

Daneben kommen Unterschiede in der *Empfindlichkeit* der Detektoren für die abweichenden Intensitätsniveaus in den beiden Projekten in Betracht.

6.2.2 Intensitätsverhältnis 'Bio : Konventionell'

Die normierte Nachleuchtintensität ('qNL') der Bio-Dotter liegt im Mittel bei etwa dem 1,5-fachen (DB) bzw. 1,3-fachen (LZ) des 'qNL' konventioneller Dotter.

DB- und LZ-Projekt kommen damit – trotz komplett unterschiedlichen Probenmaterials, abweichender Messtermine als auch verschiedener Messanordnungen – zu vergleichbaren Ergebnissen.

Die (*relativen*) *Haltungsunterschiede* ('Bio' : 'Konventionell') der Dotter-qNL-Werte sind also reproduzierbar.

6.2.3 Streuung

Im Datenbank-Projekt (DB) streuen die Werte innerhalb einer Haltungsform deutlich stärker als in der Langzeitbeobachtung (LZ). Erklären lässt sich dies mit der vergleichsweise hohen Anzahl von Probenherkünften (95 Ställe) im DB-Projekt. Der LZ-Versuch stützt sich mit Eiern von lediglich 12 Ställen dagegen auf deutlich homogeneres Probenmaterial.

6.3 Vergleich verschiedener Haltungsformen (DB und LZ)

Beim Vergleich der Biophotonendaten von Dottern aus verschiedenen Haltungssystemen fällt auf, dass sich die Produktionsformen 'Bio' und 'Konventionell':

- in der Nachleuchtintensität qNL (6.3.1)
- und deren *Streuung* niederschlagen (6.3.2).

6.3.1 Intensität qNL

6.3.1.1 Aktuelle Ergebnisse

Die *Häufigkeitsverteilungen* der Biophotonenwerte von Dottern unterschiedlicher Haltungsformen lassen sowohl im DB- als auch im LZ-Projekt einen klaren Intensitätsunterschied zwischen *konventioneller* und *ökologischer* Produktion erkennen.

Auffallend ist, dass die *konventionellen* Systeme 'Käfig', 'Boden' und 'Freiland' untereinander im qNL-Wert nur geringfügig abweichen, obwohl sie hinsichtlich der Tiergerechtheit sehr unterschiedlich zu bewerten sind.

Wider Erwarten übertreffen einige Werte der Käfighaltung (DB) diejenigen der Freilandhaltung und liegen im Bereich von kleinbäuerlicher oder Bio-Haltung.

So spiegeln sich die Einflüsse *ökologischer* Legehennenhaltung einerseits klar und deutlich in der Biophotonenemission wider. Andererseits wirkt sich die höhere *Tiergerechtheit* im konventionellen Bereich nur minimal und nicht signifikant aus.

6.3.1.2 Vergleich mit der Literatur

Bisherige Biophotonenstudien ergaben meist signifikant höhere Messwerte für Freilandhaltungen gegenüber Käfig- bzw. Bodenstallungen (ohne Tageslicht) [KÖHLER 2001; MEIERHANS 1994; SCHULZE-BÖCKENHOFF 1994; LAMBING 1992]. Allerdings beprobten mindestens die Autoren KÖHLER und MEIERHANS Freilandhaltungen mit (sehr) kleinen Tierbeständen (4 bis 425 Tiere). Wie auch die eigenen Erfahrungen zeigen, liegen Biophotonenintensitäten von Dottern derartiger Herdengrößen (siehe kleinbäuerliche Hühnerhaltung im DB-Versuch) häufig deutlich über denen kommerzieller Freilandhaltungen.

Die in Kleingruppen gefundenen Intensitätsunterschiede zwischen Freiland- und Käfig- bzw. Bodenhaltungseiern lassen sich also offensichtlich nicht auf Eier aus großen Legehennenhaltungen übertragen. Aus solchen Haltungen stammten jedoch die meisten Eier des DB-Projektes sowie die LZ-Eier der konventionellen 'Betriebsstandorte A und B'.

Auch in Studien des Aviforum [2006] war es nicht möglich, mithilfe von Biophotonenintensitäten Eier aus Boden- und konventioneller Freilandhaltung zu unterscheiden.

6.3.1.3 Anmerkung zur kleinbäuerlichen Hühnerhaltung

Dotter aus kleinbäuerlicher Hühnerhaltung (DB) rangieren zwischen den konventionellen und ökologischen Dottern. Dies lässt den Schluss zu, dass sich extensive Haltungsbedingungen positiv auf die Biophotonenemission auswirken.

Als mögliche Einflussfaktoren kommen hier u.a. die *Herdengröße* und die *Besatzdichte* in Frage, welche in privaten Hühnerhaltungen in der Regel beide relativ klein sind. Die Möglichkeit für *Aufenthalt im Freien* ist bei der Kleinhaltung häufig gegeben, sei es im Hof eines landwirtschaftlichen Betriebes, im Garten eines Wohngebietes, auf Baumwiesen oder in einem befestigten Auslauf.

Zusätzlich heben sich kleinbäuerliche Hühnerhaltungen meist durch die *Futterzusammensetzung* von kommerziellen Tierfarmen ab, wenn sie auch bezüglich der Legeleistung meist suboptimal sind. Dafür erweitern Gräser, Kräuter, Früchte, Insekten und Würmer während der Freilandaufenthalte den 'Speiseplan'; häufig werden auch Küchenabfälle, darunter frische Komponenten wie Salat und Gemüsereste, gefüttert [GRASHORN et al. 2006].

6.3.1.4 Anmerkung zur konventionellen Freilandhaltung

Ursache für den geringen Unterschied zwischen konventioneller Freilandhaltung und Käfig-/ Bodensystemen könnte die sehr schwache Auslaufnutzung sein.

Im Rahmen der Diskussion einzelner Einflussfaktoren auf die Dotter-qNL-Werte (6.5.1.2) wird näher darauf eingegangen.

6.3.1.5 Anmerkung zur Käfighaltung

Für die überraschend hohen Nachleuchtwerte einiger Dotter aus Käfighaltung gibt es derzeit noch keine Erklärung. Bekannt ist, dass in der Käfighaltung die mikrobiologische Ei-Qualität sehr gut [BLOKHUIS et al. 2007; DE REU et al. 2005; BERGFELD 2004] und die Konzentration von Arzneimittelrückständen und Schadstoffen auffallend niedrig ist [DBV/ZDG 2006; CVUA Stuttgart 2006; CVUA Münster 2005]. Dass diese Qualitätsaspekte die Biophotonenemission von Eidottern positiv beeinflussen ist jedoch unwahrscheinlich, denn auch die stärker kontaminierten Eier aus Freilandhaltung [BERGFELD 2004; BESSEI 2001] liefern hohe bzw. noch höhere Lichtspeicherwerte.

Denkbar wäre eher ein Einfluss des Futters, worauf jedoch erst in (6.5.1.5) eingegangen wird. Möglicherweise wirkt sich auch die – im Gegensatz zu *Herdenhaltungen* – stabile Sozialordnung in der Käfighaltung [KÖHLER 2005] über geringeren Stress positiv auf die Lichtspeicherfähigkeit aus.

6.3.2 Streuung von konventionellen und ökologischen Dottern

In beiden Projekten unterscheiden sich ökologische und konventionelle Haltungssysteme auffällig hinsichtlich ihrer Streubreiten. So weisen ökologische Dotter grundsätzlich ein breiteres Intensitätsspektrum als die konventionellen Proben auf. Dies dürfte darauf beruhen, dass alternative Haltungssysteme weitaus mehr Variationsmöglichkeiten bieten als die Käfighaltung [HIRT und ZELTNER 2004; BAUMANN 2006]. Die EG-Öko-Verordnung stellt zwar gewisse Mindestanforderungen an die ökologische Ei-Erzeugung, doch lassen diese Vorgaben hinsichtlich Bestandsgröße, Stallausstattung, Futterkomponenten als auch Gestaltung des Grünauslaufs noch viel Spielraum. Außerdem erweitern im Bio-Bereich unterschiedliche Verbandsrichtlinien die Variationsbreite.

Es unterscheiden sich jedoch nicht nur die verschiedenen *Bio-Betriebe* in der Lichtspeicherfähigkeit ihrer Eier; auch *innerhalb* ein und derselben Herde ist sie weniger einheitlich als zum Beispiel in der Käfighaltung. Während in letzterer die Lebensbedingungen praktisch standardisiert sind und sich auch über die Zeit nicht erheblich verändern, bietet die Freilandhaltung eine große Vielfalt an Aufenthaltsmöglichkeiten für die Tiere. Dass sich entsprechend variierende Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Licht oder Futterquellen im Spektrum klassischer Qualitätsmerkmale und auch in der Lichtspeicherfähigkeit der Dotter niederschlagen, zeigen die Arbeiten von VAN DEN BRAND et al. [2004] und KÖHLER [2001].

6.4 qNL von Eidottern im Jahresverlauf (LZ)

Die einjährige Beobachtung von Produktionsbetrieben liefert drei Auffälligkeiten bezüglich der Biophotonenemission von Dottern:

- standortübergreifende Einbrüche der Verlaufskurven (**6.4.1**),
- Variationsunterschiede zwischen 'Bio' und 'Konventionell' (**6.4.2**),
- Betriebseffekte (**6.4.3**).

6.4.1 Standortübergreifende Einflussfaktoren

Die Betrachtung der Monatsmittelwerte je Versuchsstall zeigt, dass sich die Biophotonenemission im Jahresverlauf verändert.

KÖHLER [2001] belegte, dass die Lichtspeicherfähigkeit von Eidottern eine sehr komplexe Eigenschaft darstellt. Neben 'Stallbeleuchtung' und 'Sonnenlichtexposition' beeinflusst auch die 'Gabe von Grünfutter' und die 'Jahreszeit' die Biophotonenwerte der Dotter. Die Biophotonenintensität spiegelt folglich die Summe vieler Einzeleinflüsse wieder, welche allein schon aus saisonalen Gründen über die Zeit und von Standort zu Standort variieren.

Wie bereits von KÖHLER beobachtet, zeigen die Verlaufskurven mancher Ställe im LZ-Versuch untereinander synchrone Abschnitte. Besonders auffällig ist die annähernd lineare Zunahme des qNL-Werts der Käfig-, Boden- und Freilandhaltung von 'Standort A'. Die Ursache hierfür ist unbekannt, wird jedoch in einer haltungsunabhängigen Größe wie Futtermischung, Trinkwasser oder Medikamenteneinsatz vermutet, welche sich für alle drei Herden gleichermaßen verändert haben muss.

Bemerkenswert ist, dass auch Proben von räumlich weit entfernten Ställen (Nord- und Süddeutschland) in zwei Monaten ähnliche Schwankungen zeigen. Im Juni/ Juli und November 2006 knicken fast alle Verlaufskurven ein.

Nachfolgend werden Faktoren diskutiert, welche möglicherweise überregional Einfluss auf die Eiqualität hatten.

6.4.1.1 Extreme Wetterlagen

Auf extreme Klimabedingungen reagiert der tierische Organismus mit Veränderungen im Stoffwechsel sowie der Einschränkung immunologischer Prozesse [SCHOLTYSSSEK und DOLL 1978; MASHALY et al. 2004].

Dass sich Hitzestress auf die Legetätigkeit von Hühnern als auch die Eiqualität auswirkt, belegen u.a. die Studien von ROTH [2003] und DANIEL und BALNAVE [1981]. Von BARBOSA FILHO und SILVA et al. [2006] wurde gezeigt, dass sich eine hohe Umgebungstemperatur kombiniert mit hoher Luftfeuchtigkeit negativ auf den Haugh Unit Index und die Schalenstabilität auswirken. SAS et al. [2006] fanden bei charakteristischen Wetterveränderungen erhöhte Kortikosterongehalte in den Eiern.

Diese Abhängigkeit der Eiqualität von klimatischen Faktoren, sowie der von KÖHLER gefundene Zusammenhang zwischen Tiergesundheit und Lichtspeicherfähigkeit von Dottern, lassen vermuten, dass sich extremes Wetter als Stress auch negativ auf die Biophotonenemission auswirkt.

In diesem Sinne ließe sich das Einknicken der meisten qNL-Verlaufskurven im Sommer 2006 mit Hitzestress erklären. Sowohl im Juni als auch im Juli 2006 war es ungewöhnlich sonnig, trocken und warm. Eine Instabilität des Messsystems als Ursache für diese niedrigen Werte kann ausgeschlossen werden, da die Referenzprobe 'leere Küvette' diese Einbrüche des qNL-Wertes nicht aufweist.

Analog zum Hitzestress sollte man nun erwarten, dass auch Kältestress in die Biophotonenwerte der Dotter eingeht. Eine Bestätigung hierfür möchte man in der Abnahme des qNL-Werts der meisten Ställe im November sehen; denn Temperatur und Sonnenscheindauer gingen in diesem Monat deutlich zurück. Bemerkenswert ist jedoch, dass im April 2007, mit rapider Veränderung der Licht- und Temperaturverhältnisse, keinerlei sprunghafte Zunahmen der qNL-Werte auftraten.

Wie auch die Korrelationsrechnung ergab, kann anhand der LZ-Daten kein eindeutiger Zusammenhang zwischen klimatischen Einflüssen und der Dotter-qNL-Werte gefunden werden. Allerdings wurden hier für alle acht Betriebsstandorte pauschal dieselben Klimaverhältnisse angenommen. Es ist zu vermuten, dass eine detaillierte Aufzeichnung der Kleinwetterlage vor Ort die Klimaabhängigkeit deutlicher zeigen würde; letztere wies KÖHLER insbesondere bezüglich der Sonneneinstrahlung (während der letzten fünf Tage vor der Eiablage) nach.

6.4.1.2 Jahreszeit

Im Sommerhalbjahr fand KÖHLER bei Dottern (meist signifikant) höhere Biophotonenwerte als in den Wintermonaten. In der Freilandhaltung waren die Unterschiede dabei am größten, was auf den Einfluss des Aufenthalts im Freien hinweist.

Neben zusätzlichem Raumangebot und Pflanzenbewuchs bietet der Auslauf eine völlig andere Lichtqualität. Während im geschlossenen Stall mit künstlicher Beleuchtung i.d.R. etwa 20 Lux herrschen, kann die Lichtintensität bei Sonnenschein im Freien über 100 000 Lux betragen. Außerdem enthält das Spektrum natürlichen Lichts UV-Strahlung, was für Vögel u.a. wegen ihres Sehvermögens in diesem Wellenlängenbereich relevant ist. [THIELE 2005; VON ENGELHARDT und BREVES 2005]

Die Auslaufnutzung und damit verbunden die Sonnenlichtexposition der Hühner hängen stark von Wetterbedingungen und Tageslichtlänge, folglich auch der Jahreszeit ab.

Trotz der unterschiedlichen Probenherkünfte bestätigt sich im DB-Projekt – insbesondere bei den Bio-Proben – diese Tendenz zu niedrigeren qNL-Werten im Winter.

Im LZ-Versuch hingegen ist dies nicht einheitlich der Fall. Der Vergleich von Sommer- und Winter-qNL-Werten ergibt zwar für manche Ställe zum Winter hin signifikante *Abnahmen*, für mehr als die Hälfte der Probenherkünfte waren jedoch signifikante *Anstiege* zu verzeichnen. Möglicherweise spielen geographische Lage, lokale Wetterbedingungen wie auch stallbauliche Aspekte (Isolierung, Zugluft, Wintergarten) hinsichtlich dieser gegenläufigen Veränderungen eine Rolle.

6.4.1.3 Anmerkung zu Messwertschwankungen

Es wurde bereits erwähnt, dass die Biophotonenemission ein sehr komplexes Phänomen ist. Vermutet werden darf, dass je nach Konstellation und Ausprägung der verschiedenen Einflussfaktoren einzelne Effekte einmal mehr und einmal weniger zum Tragen kommen. Als Folge von Überlagerungen könnten sich daher Auswirkungen auf die Biophotonenemission abschwächen oder verstärken.

KÖHLER stellte genau dies in Bezug auf die Gabe von Grünfutter und die Art der Stallbeleuchtung fest. Der positive Effekt dieser Einflussfaktoren war umso deutlicher, je ungünstiger bzw. je 'künstlicher' die anderen Haltungsbedingungen waren. So erhöhte etwa Grünfutter die Biophotonenwerte dann am auffälligsten, wenn die Hennen unter Kunstlicht gehalten wurden.

6.4.2 Variationsunterschiede zwischen 'Bio' und 'Konventionell'

Im LZ-Versuch ergeben konventionelle Dotter nicht nur im Hinblick auf verschiedene Betriebsstandorte (6.3.2), sondern auch im zeitlichen Verlauf einheitlichere qNL-Werte als Bio-Dotter.

Als Erklärung für die starken Schwankungen der Bio-qNL-Werte über das Jahr könnte in Betracht gezogen werden, dass Hennen, die einen Auslauf nutzen, einem viel breiteren Spektrum an klimatischen Reizen ausgesetzt sind als Tiere in Stallhaltung. Durch die Auseinandersetzung der Hennen mit dem variierenden Außenklima und natürlichem Tageslicht wird der tierische Stoffwechsel vielseitig stimuliert [FÖLSCH und HOFFMANN 1999].

Auch LAMBING [1992] beobachtete, dass das Angebot eines Auslaufs auf Sandboden bereits nach wenigen Wochen zu einer größeren Schwankung der Lichtspeicherwerte von Eidottern gegenüber reiner Bodenhaltung führte, bei gleichbleibendem mittleren Emissionsniveau. Erst bei Bereitstellung eines Auslaufs mit Vegetation nahm neben der Variation auch die Intensität der Biophotonenwerte zu.

VAN DEN BRAND et al. [2004] wies eine höhere Variation äußerer und innerer Eiquantitätsmerkmale bei Freilandeiern gegenüber Käfigeiern nach. Es liegt nahe, dass sich alle Veränderungen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenlichtintensität, Niederschlag und Futterangebot letztendlich auf die Eiquantität bzw. die Biophotonenemission der Dotter auswirken können.

Da die Angaben der Betriebsleiter im LZ-Projekt eine deutlich intensivere Nutzung des Auslaufs in Bio-Haltungen bestätigen, die Hennen in diesen gegenüber den konventionellen Ställen also einem größeren Reizspektrum ausgesetzt sind, könnte dies die ausgeprägten Fluktuationen der qNL-Werte im Bio-Bereich erklären.

6.4.3 Betriebseffekte

Die '**Standorte A**' ('kF1','B1','K1') und '**B**' ('kF2','B2','K2') unterscheiden sich signifikant hinsichtlich der Dotter-qNL-Werte, wohingegen die Haltungsformen (kF: konventionelle Freilandhaltung, B: Bodenhaltung, K: Käfighaltung) *standort-intern* kaum differieren. Lediglich die Käfighaltung 'K2'[#] an 'Standort B' zeichnet sich durch deutlich niedrigere Intensitäten als die Boden- und Freilandhaltung aus.

Dies weist darauf hin, dass – zumindest im konventionellen Bereich – *standort-spezifische* Faktoren die Lichtspeicherfähigkeit des Dotters stärker beeinflussen als die Haltungsform. Der ansteigende Trend aller Proben von 'Standort A' und das synchrone Auftreten von Hoch- und Tiefpunkten am 'Standort B', unterstützen diese Annahme, wenn auch die jeweiligen Ursachen für die Veränderungen des 'qNL'-Niveaus unbekannt sind.

Die Biophotonenemission der Dotter ist also möglicherweise – analog zu klassischen Eiquantitätskriterien wie Eigewicht, Konsistenz des Eiklars oder Dotterpigmentierung [BESSEI 2001] – auch stark von Standortfaktoren abhängig. Beim Vergleich aller zur Verfügung stehenden Angaben zu den **Betriebsstandorten 'A'** und '**B'**' fallen Unterschiede bezüglich zweier Aspekte auf:

- **Genetische Tierherkunft**
(Standort A: Braunleger;
Standort B: Weißleger)
- **Futterkomponenten**
(Standort A: Ackerbohnen, Sojabohnen, Grünmehl;
Standort B: Sojaextraktionsschrot)

Auf die mögliche Bedeutung dieser Faktoren hinsichtlich der Dotter-qNL-Werte wird in nachfolgenden Abschnitten weiter eingegangen.

[#] Es sei angemerkt, dass die drei Stallungen am 'Standort A' direkt benachbart auf demselben Betriebsgelände standen, während sich die Käfighaltung 'K2' am 'Standort B' ein paar Kilometer entfernt vom Hofareal befand, und Wasser von einer anderen Quelle erhielt als die Ställe 'kF2' und 'B2'. Ein Beitrag des Trinkwassers zum abweichenden qNL-Niveau von 'K2' ist nicht auszuschließen.

6.5 Potentielle Einflussfaktoren auf den Dotter-qNL-Wert

Um Aufschluss über weitere Ursachen bezüglich variierender Biophotonenemission von Eidottern zu erhalten, wurden die Messwerte des LZ-Projekts möglichen Einflussfaktoren gegenübergestellt, mittels t-Test ausgewertet oder auf Korrelationen hin geprüft.

Entdeckte Auffälligkeiten sollen jetzt diskutiert werden. Dabei ist zu bedenken, dass eine gefundene stochastische Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalsgrößen zwar noch keine hinreichende Bedingung für einen Kausalzusammenhang stellt. Eine mit der Biophotonenemission scheinbar wechselwirkende Merkmalsvariable ist nicht zwingend deren Ursache, da beide Merkmale möglicherweise von weiteren Größen beeinflusst werden [SACHS 2002]. Doch weist eine Korrelation mindestens auf einen Zusammenhang hin.

6.5.1 Betriebsspezifische Parameter

6.5.1.1 Stallbeleuchtung

Unter standardisierten Haltungsbedingungen schlug sich bei KÖHLER [2001] die Art der Stallbeleuchtung charakteristisch in der Biophotonenemission von Dottern nieder, sofern die Hennen kein Grünfutter bekamen. Letzteres schien den Einfluss der Beleuchtung zu überlagern. Je sonnenlichtähnlicher die Stallbeleuchtung war (Vollspektrum-Lampen oder Tageslichteinfall durch Fenster), desto höher fiel die Biophotonenemission der Dotter aus.

In vorliegender Arbeit bestätigen drei Beobachtungen, dass tageslichtähnliche Stallbeleuchtung *nicht allein* ausschlaggebend für hohe Dotter-qNL-Werte ist:

- Trotz Beleuchtung mittels *Glühbirnen* liefert der Bio-Betrieb 'öF4' sehr viel höhere Werte als die beiden Bio-Ställe 'öF2' und 'öF3', welche Vollspektrumlampen einsetzen.
- Obwohl in allen drei Ställen des konventionellen 'Standorts A' *Glühbirnen* bzw. *gewöhnliche Leuchtstoffröhren* verwendet werden, weisen deren Dotter für konventionelle Verhältnisse überdurchschnittlich hohe Intensitäten auf.
- Die beiden Bodenhaltungen 'B3' und 'B4' sind durch geographische Lage, Futter, Herkunft und Alter der Hennen gut vergleichbar. Obwohl Stall 'B4' *Tageslichteinfall* und *Wintergarten* aufzuweisen hat, liegen dessen Dotter-

qNL-Werte tendenziell sogar unter denjenigen von Stall 'B3', welcher über keine derartigen Verhältnisse verfügt.

Offensichtlich sind andere Haltungsbedingungen hier von größerer Bedeutung als die Lichtverhältnisse.

6.5.1.2 Auslauf

Freilandaufenthalt wirkt sich nach LAMBING [1992], MEIERHANS [1994] und KÖHLER [2001] durch Sonnenlichtexposition und Grünfutteraufnahme positiv auf die Biophotonenemission von Eidottern aus. Als Erklärung für die sehr hohen qNL-Werte in den ökologischen Ställen des LZ-Versuchs bietet sich also die starke Auslaufnutzung (mehr als 60% je Herde) dort an.

Auch die *starke Streuung* der qNL-Werte (je Stichprobe und im Jahresverlauf) spricht, wie bereits oben erwähnt, für den Einfluss des Auslaufs auf die Dotter-qNL-Werte. Dadurch, dass beispielsweise viel Niederschlag oder sehr trockenes Klima zu einer reduzierten Auslaufnutzung führen [HEGELUND et al. 2002], variieren Umweltreize, Futterquellen und Umgebungsbedingungen in Freilandhaltungen sehr viel häufiger und stärker als in geschlossenen Stallhaltungen.

Die qNL-Werte der Bio-Proben 'öF2' und 'öF3', welche trotz intensiver Auslaufnutzung sehr niedrig ausfielen, lassen vermuten, dass dort weitere Einflüsse den positiven Effekt des Freilandaufenthalts überdecken.

An den konventionellen 'Standorten A und B' hingegen scheint sich der positive Effekt des Freilandaufenthaltes tendenziell wieder zu bestätigen.

Eine Erklärung für die gegenüber Hallenhaltungen (Käfig-, Bodensysteme) nur geringfügig erhöhten qNL-Werte in konventioneller Freilandhaltung könnte sein, dass nur sehr wenige Tiere den Auslauf nutzen. Als Ursachen hierfür werden in der Literatur einerseits wenig strukturierte Auslaufflächen genannt, die den Hennen keine Unterschlupf- und Beschäftigungsmöglichkeiten bieten [HIRT 2004; KEPPLER et al. 2006]. Andererseits wurde mehrfach gezeigt, dass die Auslaufnutzung mit der Herdengröße abnimmt. Während bei Herden mit 50-500 Tieren Nutzungsraten von 30 bis knapp 80 % beobachtet wurden, waren es bei Herdengrößen von 1000-20000 Hennen nur 5 bis 22 % [HARLANDER-MATAUSCHEK et al. 2001; REICHARDT et al. 2004]. Neben der Herdengröße spielen hinsichtlich der Auslaufnutzung auch genetische Herkunft und Aufzuchtbedingungen der Legehennen eine Rolle.

6.5.1.3 Genetische Herkunft

Ein direkter Herkunftsvergleich ist nur im Fall des Bio-Stalls 'öF1' möglich, da dort ab Oktober 2006 Hennen zweier genetischer Herkünfte ('Tetra silver' und 'Tetra brown') in einer Herde gehalten wurden. Die gemessenen Dotter-qNL-Werte dieser braunen und hellbraunen Eier ergeben keinen Unterschied.

Insgesamt liegen die Biophotonenwerte konventioneller *braunschaliger* Proben ('K1','B1','kF1' am 'Standort A') jedoch einheitlich über denjenigen *weißschaliger* Eier ('K2','B2','kF2' am 'Standort B sowie 'B3' und 'B4').

KÖHLER [2001] fand beim Vergleich der Eier von Weiß- und Braunlegern zwar keine signifikanten Abweichungen, jedoch ebenfalls tendenziell höhere Werte bei Dottern braunschaliger Eier.

Die Frage nach dem genetischen Einfluss auf die Biophotonenemission ist an einer größeren Anzahl verschiedener Herkünfte zu klären.

6.5.1.4 Tieralter (Legemonat)

Zwischen Tieralter und Biophotonenemission lassen sich im Jahresverlauf keine aussagekräftigen Zusammenhänge erkennen. Zwar steigt der Dotter-qNL-Wert an einem von acht Standorten an (konventioneller 'Standort A', **Abbildung 22**); doch bestätigt sich dieser Trend in den restlichen (konventionellen und ökologischen) Ställen nicht. So führen Herdenwechsel auch zu keiner nennenswerten Abnahme der qNL-Werte; lediglich Messungen in den ersten Monaten nach Einstellung von Junghennen ergeben – vermutlich stressbedingt (Transport, neue Umgebung) – etwas niedrigere Werte. Die ansteigende Tendenz an 'Standort A' dürfte somit nicht auf den Legemonat, sondern eine unbekanntere andere standortabhängige Ursache zurückzuführen sein.

Um das Tieralter als nennenswerten Einflussfaktor ausschließen zu können, sind Untersuchungen mit mehreren synchronen Herdenwechseln unter Ausschluss weiterer Einflussfaktoren erforderlich.

6.5.1.5 Futter

Hinsichtlich der Futterzusammensetzung fällt auf, dass hohe qNL-Werte immer dann vorliegen, wenn die Tierherden Zugang zu:

- *Grünfutter* und *frischem Gemüse* (Bio-Ställe: 'öF1' und 'öF4')
oder
- *Grünmehl* (konventionelle Ställe am 'Standort A')

haben. Dass die niedrigen qNL-Werte der Bio-Ställe 'öF2' und 'öF3' von einer geringeren Grünfutteraufnahme herrühren, ist wage Vermutung. Bekannt ist lediglich, dass das Alleinfutter von 'öF3' kein Grünmehl enthielt. Außerdem waren die Herden mit 3000 Tieren um das 3- bzw. 23-fache größer als die Herden von 'öF1' und 'öF4', was sich über reduzierte Auslaufnutzung bzw. eine beeinträchtigte Grasnarbe auf die Grünfutteraufnahme ausgewirkt haben könnte.

Nach KÖHLER wirkt sich *frisches Gras* positiv auf die Biophotonenemission von Eidottern aus. Die aktuellen Ergebnisse lassen vermuten, dass *frisches Gemüse* diese Wirkung verstärkt, da in beiden anderen Bio-Betrieben ('öF2' und 'öF3') keines verfüttert wurde und die Dotterproben dort deutlich niedrigere Biophotonenwerte aufwiesen. Zudem legen die auffallend hohen Intensitäten der Proben von 'Standort A' nahe, dass auch *getrocknetes Grünfutter (Grünmehl)* die Emission von Biophotonen steigert. Zwar wurde der Einfluss von Grünmehl noch nicht explizit untersucht, doch wiesen bei KÖHLER [2001] Dotter von Hennen, die grünmehlhaltige Futtermittel erhielten, ebenfalls höhere Intensitäten auf.

Auch die Ergebnisse von FÖLSCH et al. [2004] sprechen dafür, dass sich die *Ausgewogenheit des Futters* bzw. Verfügbarkeit der Nährstoffe offenbar stärker auf die Biophotonenemission auswirkt als die *Prozessqualität* der Futtermittel. So führte ein ökologisches Alleinfutter mit noch 15% konventionellen Bestandteilen zu höheren Biophotonenintensitäten von Dottern als eine kombinierte Fütterung (Weizenkörner bzw. Weizenkeime mit Ergänzungsfutter) in 100%-iger Bio-Qualität.

Über den Wirkmechanismus des Futtereffekts bezüglich der Biophotonenintensität von Dottern ist bislang nichts bekannt. Denkbar ist einerseits eine allgemeine Steigerung des Gesundheitszustands der Hennen durch vitamin- und mineralstoffreiches *Frischfutter*. Andererseits könnte der positive Effekt von *getrocknetem* Grünfutter auf die Beteiligung bestimmter Inhaltsstoffe an der Biophotonenemission hinweisen.

6.5.2 Eiquantitätsparameter

6.5.2.1 Ei- und Dottergewicht

Der speziellen Transportverpackung wegen wurden nur Eier der Gewichtsklassen M und L untersucht. Zudem wurden nur Messungen von Dottern mit mindestens 12 g berücksichtigt, um von einer vollständigen Abdeckung des Photomultiplier-Messfensters ausgehen zu können.

Die Auswertungen ergaben, dass Massenunterschiede in dieser Größenordnung keine Rolle hinsichtlich Absorptionseffekten bzw. der Nachleuchtintensität haben.

6.5.2.2 Schalen- und Dotteranteil

Bei den Eiern aller drei Ställe von 'Standort B' sowie den Ställen 'B3' und 'B4' war der Dotteranteil höher als bei den übrigen Proben, was auf die genetische Herkunft (Weißleger) zurückzuführen ist [BAG 2004]. In Übereinstimmung mit KÖHLER ergaben sich ansonsten keine haltungsspezifischen Unterschiede oder Zusammenhänge hinsichtlich Dotter- bzw. Schalenanteilen und der Biophotonenemission der Dotter.

6.5.2.3 Frischeparameter

Bezüglich der Frische sind charakteristische Unterschiede zwischen den Betrieben festzustellen.

So fällt für die Bio-Ställe 'öF2' und 'öF3' die Eiquantität hinsichtlich 'Luftkammerhöhe', 'Eiklarhöhe' und 'Haugh Unit' am ungünstigsten aus. Die Eier des 'Standorts B' sowie der beiden Bodenhaltungen 'B3' und 'B4' zeichnen sich durch hohe Werte für Eiklarhöhe und Haugh Unit positiv aus, was ebenfalls genetisch bedingt sein dürfte (Weißleger, Aviforum [1999]).

Grundsätzlich führt die Lagerung von Eiern zu einer Verflüssigung des Eiklars – je nach Hennenalter und Lagerbedingungen unterschiedlich schnell. Der Anstieg des pH-Wertes, die dadurch bedingte Dissoziation der gel-bildenden Proteinkomplexe und die Verschiebung von Wasser und Inhaltsstoffen im Ei-Inneren bewirken Veränderungen in Dichte und Struktur des Dotters [ACKER und TERNES 1994b]. Insofern ist vorstellbar, dass sich unterschiedliche Ei-Frische durch veränderte Struktureigenschaften des Dotters in der Biophotonenemission widerspiegelt.

Anhand der vorliegenden Daten konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen den genannten Frischeparametern und der Höhe des qNL-Werts festgestellt werden.

Auch einem Lagereffekt dürfte aufgrund des nur wenige Tage betragenden Abstands zwischen Eiablage und Messung im LZ-Projekt kaum Bedeutung zukommen. Diese Annahme findet bei KÖHLER Bestätigung, die innerhalb einer dreiwöchigen Lagerdauer von Eiern keinen signifikanten Rückgang der Lichtspeicherfähigkeit von Dottern beobachten konnte.

6.5.2.4 Dotterfarbe und Carotinoide

Je nach Futterzusammensetzung, Einsatz von Farbstoffen (Carotinoiden) sowie Tageslichteinfall im Stallsystem [LAMBING 1992; KÖHLER 2001; ROTH 2003], können Dotter ganz unterschiedlich gefärbt sein. So waren auch im LZ-Projekt große Farbunterschiede zwischen den Probenherkünften feststellbar, wobei sich insbesondere die rötlichen konventionellen Dotter von den gelblichen ökologischen Dottern abhoben. Innerhalb der einzelnen Stichproben traten ebenso Schwankungen auf.

Es stellt sich die Frage nach einer Beziehung zwischen Dotterfarbe und qNL-Wert. Die stallweise Gegenüberstellung von qNL-Werten und Dotterfarbe (Juli-Stichproben) ergab in Einklang mit LAMBING [1992] und KÖHLER [2001] jedoch keinen Zusammenhang.

Zur Absicherung dieses Sachverhaltes wurden im Anschluss gleichfarbige Dotter aus unterschiedlichen Haltungsformen miteinander verglichen. Im Fall einer Farbabhängigkeit der Dotter-qNL-Werte müssten dann gleiche bzw. ähnliche Messwerte auftreten. Es zeigten sich jedoch sehr unterschiedliche Messwerte, so, wie sie für ökologische und konventionelle Eier charakteristisch sind.

Noch eine Beobachtung spricht gegen eine Farbabhängigkeit: auch vereinzelt aufgetretene kaum pigmentierte, weißliche Dotter wiesen qNL-Werte des Niveaus von intensiv gefärbten Dottern auf.

Ein Zusammenhang zwischen Dotterfarbe und Biophotonenemission (gelbe Dotter: 'Bio' → hoher qNL-Wert; roter Dotter: 'Konventionell' → niedriger qNL-Wert) scheint nach diesen Beobachtungen zwar ausgeschlossen. Dennoch sollte einer möglichen Bedeutung der Carotinoide hinsichtlich der Nachleuchtintensität weiter nachgegangen werden, zumal KÖHLER Korrelationen der Biophotonenemission mit Canthaxanthin und Lycopin fand. Außerdem ergab die Arbeit von HESTERBERG [2006] zur Differenzierung von Eiern aus konventioneller und ökologischer Erzeugung anhand von Carotinoidgehalten (β - Carotin, Lutein/ Zeaxanthin und Lycopin) interessante Parallelen zu den Biophotonenuntersuchungen von KÖHLER.

Sowohl die Biophotonenemission wie auch die Carotinoidgehalte:

- variieren im Jahresverlauf und sind im Winter tendenziell niedriger, wobei dies insbesondere die Biohaltungen betrifft,
- sinken in Zeiten mit hohem Niederschlag aufgrund des reduzierten Freilandaufenthalt der Hennen,
- sind geringfügig von der genetischen Herkunft der Tiere abhängig,
- steigen nach etwa 7 Tagen Grünfütterung an, bis nach gut einem Monat Sättigung eintritt.

Bemerkenswert ist jedoch, dass nach Absetzen des Grünfutters die Biophotonenwerte noch über fünf Monate erhöht blieben, während die Carotinoidgehalte sehr bald absanken.

Offensichtlich korrelieren also sowohl Carotinoidgehalt als auch Biophotonenemission mit der Aufnahme von Grünfutter, werden aber möglicherweise über unterschiedliche Mechanismen davon beeinflusst. Denkbar wäre zum Beispiel, dass Grünfutter als Carotinoidlieferant einerseits den Carotinoidgehalt im Dotter erhöht, andererseits die Darmflora und damit das Immunsystem der Tiere positiv beeinflusst und somit über den Gesundheitsstatus die Biophotonenemission erhöht.

6.5.2.5 Dotterauflagerungen

Es kann zwar kein *genereller* Zusammenhang zwischen Dotterauflagerungen und qNL-Wert festgestellt werden, doch wurden in einzelnen Fällen weiß bis braun gefärbte Strukturen auf der Dottermembran als Ursache für extrem erhöhte Biophotonenwerte erkannt.

Da Ei-Einschlüsse und Dotterauflagerungen nur pauschal erfasst werden konnten, ist unklar, ob Pigmentflecken, Keimscheiben, Fleisch- oder Blutflecken hierfür verantwortlich waren. Letztere kommen sehr häufig vor, sodass entsprechend auffällige Messwerte eigentlich weitaus öfter hätten auftreten müssen als dies tatsächlich beobachtet wurde.

Denkbar ist, dass die hohen qNL-Werte durch Porphyrinaggregate hervorgerufen wurden. Bedingt durch ihre chemische Struktur (vier Pyrrolringe) absorbieren Porphyrine stark im UV/VIS-Bereich und besitzen Lumineszenzeigenschaften. [JELLEN 2002; TENEA 2004; REINHART 2008]. Einige Studien weisen auf die Beteiligung von Porphyrinen an der Biophotonenemission hin [TUSZYŃSKI und DIXON 2001; BÓKKON 2009]. Im Ei entstammen diese entweder dem Abbau von Hämoglobin und sind damit in Fleischflecken zu finden. Andererseits können Granula mit Schalenporphyrinen durch Kontraktionen des Uterus im Ovidukt aufwärts befördert und dann im Ei eingelagert werden [GERKEN et al. 1994].

Möglicherweise handelte es sich bei den hier angesprochenen Flecken auch um Keimscheiben. Beim befruchteten Ei besteht das sogenannte Blastoderm bereits aus bis zu 60 000 Zellen [DREWS 2006]. So könnte der gegenüber einem unbefruchteten Ei deutlich erhöhte DNA-Gehalt und/oder der strukturierte Zellverband als solches für die hohe Lichtspeicherfähigkeit verantwortlich gewesen sein [BISCHOF 2001].

In den Arbeiten von LAMBING [1992], MEIERHANS [1994] und KÖHLER [2001] finden sich keine Berichte zum Einfluss von Dotterauflagerungen. Vermutlich trat dieses Phänomen bei den genannten Autoren nicht auf, da diese Dotter-Aliquote verwendeten, die mit einer Spritze aus der Dotterkugel entnommen wurden und folglich keine derartigen Auflagerungen enthielten.

6.5.2.6 Fettsäuregehalte und Oxidationsempfindlichkeit

Bezüglich der Lipidzusammensetzung weisen Dotterproben mit hohen qNL-Werten Gemeinsamkeiten auf. So unterscheiden sich sowohl die Bio-Dotter als auch alle Proben von 'Standort A' unübersehbar von den übrigen konventionellen Proben durch:

- tendenziell weniger gesättigte Fettsäuren (SAT)
und
- deutlich höhere Anteile mehrfach-ungesättigter Fettsäuren (PUFA).

Die Abhängigkeit des Fettsäuremusters im Dotter von der Zusammensetzung des Futterfetts ist bekannt [JEROCH et al. 2002; TREBUNOVÁ et al. 2007; LINDEN 2008]. Insbesondere der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren wie Linol- und Linolensäure spielt dabei eine wichtige Rolle, da Hühner (wie viele andere Wirbeltiere) nicht in der Lage sind, mehrfach ungesättigte Fettsäuren selbst zu bilden [ACKER und TERNES 1994a]. Demnach ist es wahrscheinlich, dass der hohe Gehalt an PUFA in den Dottern oben genannter Ställe die Folge von Grünfutteraufnahme ist. Nach GRUM [2005] beträgt beispielsweise der Linolensäureanteil in Gras das 4-fache, in Grünmehlpellets sogar mehr als das 5-fache des Anteils in Mischfutter (Getreide, Trockenschnitzel) – bezogen auf den Gesamtfettsäuregehalt.

Eine Beteiligung der Lipidperoxidation an lichtemittierenden Prozessen wird in der Literatur immer wieder diskutiert [MIYAZAWA et al. 1988; TILBURY 1992; BISCHOF 2001]. Die hohen qNL-Werte von 'Standort A' ließen sich in diesem Sinne mit der vergleichsweise hohen Oxidationsempfindlichkeit des Dotterfetts (hoher Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren und tendenziell mehr Oxidationsprodukte/TBARS) erklären. Allerdings ist nicht nachvollziehbar, weshalb die Bio-Proben 'öF1' und 'öF4' bei niedrigerer Oxidationsempfindlichkeit dennoch höhere Biophotonenwerte ergaben.

Gegen einen Kausalzusammenhang zwischen Fettsäurezusammensetzung und Biophotonenemission sprechen auch die Ergebnisse von KÖHLER [2001], die keine Korrelationen zwischen dem Gehalt einzelner Fettsäuren und den Biophotonenwerten fand. Möglicherweise handelt es sich bei Fettsäurezusammensetzung und Biophotonenemission um zwei voneinander unabhängige Konsequenzen der Grünfütterung.

Geprüft werden müsste diese Annahme anhand von Eiern, deren Gehalte an PUFA über andere Futtermittel wie etwa Fischöl, Leinsaat oder Raps erhöht wurden [GRUM 2005; SCHÖFTNER 2006; LINDEN 2008].

6.6 Biophotonen als Qualitätskriterium für Bio-Eier

Im letzten Teil der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, inwieweit sich die Biophotonenmethode als Kontrollverfahren in der Eiervermarktung eignet. Hierzu wird mithilfe der Diskriminanzanalyse die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der Eier aus ökologischer und konventioneller Haltung anhand des qNL-Werts unterschieden werden können.

6.6.1 Relevante Messgrößen

Im DB-Projekt werden Dotter-Stichproben vom Umfang $n=5$ betrachtet, im LZ-Projekt sowohl vom Umfang $n=5$ als auch $n=10$.

Als Unterscheidungskriterium (Merkmalsvariable) dient in der *univariaten* Diskriminanzanalyse (DA) der *Stichprobenmittelwert* des qNL-Werts (DB- und LZ-Projekt). In der *bivariaten* DA (LZ-Projekt) wird als zweite Merkmalsvariable die *Standardabweichung* hinzugenommen, da sich ökologische Dotter von konventionellen Proben nicht nur durch höhere Biophotonenintensität, sondern auch durch größere Streuung letzterer abheben.

Die Anzahl richtiger Klassifizierungen in die Kategorien 'Bio' und 'Konventionell' nahm im LZ-Projekt bei der *univariaten* DA mit der Verdopplung des Stichprobenumfangs leicht ab (um ca. vier Prozent). Dies könnte durch die Streuung der Messwerte und damit zufällig bedingt sein.

Unter Berücksichtigung der Standardabweichung in der *bivariaten* Auswertung erhöht sich die Trefferquote sowohl für 'Bio' als auch für 'Konventionell', weshalb davon ausgegangen wird, dass die Standardabweichung ebenfalls eine aussagekräftige Messgröße darstellt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Standardabweichung erst ab einem Stichprobenumfang von $n=10$ annähernd normalverteilt ist. Ob eine zusätzliche Erhöhung des Stichprobenumfangs weitere Vorteile bringt, ist noch zu untersuchen.

6.6.2 Klassifizierung von Stichproben

Insgesamt ergeben alle Datensätze (des DB- und LZ-Projekts, mit den Stichprobenumfängen: $n=5$ und $n=10$, in uni- bzw. bivariater DA) bei der Bewertung *einzelner* Stichproben Trefferquoten von mindestens 70 Prozent.

Dabei stützen sich beide Versuche (DB und LZ) auf völlig unterschiedlich strukturiertes Probenmaterial (95 verschiedene Proben im DB- und nur 12 verschiedene, mehrfach beprobte Ställe im LZ-Versuch). Außerdem wurden im DB- und LZ-Projekt zwei unterschiedliche Messanordnungen eingesetzt. Dass die Klassifizierungsergebnisse dennoch sehr ähnlich ausfallen, überrascht und spricht für die Robustheit der Methode.

In beiden Projekten werden konventionelle Dotter geringfügig besser erkannt als ökologische. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die qNL-Werte von Bio-Eiern sehr viel mehr Einflussfaktoren unterliegen als diejenigen von konventionellen Eiern und zudem stärker streuen.

Zudem ist nicht garantiert, dass die Bio-Eier stets vorgabenkonform produziert wurden, wie z.B. der jüngste Skandal um den Einsatz von konventionellem Futter im Bio-Geflügelbereich zeigt [GERSMANN 2009].

Somit ist leicht nachvollziehbar, dass konventionelle Stichproben mit etwas höherer Wahrscheinlichkeit richtig zugeordnet werden können als ökologische.

Interessanterweise werden anhand der Diskriminanzfunktion (erstellt aus den qNL-Werten ökologischer und konventioneller Eier) kleinbäuerlich erzeugte Eier (DB-Projekt) ebenfalls als 'Bio' eingestuft. Dies macht deutlich, dass hohe Biophotonenwerte mit extensiven Haltungsbedingungen einhergehen.

6.6.3 Klassifizierung der LZ-Versuchsställe

Zur Bewertung der *Versuchsställe* werden die Monats-qNL-Werte je Stall (Mai bis Dezember 2006, Stichprobenumfang je Stall: n=10 Dotter) klassifiziert.

Ein Stall wird derjenigen Produktionsform ('Bio', 'Konventionell') zugeordnet, deren Bewertung er mittels Diskriminanzanalyse mehrheitlich erhält.

Acht von zwölf Ställen lassen sich auf diese Weise korrekt beurteilen. Bei vier Probenherkünften versagt die Klassifizierungsmethode jedoch.

Es stellt sich die Frage nach den Ursachen für die abweichenden Messwerte der Käfig-, Boden- und Freiland-Eier des 'Standorts A' sowie der Bio-Eier von Stall 'öF2'.

Während für die auffallend hohen qNL-Werte aller Proben von 'Standort A' im vorangegangenen Kapitel bereits die Futterqualität diskutiert wurde, gibt es für das besonders niedrige Niveau des Bio-Stalls 'öF2' keine offensichtlichen Anhaltspunkte. Vorstellbar ist, dass die Haltungsbedingungen, wie Futterqualität und Beleuchtungsdauer im Stall, nicht optimal waren oder nur wenig Grünfutter aufgenommen wurde.

Am plausibelsten dürfte jedoch die Erklärung sein, dass der kritische Diskriminanzwert (= qNL-Schwellenwert zwischen 'Bio' und 'Konventionell') durch die untypisch hohen Werte von 'Standort A' so stark angehoben wird, dass diesem höheren Anspruch nicht mehr alle Bio-Proben genügen. Die Klassifizierungsergebnisse der einzelnen Monatsstichproben zeigen, dass dies insbesondere in den Herbst- und Wintermonaten der Fall ist, während derer – in Übereinstimmung mit KÖHLER – die qNL-Werte tendenziell niedriger ausfallen.

Wie die Differenzierung der Fehlklassifikationen nach den Haltungsformen (Käfig, Boden, Freiland) zeigt, besteht insbesondere die Gefahr, dass *konventionelle* Eier aus *Käfighaltung* nicht als solche erkannt werden. Die Ursache für die hohen Dotter-qNL-Werte in diesem Haltungssystem ist noch unbekannt. Eher nachvollziehbar dagegen ist, dass die Differenzierung zwischen ökologischen und konventionellen *Freilandproben* fehlschlägt, da die Haltungsbedingungen sehr ähnlich ausfallen können.

7 SCHLUSSBEMERKUNG

Im Hinblick auf die Zielsetzung dieser Arbeit, kann festgestellt werden:

- Für Eidotter stellt die *Nachleuchtintensität 'NL'* (= die Signalsumme über die letzten 40 Sekunden einer einminütigen Messung, nach 30 Sekunden dauernder optischer Anregung) eine geeignete **Messgröße** dar. Durch Normierung auf einen 'Leerwert' (hier: 'leere Küvette' bzw. 'leere Dunkelkammer' → 'qNL') können Empfindlichkeitsschwankungen des Messgerätes weitgehend ausgeglichen werden.
- Auch auf **Praxisebene** schlagen sich Haltungsbedingungen in der Biophotonenemission von Dottern nieder. Während sich Dotter aus konventioneller Haltung (Freiland, Boden, Käfig) im qNL-Wert untereinander nur geringfügig unterscheiden, weisen *Bio-Dotter* in der Regel *signifikant höhere Intensitäten* als konventionelle auf. Allerdings *streuen* die ökologischen qNL-Werte sowohl innerhalb einer Hennenherde, als auch zwischen verschiedenen Betrieben deutlich *stärker*. Dies erschwert zwar die Abgrenzung gegenüber konventionellen Proben, doch stellt die Standardabweichung auch ein zusätzliches Unterscheidungskriterium zwischen 'Bio' und 'Konventionell' dar.
- Der qNL-Wert von Dottern desselben Produktionsstandorts schwankt im **Jahresverlauf**, wobei die *Variationen* bei *Bio-Dottern weitaus stärker* ausfallen als bei konventionellen. Eine gerichtete Abhängigkeit von der Jahreszeit ist im Fall der hier untersuchten Ställe zwar nicht auszumachen. Dennoch fallen die Unterschiede zwischen 'Bio' und 'Konventionell' im Sommer tendenziell größer aus (siehe auch KÖHLER [2001]).
- Anhand des mittleren qNL-Werts von Dotter-Stichproben (und dessen Standardabweichung) lässt sich die Prozessqualität ('Bio', 'Konventionell') in beiden hier vorgestellten Projekten mit einer Wahrscheinlichkeit von gut 70 % ermitteln.

Die von KÖHLER [2001] gefundenen Zusammenhänge zwischen Grünfutteraufnahme, Auslaufverfügbarkeit bzw. Stallbeleuchtung und Biophotonenemission der Dotter können im LZ-Versuch weitgehend nachvollzogen werden. Da der Dotter-qNL-Wert von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, welche sich zudem überlagern können, sind einzelne Abhängigkeiten unter Praxisbedingungen allerdings schwer nachweisbar. Dennoch kristallisiert sich ein Hinweis heraus. Ein konventioneller LZ-Standort weist unerwartet hohe qNL-Werte und ein abweichendes Fettsäuremuster auf. Im Gegensatz zu den anderen konventionellen Ställen enthält das Futter dort – wie in den meisten Bio-Ställen – Grünmehl. So liegt nahe, dass der von KÖHLER gefundene positive Effekt von frischem Grasfutter auf die Lichtspeicherfähigkeit auch für getrocknetes Grünfutter gilt.

8 AUSBLICK

Anhand weiterer Versuche ist also die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren weiter zu klären und gegebenenfalls die Zuverlässigkeit des daraus ableitbaren Klassifizierungsverfahrens zu optimieren. Unter *standardisierten Haltungsbedingungen* sollte weiterhin untersucht werden, ob:

- Grünmehl tatsächlich eine Ursache für erhöhte Dotter-qNL-Werte ist; welchen Unterschied der Einsatz von Grünmehl und frischem Grünfutter ausmacht,
- sich konventionelle und ökologische Futtermittel *ohne* Grünmehl unter gleichen Haltungsbedingungen auf die qNL-Werte unterschiedlich auswirken,
- die Fettsäurezusammensetzung grünmehlfreier Rationen Einfluss auf die qNL-Werte hat,
- auch die Klassifizierung *einzelner* Eier möglich ist,
- der Abklingbereich der Nachleuchtkurve (nach Stabilisierung der Messbedingungen) ebenfalls reproduzierbar relevante Informationen liefert (vgl. KÖHLER [2001]).

Geprüft werden sollte auch, inwiefern sich folgende Aspekte auf die Trefferquote auswirken:

- größerer Stichprobenumfang,
- Verwendung gleicher Volumina von Dottergemischen (ohne Dotterhaut, analog zu KÖHLER, [2001]),
- das Einbeziehen weiterer Eiquantitätsmerkmale (Abrollspuren auf der Schale, Dotterfarbe bzw. Carotinoidgehalt u.a.).

Hinsichtlich der Messungen sind zu verbessern:

- die Eliminierung von Störsignalen (Peak in der Abklingkurve),
- die Messbedingungen (Abschirmung des Messgerätes von elektrischen Störquellen, Konstanthaltung klimatischer Einflüsse),
- die Standardisierung der Messdaten anhand einer stabilen Referenzprobe ('Standardstrahler' mit stabilem Spektrum).

Da bislang kein zufriedenstellendes Verfahren zur Differenzierung zwischen biologisch und konventionell erzeugten Eiern existiert, stellt die Biophotonenmethode sicherlich einen interessanten Ansatz dar. Vorstellbar ist beispielsweise der Einsatz als Screening-Verfahren. So könnten auffallend niedrige Dotter-qNL-Werte von Bio-Eiern Anlass für eine eingehende Prüfung des landwirtschaftl. Betriebes geben.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Gesteigertes Gesundheitsbewusstsein, ethische Ansprüche und Aspekte des Umweltschutzes wie auch der Wunsch nach qualitativ hochwertigen Produkten veranlassen immer mehr Menschen dazu, biologische Lebensmittel zu konsumieren. Das damit verbundene Wachstum der Bio-Branche erhöht den Bedarf, die Qualität dieser Produkte zu kontrollieren. Die Qualität von Bio-Erzeugnissen ist zwar gesetzlich geregelt, doch stellt die EG-Öko-Verordnung ausschließlich Anforderungen an die Produktionsweise und nicht an die Produktqualität als solche. Nachdem sich die Zusammensetzung von biologisch und konventionell erzeugten Produkten im Allgemeinen nicht oder lediglich marginal unterscheidet, reichen zum Nachweis der überlegenen Qualität von Bio-Lebensmitteln herkömmliche Methoden nicht aus. Im Gegensatz zur chemisch-analytischen Qualitätsbeurteilung, welche die Isolierung und Quantifizierung einzelner Inhaltsstoffe zum Ziel hat, bleibt die Probe bei alternativen Untersuchungsverfahren weitgehend intakt. Ganzheitliche Ansätze, wie die Biophotonenmessung nach F.A. Popp, ermöglichen eine komplexe Erfassung der inneren Struktur von Lebensmitteln. Sie erweitern den bestehenden quantitativ-analytischen Qualitätsbegriff um Merkmale, die auf dem 'organisierten Miteinander' der Produktkomponenten beruhen und – wie in Studien vielfach gezeigt werden konnte – von der Produktionsweise beeinflusst werden.

Die Biophotonenmethode beruht auf der Messung von ultraschwachen Lichtemissionen (Biophotonen), welche ständig von elektromagnetischen Feldern lebender biologischer Systeme abgegeben werden. Mithilfe hochempfindlicher Photomultiplier wird – nach gezielter kurzer Beleuchtung – die Biophotonenemission pflanzlicher oder tierischer Proben gemessen, und so deren Lichtspeicherfähigkeit untersucht. Da die Lichtemissionen offensichtlich an Lebensvorgänge gekoppelt sind, lassen sich daraus Rückschlüsse auf die Vitalität organischer Gewebe ziehen.

KÖHLER zeigte 2001, dass sich Dotter von Hühnereiern aus verschiedenen Haltungsformen in ihrer Biophotonenemission unterscheiden. Tendenziell nimmt in der Reihenfolge Käfig-, Boden-, Freiland- und Bio-Haltung die Lichtspeicherfähigkeit der Dotter zu. Unter *standardisierten Versuchsbedingungen* wies KÖHLER den positiven Einfluss von Sonnenlichtexposition der Hennen, tageslichtähnlicher Stallbeleuchtung und Grünfüttergaben auf die Biophotonenemission von Dottern nach. Außerdem fand sie eine positive Korrelation zwischen der Tiergesundheit und der Lichtspeicherfähigkeit der Dotter.

In der vorliegenden Studie wurde nun auf *Praxisebene* (d.h. unter nicht-standar- disierten Bedingungen) untersucht, ob die Biophotonenemission als Prüfkriterium für Bio-Eier geeignet ist. Von Juli 2005 bis November 2006 wurde eine **Datenbank** mit handelsüblichen Konsumeiern aus verschiedenen Produktionsformen (ca. 900 Eier aus Käfig-, Boden-, Freiland- und Bio-Haltung sowie aus kleinbäuerlicher Erzeugung) erstellt. Auf diese Weise sollte zunächst geklärt werden, wie groß die *Unterschiede* der Biophotonenemissionen von Dottern auf Praxisebene sind. Ein zweites Projekt, eine **Langzeitbeobachtung**, diente zur Überprüfung der *Stabilität* von Biophotonenwerten eines Produktionsbetriebes im jahreszeitlichen Verlauf. Ein Jahr lang (von Mai 2006 bis April 2007) wurden monatlich Eierproben von 12 Legehennenställen mittels Biophotonenmethode untersucht (2 Käfig-, 4 Boden-, 2 Freiland-, 4 Bio-Haltungssysteme, insgesamt über 2300 Eier). Ferner wurden klassische Eiquantitätsmerkmale (wie Eigewicht, Bruchfestigkeit der Schale, Eiklar- höhe, Dotterfarbe und -anteil, Fettsäuremuster und Oxidationsneigung) bestimmt und Informationen zu Tieralter, Herdengröße, Art der Stallbeleuchtung, Futter- zusammensetzung und Klimaeinflüssen eingeholt. Der Vergleich dieser zusätzlichen Daten mit den Biophotonenwerten sollte weiter Aufschluss über Herkunft und Bedeutung der Biophotonenemission bei Eidottern geben.

In dieser Arbeit wurde als Biophotonenparameter die 'Nachleuchtintensität' der Eidotter nach optischer Anregung über 30 Sekunden ausgewertet. Sie berechnet sich aus der Summe der Signale in den letzten 40 Sekunden einer ein-minütigen Messung. Eine Schwierigkeit stellte zunächst die Kalibrierung des Messsystems dar. Empfindlichkeitsschwankungen konnten jedoch über die Normierung mit einem Referenzwert (leere Messküvette oder leere Dunkelkammer des Photomultipliers) weitgehend ausgeglichen werden.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von KÖHLER [2001] wiesen Dotter aus verschiedenen Haltungsformen unterschiedliche Emissionsniveaus auf. Während sich Dotter der konventioneller Haltungsformen ('Käfig', 'Boden' und 'Freiland') bezüglich der Nachleuchtintensität nur geringfügig unterschieden, hoben sich die Bio-Dotter wie auch diejenigen aus kleinbäuerlicher Haltung in der Regel sehr deutlich durch höhere Messwerte ab.

Die langfristige Untersuchung von Dottern ausgewählter Produktionsbetriebe ergab im Jahresverlauf beachtliche Schwankungen. In den Wintermonaten verringerte sich der Intensitätsunterschied von Dottern aus biologischer und konventioneller Erzeugung. Eindeutige Ursachen hierfür waren im Rahmen dieser Arbeit nicht auszumachen. Dasselbe gilt für den Vergleich von Biophotonenwerten mit klassi- schen Eiquantitätsmerkmalen.

Auffällig war jedoch, dass Dotterproben, welche hohe Biophotonenwerte lieferten, vergleichsweise geringe Gehalte an gesättigten, und hohe Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren aufwiesen. Entsprechende Proben stammten von Betrieben, in denen bewachsene Ausläufe angeboten und/oder Salat, Gemüse bzw. Grünmehl verfüttert wurde. Die Gabe von Grünfutter führt nachweislich zu einer Steigerung der Biophotonenemission [KÖHLER 2001], beeinflusst aber gleichzeitig auch das Fettsäuremuster der Eier. Um einen Kausalzusammenhang zwischen Fettsäurezusammensetzung und Biophotonenemission zu beweisen, müssen in weiteren Untersuchungen die potentiellen Einflussfaktoren Grünfutter und Fettsäurezusammensetzung des Futters noch differenziert betrachtet werden.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war, zu überprüfen, ob sich die Biophotonenmethode zum Nachweis von Bio-Qualität bei Eiern eignet. Mittels Diskriminanzanalyse wurde eine Klassifizierung der Eierstichproben in die Kategorien 'Bio' und 'Konventionell' vorgenommen. Dabei ergaben sich sowohl im Datenbank- als auch im Langzeitprojekt Trefferquoten von gut 70 %.

Angesichts dessen, dass zur Differenzierung von Eiern aus biologischer und konventioneller Produktion bislang noch kein Prüfsystem zur Verfügung steht, ist dieses Ergebnis sehr interessant. Zudem dürfte sich die Genauigkeit durch Optimierungen in Technik und Methodik der Messung erhöhen lassen. Vorstellbar wäre ein Einsatz der Biophotonenmethode als Screening-Verfahren auf dem Eiermarkt. Auffallend niedrige Biophotonenwerte könnten Anlass sein, die betrieblichen Voraussetzungen zu kontrollieren und mit den Vorgaben des entsprechenden Haltungssystems zu vergleichen.

10 SUMMARY

Organic farming lives up to increasing consumer expectations: The process of organic food production is characterized by social compatibility, environmental protection and species-appropriate husbandry systems. Organic food also comes along with superior quality. Nevertheless consumer confidence depends on quality control mechanisms. EU regulations for both organic food and farming assess food quality only with regard to the production *process*. However, the regulations do not include *food properties*. Conventional quality criteria are based on assay of individual chemical compounds, which depend much more on local conditions, climate and breed than on the production method. Alternatives need to be found to distinguish between organic and conventional food. Complementary approaches look at biological systems as a whole and focus on the inner structure of products from living organisms. In order to examine the interactive, hierarchically organized network of biological systems, holistic methods of quality assessment minimize the fragmentation process. As shown in many studies, holistic criteria reflect differences in the 'inner quality' of food, which is affected by the production method.

F.A. POPP has rediscovered long forgotten ultra weak light emissions that are presumed to originate from electromagnetic fields in living organisms; he chose the term 'biophotons'. Biophotons can be detected by highly sensitive photomultipliers as 'spontaneous emission' or as 'delayed luminescence' after illumination of the sample. Associated with living processes, the radiation reflects the state of the living tissue.

In 2001 KÖHLER showed that egg yolks emit varying biophoton intensities depending on the husbandry system. Light emission increased from 'cage', 'deep litter', 'free range' to 'organic' systems. Using *standardized test conditions* KÖHLER found that exposition to sunlight or to lighting that was similar to daylight, as well as feeding of green stuff, enhanced biophoton emission of yolks. Animal health and biophoton intensity also correlated positively.

In contrast to KÖHLER the present investigation has been carried out under *conditions of commercial egg production* to discover whether biophoton emission is a suitable quality criterion for organic eggs. From July 2005 to November 2006, about 900 eggs have been collected in food stores and on farms. The biophoton intensity of each egg was determined and entered into a **database** according to its way of production (cage, deep litter, free-range, organic or from smallholders). The aim of this examination was to determine the *differences* in light emission of eggs

originating from various production systems without standardized husbandry conditions. As a second project, a **long-term observation** has been conducted to see whether biophoton values of eggs remain *stable* over time. During the course of one year, biophoton emission has been measured each month. From May 2006 to April 2007 samples have been taken from twelve hen houses with different husbandry systems: two houses with cage system, four with deep litter, two houses with free-range system and four organic farms – adding up to more than 2,300 eggs. In addition to the measurement of biophoton emissions, conventional egg quality criteria have also been determined: egg mass, breaking strength of egg shell, albumen height, yolk color, proportion of yolk, fatty acid profile and lipid oxidation. Farmers have also been interviewed about the age of their hens, flock size, lighting conditions and feed composition. Climatic conditions have been researched on the internet. It was expected that comparison of all collected data would give information on the origin and meaning of biophoton emission of egg yolks.

In the present studies yolks were exposed to white light for 30 seconds. Delayed luminescence was detected for the duration of 60 seconds. The biophoton parameter used has been defined as the sum of light emission during the last 40 seconds of the measurement. Empty cuvettes have been measured as reference over the course of the whole studies. Fluctuating values could largely be balanced by scaling with the blank value (empty dark chamber of the photomultiplier).

According to KÖHLER's results [2001], egg yolks from different animal husbandry systems differed in biophoton emissions. However, while conventionally produced egg yolks (cage, deep litter, free-range) showed only minor differences, organic eggs as well as eggs from smallholders were characterized by clearly higher intensities.

The long-term observation of yolks from 12 selected hen houses revealed great fluctuation of biophoton emissions over the course of the year. Distinct reasons for this observation could not be identified. Relations between light-emission and conventional quality criteria of eggs were not found.

Nevertheless, it was remarkable that yolk samples with low contents of saturated fatty acids and high contents of polyunsaturated fatty acids showed the highest biophoton intensities. These samples originated from farms that offer both a green free range and feed including vegetables or dried grass. As KÖHLER had shown, feeding green stuff leads to higher light emissions of yolks and also influences the

profile of fatty acids. Further examinations will be necessary to clarify the causality between fatty acid composition of the yolk and its biophoton emission. The examinations will need to focus on the single effects of the potential factors 'green stuff' and 'fatty acid composition'.

Another target of the described projects was to test the suitability of biophoton measurement for verifying the organic origin of eggs. In two discriminant analyses egg samples of both studies were assigned to the categories 'organic' or 'conventional' according to their emission values. The hit ratio was about 70 %.

The present results are interesting considering the lack of techniques to distinguish between organically and conventionally produced eggs up to now. Optimization of measuring technique and procedure may improve the capability of the method. In any case, biophoton measurement could certainly be used as a screening method. Detection of extremely low values would suggest a check of management conditions at the relevant farm, followed by comparison with standards for the respective animal husbandry system.

11 LITERATURVERZEICHNIS

ACHILLES, W. 2002:

Legehennen in Bodenhaltung: Schlussfolgerungen und Fazit. In: BMVEL, „Tiergerechte und umweltverträgliche Legehennenhaltung“. KTBL-Schrift 399: 149-159.

ACKER, L., TERNES, W. 1994a:

Chemische Zusammensetzung des Eies.

In: W. TERNES, L. ACKER, S. SCHOLTYSSSEK (Hrsg.), „Ei und Eiprodukte“.
Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1994: 90-196.

ACKER, L., TERNES, W. 1994b:

Physikalisch-chemische Eigenschaftsveränderungen bei der Alterung von Hühnereiern.

In: W. TERNES, L. ACKER, S. SCHOLTYSSSEK (Hrsg.), „Ei und Eiprodukte“.
Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1994: 322-328.

ALFÖLDI, T., BICKEL, R., WEIBEL, F. 2001:

Vergleichende Qualitätsforschung: Neue Ansätze und Impulse täten gut.
Ökologie & Landbau, 117(1): 11-13.

Aviforum (Zollikofen) 1999:

Züchtung und Leistungsmerkmale der Hybridtiere.
Merkblätter Geflügelhaltung, 1999: 5-6.

Aviforum (Zollikofen) 2006:

Eiqualitätsuntersuchungen in Zusammenarbeit mit der Hochschule Wädenswil.
Jahresbericht, 2006: 13-14.

BAARS, T., ADRIAANSE, R., HUBER, M., WOHLERS, J. 2005:

Milchqualität und menschliche Gesundheit: Gibt es Unterschiede in der Erzeugung?
Lebendige Erde, 6/2005: 42-45.

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. 2006:

Multivariate Analysenmethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung.
Verlag Springer, Berlin / Heidelberg / New York, 2006, 11. Auflage.

BAG 2004:

Schweizer Lebensmittelbuch, Kapitel 21: Eier und Eiprodukte.
BAG (Bundesamt für Gesundheit), Bern, 2004.

BALZER, D., STAUFF, J. 1970:

Die langdauernde Lumineszenz von Kieselsäure und Aluminiumoxidhydrat
als Gel und als Sol. Kolloid-Zeitschrift & Zeitschrift für Polymere, 240: 852-865.

BALZER-GRAF, U.R., BALZER, F.M. 1988:

Steigbild und Kupferchloridkristallisation - Spiegel der Vitalaktivität von Lebensmitteln.

In: A. MEIER-PLOEGER, H. VOGTMANN (Hrsg.), „Lebensmittelqualität – Ganzheitliche
Methoden und Konzepte“. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1988: 163-210.

BARANEK, E. 2006:

Zielgruppenspezifische Verbrauchererwartungen an ökologische Produkte und Dienstleistungen. BMBF-Kongress: „Impulse für Landwirtschaft und Ernährung – Ergebnisse der sozial-ökologischen Forschung.“ Berlin, 18.1.2006.

- BARBOSA FILHO, J.A.D., SILVA, M.A.N., SILVA, I.J.O., COELHO, A.A.D. 2006:**
Egg quality in layers housed in different production systems and submitted to two environmental conditions. Brazilian Journal of Poultry Science, 8(1): 23-28.
- BATEMAN, J.B. 1934:**
Mitogenetic radiation and bioluminescence.
Nature, 133 (June 9, 1934): 860-860.
- BAUER, T., FÖLSCH, D. 2005:**
Reproduktions- und Eiablageverhalten. In: G. MARTIN, H.H. SAMBRAUS, A. STEIGER (Hrsg.), „Das Wohlergehen von Legehennen in Europa – Berichte, Analysen und Schlussfolgerungen.“ Reihe Tierhaltung (Univ. Kassel), 28: 62-97.
- BAUMANN, W. 2006:**
Ein Stall für die Hühner – nicht umgekehrt: Stallbauliche Aspekte in alternativen Legehennenhaltungen. In: U. KNIERIM, L. SCHRADER, A. STEIGER (Hrsg.), „Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Erfahrungen, Probleme, Lösungsansätze.“
FAL Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 5.-6.Oktober 2006: 45-54.
- BDE 2009:**
Die Henne und die Haltungsformen. Bundesverband Deutsches Ei e.V., Berlin.
Unter: <http://www.deutsche-legehennen.de/33.0.html>, Zugriff am 31. März 2009.
- BdW 1973:**
Photonen – Sprache der Zellen? Bild der Wissenschaft, 10(6): 2-3.
- BECK, M.M. 2009:**
Sonderrolle Deutschlands. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn.
Unter: <http://zmp.de>, Zugriff am 6. April 2009.
- BERGFELD, U. 2004:**
Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen.
Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8-9/2004.
- BESSEI, W. 2001:**
Alternative Haltungsformen: Freilandhaltung wächst weiter.
DGS-Magazin, 31/2001: 17-23.
- BESSEI, W. 2008:**
Legehennenhaltung.
In: Zentralverband der deutschen Geflügelwirtschaft e.V., „Geflügeljahrbuch 2009“.
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2008: 124-129.
- BIESKE, K., FISCH, J., GALL, D. 2000:**
Messung ultraschwacher Photonenströme.
In: „LICHT 2000“, Goslar, 20.-22. September 2000, Tagungsband: 317-324.
- Bioland 2008:**
Bioland-Richtlinien: Pflanzenbau, Tierhaltung, Verarbeitung.
Verband für organisch-biologischen Landbau e.V., Mainz, 25. November 2008.
- BISCHOF, M. 2001:**
Biophotonen: Das Licht in unseren Zellen.
Verlag Zweitausendeins, Frankfurt a.M., 2001, 11. Auflage.

BLE 2009:

Geflügelhaltung – Legehennen. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Bonn.

Unter: <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/tierhaltung/gefluegelhaltung/>
Zugriff am 28. April 2009.

BLOKHUIS, H.J., FIKS VAN NIEKERK, T., BESSEI, W., ELSON, A., GUÉMÉNÉ, D., KJAER, J.B., LEVRINO, G.A.M., NICOL, C.J., TAUSON, R., WEEKS, C.A., VAN DE WEERD, H.A. 2007:

The LayWel project: welfare implications of changes in production systems for laying hens. World's Poultry Science Journal, 63: 101-114.

BLOKSMA, J. 2004:

Innere Qualität: Entwurf eines neuen Qualitätsbegriffes, Parameter der Apfelqualität zwischen Wachstum, Differenzierung, Integration. Lebendige Erde, 2/2004: 42-47.

BMELV 2006a:

Merkblatt zur Eierkennzeichnung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn/ Berlin. Unter: www.bmelv.de. Zugriff am 11. Januar 2006.

BMELV 2009:

Ökologischer Landbau in Deutschland, Stand: Februar 2009.

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn/ Berlin.

Unter: www.bmelv.de. Zugriff am 11. März 2009.

BÓKKON, I. 2009:

Homeotherm state, explicit memory, and intrinsic pictures by regulated biophotons in the brain. Chapter draft 1 für: D. CVETKOVIC, I. COSI (Eds.) Verlag Springer.

Unter: http://5mp.eu/fajlok/bokkon-brain-imagery/bokkon_2009_book_chapter_draft_1_www.5mp.eu_.doc

Zugriff am 18. Mai 2009.

BÖLW 2007:

Nachgefragt: 25 Antworten zum Stand des Wissens rund um Öko-Landbau und Bio-Lebensmittel. Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V.

Berlin, 2007, 2. überarbeitete Auflage.

BÖLW 2009:

Zahlen, Daten, Fakten: Die Bio-Branche 2009. Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V., Berlin, 2009. Unter: www.boelw.de, Zugriff am 6. April 2009.

BONER, M. 2003:

Herkunftsbestimmung von Bioeiern und deren mögliche Differenzierung von konventionellen Eiern mit Hilfe der stabilen Isotope der Bioelemente.

Agroisolab GmbH, Jülich, 2003. Unter: <http://orgprints.org/5947/>

BÖTTCHER, W. 2008:

Markt im Umbruch. In: R. GOESSLER (Hrsg.), Jahresbericht 2008/2009:

“Rückblick und Vorschau auf die Agrarmärkte.”

ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn, 2008: 17.

BÖTTCHER, W., BECK, M.M., BILSING, M., SCHMIDT, U. (Hrsg.) 2008:

ZMP-Marktbilanz Eier und Geflügel.

ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn, 2008.

BRADE, W. 2000:

Eiqualität und Kaufverhalten der Verbraucher.

Berichte über Landwirtschaft, 78(3): 564-593.

BRANDT, K., LEIFERT, C. 2005:

Which aspects of health are likely to be affected by our choice of food quality, such as organic food, and how can we investigate this question?

In: "Ökologiskt lantbruk konferens", Sammanfattningar av föredrag och postrar, SLU, Centrum för uthålligt lantbruk, Ultuna, Uppsala, 22-23 november 2005: 240-243.

BUCHHOLTZ, C. 2005:

Sozialverhalten beim Haushuhn. In: G. MARTIN, H.H. SAMBRAUS, A. STEIGER (Hrsg.), „Das Wohlergehen von Legehennen in Europa – Berichte, Analysen und Schlussfolgerungen“. Reihe Tierhaltung (Univ. Kassel), 28: 28-33.

BÜNNAGEL, G. 1992:

Untersuchungen der sensorischen Qualität und diskriminanzanalytische Trennung von biologisch-dynamisch und konventionell angebauten Gemüsen (Versuchsanbau und Handelsproben). Diss., Univ. Bonn, 1992.

BURTSCHER, H. 2007:

Sind Bio-Obst und -Gemüse gesünder? In: "3. Fachtagung für biologische Landwirtschaft: Qualitätsaspekte für Heute und Morgen." Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 14. März 2007: 1-2.

BVL 2009:

Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Braunschweig, April 2009. Unter: www.bvl.bund.de/infopsm

COLLI, L., FACCHINI, U., GUIDOTTI, G., DUGNANI LONATI, R., ORSENIGO, M., SOMMARIVA, O. 1955:

Further measurements on the bioluminescence of the seedlings. Cellular and Molecular Life Sciences, 11(12): 479-481.

COOK, F., BRIGGS, G.M. 1977:

Nutritive Value of Eggs.

In: W.J. STADELMAN, O.J. COTTERILL (Eds.), "Egg Science and Technology." AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut, 1977, 2nd Edition: 92-108.

COSTANZO, E., GULINO, M., LANZANÒ, L., MUSUMECI, F., SCORDINO, A., TUDISCO, S., SUI, L. 2008:

Single seed viability checked by delayed luminescence. European Biophysics Journal, 37(2): 235-238.

CROUCHER, J.S. 1988:

The distribution of sample standard deviations.

International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 19(1): 125-127.

CVUA Freiburg 2006:

Statusbericht zu Dioxinen in Eiern.

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg, Stand: 5. April 2006.

CVUA Münster 2005:

Jahresbericht. Chemisches Landes- und Staatliches Veterinäruntersuchungsamt, Münster, 2005.

CVUA Stuttgart 2006:

Ökomonitoring. Die Chemischen und Veterinäruntersuchungsämter in Baden-Württemberg, Stuttgart, 2006.

CVUA Stuttgart 2007:

Ökomonitoring.

Die Chemischen und Veterinäruntersuchungsämter in Baden-Württemberg, Stuttgart, 2007.

DANIEL, M., BALNAVE, D. 1981:

Responses of laying hens to gradual and abrupt increases in ambient temperature and humidity.

Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 21(109): 189-195.

DBV / ZDG 2006:

Sachstandsbericht zur Haltung von Legehennen.

Bundesverband Deutsches Ei e.V., Berlin, 2006.

DE REU, K., GRIJSPEERDT, K., HEYNDRICKX, M., ZOONS, J., DE BAERE, K., UYTENDAELE, M., DEBEVERE, J., HERMAN, L. 2005:

Bacterial eggshell contamination in conventional cages, furnished cages and aviary housing systems for laying hens.

British Poultry Science, 46(2): 149-155.

DE VRIES, M., KWAKKEL, R.P., KIJLSTRA, A. 2006:

Dioxins in Organic Eggs: a Review.

Wageningen Journal of Life Sciences, 54(2): 207-222.

Demeter 2008a:

Richtlinien für die Zertifizierung der Demeter-Qualität (Erzeugung), IV.2 Viehwirtschaft.

Demeter e.V., Nov. 2008.

Demeter 2008b:

Weisungen zu den Demeter-Richtlinien Erzeugung, VII.2.I Weisungen für die

Geflügelhaltung. Demeter e.V., Nov. 2008.

DREWS, U. 2006:

Taschenatlas Embryologie.

Thieme Verlag, Stuttgart, 2006, 2., unveränderte Auflage.

DRINOVEC, L., ZRIMEC, A., BERDEN ZRIMEC, M. 2003:

Delayed luminescence of chlorophyll: detection and application.

In: M. BERDEN ZRIMEC, D. DROBNE, M. MILANI, A. ZRIMEC (Eds.), "International workshop: Weak photon emission from living tissues - origin, detection and application." Ljubljana, Slovenia, April 25-26 2003: 61-64.

DWEHUS, J.J. 2005:

Bioprodukte oder konventionelle Erzeugnisse - Was will der Verbraucher?

In: "Konventionelle – Ökologische Lebensmittel: ein Vergleich." Werkstattbericht 11 der Heinrich-Stockmeyer-Stiftung. Osnabrück, 20. Oktober 2005: 4-14.

ECKHOF, W. 2008:

Bau- und umweltrechtliche Aspekte der Geflügelhaltung.

In: Zentralverband der deutschen Geflügelwirtschaft e.V., "Geflügeljahrbuch 2009". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2008: 252-261.

EFSA 2004:

The welfare aspects of various systems of keeping laying hens.

The EFSA Journal (2004), 197: 1-23.

EU-Legehennen-Richtlinie (1999/74/EG):

Richtlinie zur Festlegung von Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen.
 ABl. Nr. L 203, S. 53, 3. August 1999.

FEHLHABER, K. 1994:

Mikrobiologie von Eiern und Eiprodukten.
 In: W. TERNES, L. ACKER, S. SCHOLTYSSSEK. (Hrsg.), „Ei und Eiprodukte“.
 Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1994: 274-311.

FEHLHABER, K. 2004:

Studie zur Qualität ökologisch erzeugter Lebensmittel unter besonderer
 Berücksichtigung des gesundheitlichen Verbraucherschutzes.
 Univ. Leipzig, Institut für Lebensmittelhygiene, 2004, Unter: <http://orgprints.org/10464/>

FLECK, M., HAGEL, I., MEIER-PLOEGER, A. 1998:

Lagerfähigkeit und Inhaltsstoffe von Möhren aus der biologisch-dynamischen und
 konventionellen Praxis. In: „XXXIII. Vortragstagung, Deutsche Gesellschaft für
 Qualitätsforschung“. Dresden, 1998: 217-222.

FÖLSCH, D.W., HOFFMANN, R. 1999:

Grundsätze artgemäßer Hühneraufstallung. In: D.W. FÖLSCH, R. HOFFMANN (Hrsg.),
 „Artgemäße Hühnerhaltung: Grundlagen und Beispiele aus der Praxis.“
 Stiftung Ökologie & Landbau, Bad Dürkheim, 1999, 4. Auflage: 43-48.

FÖLSCH, D.W., KNIERIM, U., STAACK, M. 2004:

Einsatz von gekeimtem Getreide in der Geflügelfütterung.
 Univ. Kassel, Fachgebiet Nutztierethologie und Tierhaltung, 2004.
 Unter: <http://www.orgprints.org/6379/>

FRÖHLICH, E.K.F. 2005:

Lokomotion des Huhnes. In: G. MARTIN, H.H. SAMBRAUS, A. STEIGER (Hrsg.),
 „Das Wohlergehen von Legehennen in Europa – Berichte, Analysen und
 Schlussfolgerungen“.
 Reihe Tierhaltung (Univ. Kassel), 28: 98-103.

GALLE, M. 1992:

Population density-dependence of biophoton emission from Daphnia.
 In: F.A. POPP, K.H. LI, Q. GU (Eds.), „Recent Advances in Biophoton Research and its
 Applications“.
 World Scientific, Singapore / New Jersey / London / Hong Kong: 345-355.

GdHM 2008:

Witterung in Deutschland (Mai 2006 bis April 2007). Gemeinschaft der Hobby-
 Meteorologen. Unter: <http://www.gdhm.de>, Zugriff am 7. April, 2008.

GERKEN, M., KRAMPITZ, G., PETERSEN, J. 1994:

Morphologischer Aufbau des Eies. In: W. TERNES, L. ACKER, S. SCHOLTYSSSEK
 (Hrsg.), „Ei und Eiprodukte“. Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1994: 50-81.

GERSMANN, H. 2009:

Für Bio verkauft – Ökozertifikat gefälscht. Taz, 30.01.2009.
 Unter: <http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/bioschwindel-sorgt-fuer-luecken-im-oekoregal/>

GIANNENAS, I., NISIANAKIS, P., GAVRIIL, A., KONTOPIDIS, G., KYRIAZAKIS, I. 2009:

Trace mineral content of conventional, organic and courtyard eggs analysed by
 inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).
 Food Chemistry, 114(2): 706-711.

GOLZE, M. 2003:

Sind Leistungen und artgerechte Haltung beim Geflügel gegensätzlich – ein Überblick.
In: „Infodienst 07/03 für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung“.
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freistaat Sachsen, 2003: 68-78.

GRASHORN, M.A. 2008:

Faustzahlen zur Eiqualität. In: Zentralverband der deutschen Geflügelwirtschaft e.V.,
“Geflügeljahrbuch 2009”. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2008: 229-243.

GRASHORN, M., GRIMRATH, J. 2005:

Unterscheidet sich die Qualität von Bio- und Käfigeiern?
DGS-Magazin, 26/2005: 18-25.

GRASHORN, M.A., KUHN, R., VOLK, F. 2006:

Geflügel – Das Fotobuch für die Praxis.
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2006.

GROOT KOERKAMP, P.W.G., KIJLSTRA, A. 2008:

Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Ein Lagerbericht aus den Niederlanden.
Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung, 1/2008: 20-25.

GRUM, C. 2005:

Fettsäuren in tierischen Geweben – ihre physiologische und pathologische Bedeutung
Literaturrecherche und Katalogisierung unter spezieller Berücksichtigung von
freilebenden und in Gefangenschaft gehaltenen Wildtieren. Diss., Univ. Zürich, 2005.

GURWITSCH, A.A., EREMEYEV, V.F., KARABCHIEVSKY, Y.A. 1965:

Ultra-weak emission in the visible and ultra-violet regions in oxidation of solutions of
glycine by hydrogen peroxide.
Nature, 206 (April 3, 1965): 20-22.

GURWITSCH, A.G. 1922:

Über den Begriff des Embryonalen Feldes.
Development Genes and Evolution, 51(1): 383-415.

GURWITSCH, A.G. 1929:

Über den derzeitigen Stand des Problems der mitogenetischen Strahlung.
Protoplasma, 6(1): 449-493.

GURWITSCH, A.G. 1933:

Die mitogenetische Strahlung des markhaltigen Nerven.
Pflügers Archiv European Journal of Physiology, 231(1): 234-237.

Hamamatsu 2007:

Photomultiplier Tubes: Basics and Applications.
Hamamatsu Photonics K.K., 2007, 3rd Edition.

HAMSCHER, G. 2005:

Rückstände und Kontaminanten in konventionell und ökologisch erzeugten
Lebensmitteln:
Gibt es produktionsbedingte Unterschiede? In: “Konventionelle – Ökologische
Lebensmittel: ein Vergleich.” Werkstattbericht 11 der Heinrich-Stockmeyer-Stiftung.
Osnabrück, 20. Oktober 2005: 29-43.

HARLANDER-MATAUSCHEK, A., FELSENSTEIN, K., NIEBUHR, K., TROXLER, J. 2001:

The effect of group size on locomotion of laying hens in outdoor runs.
In: H. OESTER, C. WYSS (Eds.), "6th European Symposium on Poultry Welfare".
Science Association (WPSA), Zollikofen (CH), 1.-4. September 2001: 330-331.

HEGELUND, L., KJAER, J., KRISTENSEN, I.S., SOERENSEN, J.T. 2002:

Use of the outdoor area by hens in commercial organic egg production systems.
Effects of climatic factors and cover.
Archiv für Geflügelkunde, 66(Sonderheft II): 141-142.

HERNÁNDEZ, J.M. 2005:

European consumer surveys about egg quality: how to improve the nutritional value.
In: "XIth European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products".
Doorwerth, The Netherlands, 23-26 May 2005: 245-250.

HESTERBERG, K. 2006:

Raman-spektroskopische Untersuchungen zu den Veränderungen des Gehalts an
Carotinoiden im Produktlebenszyklus von Eiern von der landwirtschaftlichen Produktion
bis zum Verzehr. Diss., TU Berlin, 2006.

HIDEG, È. 1993:

On the spontaneous ultraweak light emission of plants.
Journal of Photochemistry and Photobiology B, 18(2-3): 239-244.

HIDEG, È., KOBAYASHI, M., INABA, H. 1991:

Spontaneous ultraweak light emission from respiring spinach leaf mitochondria.
Biochimica et Biophysica Acta., 1098(1): 27-31.

HIRT, H. 2004:

3.3.2 Legehennenhaltung: Einfluss der Herdengrösse auf die Grünauslaufnutzung.
In: B. BAPST, H. HIRT, E. ZELTNER (Hrsg.), "Arbeitsbericht: Fachgruppe Tierhaltung
und Tierzucht - Forschungsarbeiten 2000-2004".
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, 2004: 10 ff.

HIRT, H., ZELTNER, E. 2004:

3. Biologische Geflügelhaltung für Eierproduktion und Mast.
In: B. BAPST, H. HIRT and E. ZELTNER (Hrsg.), "Arbeitsbericht: Fachgruppe
Tierhaltung und Tierzucht - Forschungsarbeiten 2000-2004".
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, 2004: 10 ff.

HÖRNING, B., FÖLSCH, D.W., JARESCH, H. 2001:

Von der freien Wildbahn zur Käfigbatterie – Eine Wertung der Hennenhaltungssysteme
hinsichtlich ihrer »Tiergerechtheit«.
tierrechte, 3.01 – Nr. 17, Seite 2.
Unter: <http://www.tierrechte.de/p10002000x1017x1.html>

HOFFMANN, M., STALLER, B. 2004:

Lebensmittelqualität – elektrochemisch betrachtet.
Ernährung im Fokus, 4(11): 307-308.

HOLLWEG, W. 2009:

Ostereier 1: Weiße schalen lassen sich gut färben (Pressemitteilung).
Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 1. April 2009. Unter:
<http://lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/landwirtschaftskammer/nav/782/article/11831.html>

- HONIKEL, K.O., SCHWÄGELE, F., KRÖCKEL, L., POSER, R. 2002:**
 Messung qualitätsbestimmender physikalischer Merkmale bei intakten Eiern und Flüssigei unter Anwendung der niederauflösenden NMR-Spektroskopie (Abschlussbericht).
 Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 2002.
- HOOGENBOOM, R., NORTHOLT, M., BOKHORST, J., BROEX, N., MEVIUS, D., MEIJS, J., VAN DER ROEST, J. 2006:**
 Contaminants and micro-organisms in organic versus conventional food.
 In: "Newest Research Results on Organic Food Quality, Food Safety & Health".
 FQH Workshop, BioFach Fair Nuremberg, February 16th, 2006: 4-5.
- HUBER, M. (Edt.) 2007:**
 Organic, more healthy? A search for biomarkers of potential health effects induced by organic products, investigated in a chicken model.
 Louis Bolk Instituut, Driebergen, NL, 2007, 2nd Edition.
- HUBER, K., FUCHS, N. 2003:**
 Wie wirkt die Erzeugungsqualität von Lebensmitteln? Ergebnisse der Ernährungs-Qualitäts-Studie des Forschungsrings (Klosterstudie).
 Lebendige Erde, 4/2003: 42-47.
- INAGAKI, H., ISHIDA, Y., UCHINO, A., KATO, K., KAGEYAMA, C., IYOZUMI, H., NUKUI, H. 2008:**
 Difference in ultraweak photon emissions between sulfonylurea-resistant and sulfonylurea-susceptible biotypes of *Scirpus juncooides* following the application of a sulfonylurea herbicide.
 Weed Biology and Management, 8(2): 78-84.
- IYOZUMI, H., KATO, K., KAGEYAMA, C., INAGAKI, H., YAMAGUCHI, A., FURUSE, K., BABA, K., TSUCHIYA, H. 2005:**
 Plant defense activators potentiate the generation of elicitor-responsive photon emission in rice. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 66(1-2): 68-74.
- JACOB, J., MILES, R. 2008:**
 Designer and specialty eggs. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Unter: <http://edis.ifas.ufl.edu/PS048>, Zugriff am 9. April 2009.
- JAŚKOWSKA, A., DUDZIAK, A., GOSPODAREK, M., ŚPIEWLA, E. 2006:**
 Intermolecular interactions in plant cells reflected by ultraweak luminescence phenomenon. *Materials Science-Poland*, 24(4): 1115-1125.
- JELLEN, C.P. 2002:**
 Fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen an Aggregaten von Porphyrinen und Carotinoporphyrinen. Diss., Heinrich-Heine-Univ., Düsseldorf, 2002.
- JEROCH, H., EDER, K., SCHÖNE, F., HIRCHE, F., BÖTTCHER, W., ŠEŠKEVIČIENĖ, J., KLUGE, H. 2002:**
 Gehalte an essentiellen Fettsäuren, Jod, Selen und alpha-Tocopherol in Designer-Hühnereiern.
 Veterinarija ir Zootechnika, 19(41): 49-51.
- JONES, B.E. 1980:**
 Meßgeräte Meßverfahren Meßsysteme. Verlag Oldenbourg, München / Wien, 1980.

KAHL, B.J. 2006:

Entwicklung, in-house Validierung und Anwendung des ganzheitlichen Verfahrens Biokristallisation für die Unterscheidung von Weizen-, Möhren- und Apfelproben aus unterschiedlichem Anbau und Verarbeitungsschritten.
Habil., Univ. Kassel, 2006.

KEPPLER, C., HAASE, R., KNIERIM, U. 2006:

Welche Faktoren beeinflussen die Auslaufnutzung von Legehennen?
In: BMELV, "Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 2006".
KTBL-Schrift 448: 231-239.

KERBAGE, L., WYSS, G.S., GRANADO, J., WEIBEL, F., ALFÖLDI, T., NIGGLI, U. 2006:

Bio – die bessere Alternative? Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin (3+4): 7-11.
Unter: <http://www.orgprints.org/9373/>

KHABIRI, F. 2005:

Untersuchung oxidativer Prozesse anhand induzierter ultraschwacher
Photonenemission (UPE). Diss., Univ. Hamburg, 2005.

KIENZL-PLOCHBERGER, K., SCHWAIGER, E. 1999:

Lebensmittel und Gesundheit mit besonderer Berücksichtigung des Biologischen
Landbaus.
Eine Literaturstudie im Auftrag der Magistratsabteilung 22 - Umweltschutz MA 22 –
710/99.

KIJLSTRA, A., TRAAG, W.A., HOOGENBOOM, L.A.P. 2007:

Effect of flock size on dioxin levels in eggs from chickens kept outside.
Poultry Science, 86: 2042-2048.

**KIM, J., KIM, Y., LEE, Y.J., KOBAYASHI, M., TSUTSUMI, Y., KONDO, R., LEE, S.K.,
SOH, K. 2007:**

Spontaneous ultraweak photon emission during the growth of the cell population of
cultured HeLa Cell Line. Journal of Health Science, 53(4): 481-485.

KÖHLER, B. 2001:

Der Einfluß von Haltung, Fütterung und Beleuchtung auf die Biophotonenemission
(delayed luminescence) sowie herkömmliche Qualitätsparameter von Hühnereiern.
Diss., Univ. Kassel und KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH, Dipperz, 2001.

KÖHLER, B., LAMBING, K., NEUROHR, R., NAGL, W., POPP, F.A., WAHLER, J. 1991:

Photonenemission – Eine neue Methode zur Erfassung der „Qualität“ von
Lebensmitteln. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 87(3): 78-83.

KÖHLER, B., STRUBE, J., FÖLSCH, D.W., LANGE, K. 2002:

Mit Grünfütter und Tageslicht strahlen Hühnereier anders.
Ökologie & Landbau, 123(3): 39-41.

KÖHLER, F.M. 2005:

Wohlbefinden landwirtschaftlicher Nutztiere: nutztierwissenschaftliche Erkenntnisse und
gesellschaftliche Einstellungen.
Diss., Christian-Albrechts-Univ., Kiel, 2005.

KOUBA, M. 2002:

Qualité des produits biologiques d'origine animale.
INRA Productions Animales, 15(3): 161-169.

KRAMHÖLLER, T.M. 2008:

Die Turbo-Hühner – Lohmann-Brown, Silver oder Classic: Das Züchter-Sortiment liest sich wie ein Autokatalog. Wie Tiere auf Leistung getrimmt werden.

Tagesspiegel, 16. März 2008. Unter: www.tagesspiegel.de/wirtschaft/art271,2495486

KÜHNE, P. 2000:

Die Bedeutung des Ätherischen in der Nahrung. Lebendige Erde, 3/2000: 24-26.

KYPKE, K., ZACHARIAE, W. 2006:

6. Organische Kontaminanten und Rückstände in Produkten tierischer Herkunft.

In: "Chemische und Veterinäruntersuchungsämter Baden-Württemberg,

Ökomonitoring Gesamtbericht 2002-2006": 19-27.

LAMBING, K. 1992:

Nutzung der "low-level-luminescence"-Meßtechnik zur Untersuchung von Lebensmitteln.

Diss., Univ. Kaiserslautern, 1992.

Landscape 2001:

Lexikon der Geowissenschaften, Band 3. Landscape Gesellschaft für Geo-

Kommunikation mbH, Köln, Band 3. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg / Berlin, 2001.

LEESON, S., CASTON, L. 2004:

Enrichment of eggs with lutein. Poultry Science, 83(10): 1709-1712.

LEYENDECKER, M.C. 2003:

Einfluss verschiedener Legehennenhaltungssysteme (konventionelle Käfige, ausgestaltete Käfige, intensive Auslauf- und Volierenhaltung) auf die Legeleistung,

Eiqualität und Knochenfestigkeit von Legehennen. Diss., Univ. Osnabrück / TiHo

Hannover, 2003.

LI, K.H. 1992:

Coherent radiation from DNA molecules.

In: F.A. POPP, K.H. LI, Q. GU (Eds.), "Recent Advances in Biophoton Research and its Applications". World Scientific, Singapore / New Jersey / London / Hong Kong: 157-195.

LI, K.H., POPP, F.A. 1983:

Non-exponential decay law of radiation systems with coherent rescattering.

Physics Letters A, 93(5): 262-266.

LINDEN, J. 2008:

Egg quality affected by management factors.

Poultry International, February 08: 10-12.

LÜHE (LÜKE), M., POTTGÜTER, R., GRASHORN, M. 2007:

DLG-Merkblatt 343: Legehennenhaltung. DLG e.V., Fachzentrum Land- und

Ernährungswirtschaft, Ausschuss für Geflügelproduktion, Frankfurt a.M., 2007, 1.

Auflage.

MAISACK, C., HIRT, A. 2005:

Haltungssysteme für Legehennen und Europäisches Tierschutzrecht. In: G. MARTIN, H.H.

SAMBRAUS, A. STEIGER (Hrsg.), „Das Wohlergehen von Legehennen in Europa –

Berichte, Analysen und Schlussfolgerungen“.

Reihe Tierhaltung (Univ. Kassel), 28: 184-213.

- MAKINO, T., KATO, K., IYOZUMI, H., AOSHIMA, Y. 2005:**
 Biophoton emission and defense systems in Plants. In: X. SHEN., R. VAN WIJK. (Eds.), „Biophotonics: Optical Science and Engineering for the 21st Century“. Verlag Springer Science+Business Media Inc., New York, 2005: 205-218.
- MASHALY, M.M., HENDRICKS, G.L., KALAMA, M.A., GEHAD, A.E., ABBAS, A.O., PATTERSON, P.H. 2004:**
 Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poultry Science, 83(6): 889-894.
- MATSCHKE, J., POPP, F.A. 1999:**
 Bewertung der inneren Qualität der Nordmannstanne. AFZ / Der Wald, (5): 249-250.
- MAXIA, C. 1935:**
 Die Wahl der Teste für den Gurwitsch-Effekt. Protoplasma, 23(1): 77-80.
- MEI, W. 1991:**
 Ultraschwache Photonenemission bei synchronisierten Hefezellen (*Saccharomyces cerevisiae*) in Abhängigkeit vom Zellteilungszyklus. Diss., Univ. Hannover, 1991.
- MEIERHANS, D. 1994:**
 Schweiz: Eier aus Boden- oder Auslaufhaltung? (II)
 Biophotonen-Analysen von Hühnereiern. DGS-Magazin, 46(16): 6-8.
- MEIER-PLOEGER, A. 1988:**
 Sensorik – Der Mensch als "Meßinstrument" zur Qualitätserfassung.
 In: A. MEIER-PLOEGER, H. VOGTMANN (Hrsg.), „Lebensmittelqualität – Ganzheitliche Methoden und Konzepte“. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1988: 233-250.
- MENN, M.T. 2006:**
 Auswirkungen des Hypoxietrainings von Maultieren und Haflingern auf den oxidativen Stress und die physische Leistungsfähigkeit.
 Diss., Ludwig-Maximilians-Univ., München, 2006.
- MIYAZAWA, T., FUJIMOTO, K., KANEDA, T. 1988:**
 Lipid peroxidation and chemiluminescence in animal tissues. In: SEVANIAN, A. (Edt.), "Lipid Peroxidation in Biological Systems." American and Japanese Oil Chemists Societies, 1988.
- MMB 2008:**
 Marktinfo: Marktanteil Käfigware leicht gestiegen. DGS-Magazin, 31/2008: 55.
- MONIRA, K.N., SALAHUDDIN, M., MIAH, G. 2003:**
 Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken. International Journal of Poultry Science 2 (4): 261-263.
- MUSUMECI, F., TRIGLIA, A., GRASSO, F. 1992:**
 Experimental evidence on ultraweak photon emission from normal and tumour human tissues. In: F.A. POPP, K.H. LI, Q. GU (Eds.), "Recent Advances in Biophoton Research and its Applications". World Scientific, Singapore / New Jersey / London / Hong Kong: 307-326.
- Naturland 2007:**
 Naturlandrichtlinien (Ausgabe 01/2006), EG-Öko-VO: Das Richtlinienverständnis.
 Naturland – Verband für ökologischen Landbau e.V., Gräfelfing, April 2007. Unter:
http://www.bund-frankfurt.de/fileadmin/inhalte/Biolebensmittel_Rhein-Main/Vgl.Naturland_EU-Oeko-RL.pdf

Naturland 2008:

Naturland Richtlinien Erzeuger. Naturland – Verband für ökologischen Landbau e.V., Gräfelfing, November 2008.

Unter: http://www.naturland.de/fileadmin/MDb/documents/Richtlinien_deutsch/Naturland-Richtlinien_Erzeugung_2008-11.pdf

Nestlé 2009:

Ernährung in Deutschland 2008. Nestlé Deutschland AG, Institut für Demoskopie Allensbach, Boston Consulting Group, 2009.

NEUHOFF, D. 2001:

Nahrungsmittelqualität aus konventionellem und ökologischem Landbau im Vergleich. Ernährung im Fokus, 1(8): 198-202.

NIEBUHR, J., LINDNER, G. 1994:

Physikalische Messtechnik mit Sensoren. Verlag Oldenbourg, München / Wien, 1994, 3. Auflage.

NIGGLI, H.J. 1992:

Biophoton re-emission studies in carcinogenic mouse melanoma cells. In: F.A. POPP, K.H. LI, Q. GU (Eds.), "Recent Advances in Biophoton Research and its Applications". World Scientific, Singapore / New Jersey / London / Hong Kong: 231-242.

PLOCHBERGER, K. 1989:

Feeding experiments. A criterion for quality estimation of biologically and conventionally produced foods. Agriculture, Ecosystems & Environment, 27(1-4): 419-428.

POPP, F.A. 1976:

Biophotonen: Ein neuer Weg zur Lösung des Krebsproblems. Verlag Ewald Fischer, Heidelberg, 1976, 2. Auflage.

POPP, F.A. 1984:

Biologie des Lichts: Grundlagen der ultraschwachen Zellstrahlung. Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1984.

POPP, F.A. 2006:

Biophotonen – Neue Horizonte in der Medizin. Verlag Haug, Stuttgart, 2006, 3. Auflage.

POPP, F.A., YAN, Y. 2002:

Delayed luminescence of biological systems in terms of coherent states. Physics Letters A, 293(1-2): 93-97.

POPP, J., STREHLE, M. (Eds.) 2006:

Biophotonics: visions for better health care. Verlag Wiley-VCH, Weinheim, 2006.

PRASAD, P.N. 2003:

Introduction to biophotonics. Verlag John Wiley & Sons, Hoboken N.J., 2003.

QUICKENDEN, T.I., QUE HEE, S.S. 1974:

Weak luminescence from the yeast *Saccharomyces Cerevisiae* and the existence of mitogenetic radiation. Biochemical and Biophysical Research Communications, 60(2): 764-770.

- RAHMANN, G., MEIER-PLOEGER, A., BECK, A., HAGEL, I., HOFFMANN, M., STRUBE, J., STOLZ, P. 2003:**
 Ganzheitlichkeit in der Lebensmittelforschung. In: „Bewertung von Lebensmitteln verschiedener Produktionsverfahren – Statusbericht 2003“.
 Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, Angewandte Wissenschaft, Reihe A (499).
- RAJEWSKY, B. 1932:**
 Zum Problem der mitogenetischen Strahlung.
 Journal of Cancer Research and Clinical Oncology, 35(1): 387-394.
- RATTEMEYER, M., POPP, F.A., NAGL, W. 1981:**
 Evidence of photon emission from DNA in living systems.
 Die Naturwissenschaften, 68(11): 572-573.
- REHNER, G., DANIEL, H. 2002:**
 Biochemie der Ernährung.
 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg / Berlin, 2002, 2. Auflage.
- REIBER, H. 1989:**
 Discrimination between different types of low-level luminescence in mammalian cells: the biophysical radiation.
 Journal of Bioluminescence and Chemiluminescence, 4(1): 245-248.
- REICHARDT, W., MÜBLICK, M., RICHTER, G., JAHN, O., GAYER, P., LIPPMANN, J. 2004:**
 Gemeinsame Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen in Praxisbetrieben der Bundesländer Bayern, Sachsen und Thüringen – Vorstellung des Projektes sowie von ersten Ergebnissen zur Eiqualität und zur Auslaufnutzung.
 6. Jahrestagung Thüringer Landwirtschaft, Erfurt, 19. Februar 2004.
- REINHART, A. 2008:**
 trans-AB2C-Porphyrine: Synthese in Lösung und an der Festphase, Verkettung und photophysikalische Eigenschaften.
 Diss., Univ. Heidelberg, 2008.
- REISER, P.H. 2006:**
 5. Nitrat in Tiefkühlspinat.
 In: „Chemische und Veterinäruntersuchungsämter Baden-Württemberg, Ökomonitoring Gesamtbericht 2002-2006“: 18.
- RISTIĆ, M., FREUDENREICH, P., KÜHNE, D., WERNER, R., BITTERMANN, A., SCHÜSSLER, G., ERHARDT, S.A. 2007:**
 Innere Qualität des Eies: Einfluss des Haltungssystems.
 Fleischwirtschaft, 87(3): 126-128.
- ROTH, F.X. 2003:**
 Fütterungsstrategien für Legehennen in Haltungssystemen mit Grünbewuchs im Auslauf (nach EU VO 2092/91).
 TU München, Fachgebiet für Tierernährung und Leistungsphysiologie, 2003.
 Unter: <http://www.orgprints.org/2371/>
- RUTH, B. 1977:**
 Experimenteller Nachweis ultraschwacher Photonenemission aus biologischen Systemen. Diss., Univ. Marburg, 1977.

RUTH, B., POPP, F.A. 1976:

Experimentelle Untersuchungen zur ultraschwachen Photonenemission biologischer Systeme. Zeitschrift für Naturforschung C, 31: 741-745.

SACHS, L. 2002:

Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden.
Verlag Springer, Berlin / Heidelberg, 2002, 10. überarbeitete und aktualisierte Auflage.

SAS, B., DOMÁNY, G., GYIMÓTHY, I., KOVÁCSNÉ, K.G., SÜTH, M. 2006:

Influence of the type of management system on corticosterone transfer into eggs in laying hens. Acta Veterinaria Hungarica, 54(3): 343-352.

SCHAACK, D. 2008:

Bio-Markt wächst weiter, aber langsamer.
In: R. GOESSLER (Hrsg.), "Jahresbericht 2008 / 2009, Rückblick und Vorschau auf die Agrarmärkte". ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn, 2008: 27.

SCHAUF, B., REPAS, L.M., KAUFMANN, R. 1992:

Localization of ultraweak photon emission in plants.
Photochemistry and Photobiology, 55(2): 287-291.

SCHENDERA, C.F.G. 2007:

Datenqualität mit SPSS. Verlag Oldenbourg, München, 2007.

SCHMIED, E.M.V. 2007:

Vergleichende Untersuchung zum Resistenzverhalten ausgewählter Bakterien von Legehennen und Eiern aus konventionellen und ökologischen Haltungssystemen.
Diss., LMU München, 2007.

SCHÖFTNER, C. 2006:

Eier als Quelle von Omega-3-Fettsäuren: Analyse des Fettsäureprofils in Eiern von Hühnern unterschiedlicher Haltungsformen. Diplomarbeit, BOKU Wien, 2006.

SCHOLTYSSSEK, S. 1994:

Charakteristische Merkmale des Eies und ihre Prüfungsverfahren.
In: W. TERNES, L. ACKER, S. SCHOLTYSSSEK. (Hrsg.), „Ei und Eiprodukte“.
Verlag Paul Parey, Berlin / Hamburg, 1994: 362-399.

SCHOLTYSSSEK, S., DOLL, P. 1978:

Nutz- und Ziergeflügel. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1978.

SCHÖNE, F., RICHTER, G., WESTPHAL, S., KINAST, C., BARGHOLZ, J., LEITERER, M. 2006:

Untersuchung eines Thüringer Eiersortimentes in der Differenzierung nach Hennenhaltung und -fütterung.
Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 102(9): 416-425.

SCHULZE-BÖCKENHOFF, K. 1994:

Zur Eignung der ultraschwachen Photonenemission von Lebensmitteln als ganzheitlicher Parameter der Qualitätsbestimmung. Diplomarbeit, Univ. Kassel, 1994.

SCHWÄGELE, F., POSER, R., KRÖCKEL, L. 2005:

Niederauflösende Protonen-Kernresonanzspektroskopie.
Fleischwirtschaft, 85(8): 107-109.

SIEGMANN, O. 1992:

Propädeutik. In: G. HEIDER, G. MONREAL, J. MÉSZÁROS (Hrsg.), "Krankheiten des Wirtschaftsgeflügels, Band 1". Verlag Gustav Fischer, Jena, 1992: 15-44.

SIMONOVIC, S., GRASHORN, M. 2008:

Eiqualität: Welche Rolle spielt das Tränkwasser? DGS-Magazin, 49/2008: 22-27.

STALLER, B. 2003:

Elektrochemische Messungen.

In: „Ganzheitliche Untersuchungsmethoden zur Erfassung und Prüfung der Qualität ökologischer Lebensmittel: Stand der Entwicklung und Validierung“. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2003: 203-239.

STEINHILBER, S. 2003:

Einfluss von genetischem Typ, Legeabschnitt und Futterfett auf die Anreicherung von Hühnereiern mit Omega-3-Fettsäuren und die Auswirkungen auf die Produktqualität. Diss., Univ. Hohenheim, 2003.

STOLZ, P. 2003:

Physiologischer Aminosäurestatus. In: „Ganzheitliche Untersuchungsmethoden zur Erfassung und Prüfung der Qualität ökologischer Lebensmittel: Stand der Entwicklung und Validierung“.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2003: 158-202.

STRACKE, B.A., RÜFER, C.E., BRIVIBA, K., BUB, A., WATZL, B. 2008:

Bestimmung der ernährungsphysiologischen Qualität von Öko-Produkten anhand des antioxidativen Potentials der Lebensmittel.

Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe, 2008. Unter: <http://www.orgprints.org/14071/>

STRUBE, J. 2003:

Fluoreszenz-Anregungsspektroskopie. In: „Ganzheitliche Untersuchungsmethoden zur Erfassung und Prüfung der Qualität ökologischer Lebensmittel: Stand der Entwicklung und Validierung“.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn, 2003: 61-157. Unter: <http://www.orgprints.org/4815/>

STRUBE, J., STOLZ, P. 2001:

Lichtspeicherung und Lebensmittelqualität. Ökologie & Landbau, 117(1): 15-18.

STRUBE, J., STOLZ, P. 2004:

Lebensmittel vermitteln Leben – Lebensmittelqualität in erweiterter Sicht.

Verlag Kwalis Qualitätsforschung Fulda GmbH, Dipperz, 2004.

STRUBE, J., STOLZ, P. 2007:

Differenzierung und Klassifizierung von Öko-Produkten mittels validierter analytischer und ganzheitlicher Methoden. KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH, 2007.

Unter: <http://www.orgprints.org/14072/>

TÄUFEL, A., TERNES, W., TUNGER, L., ZOBEL, M. 1993:

Lebensmittel-Lexikon L-Z. Verlag Behr, Hamburg, 3. Auflage.

TAUSCHER, B., BRACK, G., FLACHOWSKY, G., HENNING, M., KÖPKE, U., MEIER-PLOEGER, A., MÜNZING, K., NIGGLI, U., PABST, K., RAHMANN, G., WILLHÖFT, C., MAYER-MIEBACH, E. 2003:

Bewertung von Lebensmitteln verschiedener Produktionsverfahren – Statusbericht 2003. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, Angewandte Wissenschaft, Reihe A (499).

Techrep 2005:

Biophotonik in Deutschland. Wohin geht die Reise? (Technologiereport)

Deloitte Consulting GmbH, Kraus Technology Consulting, August 2005.

TENEA, A.R. 2004:

Synthese substituierter Porphyrine als potentielle Energiespeicher.
Diss., Univ. Bonn, 2004.

TEUBNER, R. 1983:

Zur Qualitätsbestimmung von Nutzpflanzen, insbesondere Medizinalpflanzen, mit Hilfe der ultraschwachen Photonenemission. Diss., Univ. Göttingen, 1983.

THIELE, H.H. 2005:

Die Bedeutung des Lichts für Legehennen.
Lohmann Poultry News, Nr.10, April 2005: 1-3.

TierSchNutzV 2006:

Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung.
BGBl. Jahrgang 2006 Teil I Nr. 41, S. 2043, 22. August 2006; geändert durch die Verordnung BGBl. Jahrgang 2006 Teil I Nr. 56, S. 2759, 30. November 2006.

TILBURY, R.N. 1992:

The effect of stress factors on the spontaneous photon emission from microorganisms.
Experientia, 48: 1030-1041.

TRAMPISCH, H.J. 1985:

Diskriminanzanalyse. In: G. DEICHSEL, H.J. TRAMPISCH (Hrsg.), "Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse". Verlag Gustav Fischer, Stuttgart / New York: 57-130.

TREBUNOVÁ, A., VAŠKO, L., ŠVEDOVÁ, M., KAŠTEL, R., TUČKOVÁ, M., MACH, P. 2007:

The influence of ω -3 polyunsaturated fatty acids feeding on composition of fatty acids in fatty tissues and eggs of laying hens.
Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 114(7): 275-279.

TRIGLIA, A., LA MALFA, G., MUSUMECI, F., LEONARDI, C., SCORDINO, A. 1998:

Delayed luminescence as an indicator of tomato fruit quality.
Journal of Food Science, 63: 512-515.

TUSZYŃSKI, J.A., DIXON, J.M. 2001:

Quantitative analysis of the frequency spectrum of the radiation emitted by cytochrome oxidase enzymes.
Physical Review E, 64(5): 051915.

VAN DEN BRAND, H., PARMENTIER, H.K., KEMP, B. 2004:

Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. British Poultry Science, 45(6): 745-752.

VAN DE VIJVER, L.P.L., HOOGENBOOM, L.A.P., BROEX, N.J.G., VAN DER ROEST, J., BOKHORST, J.G., NORTHOLT, M.D., MEVIUS, D., MEIJS, J.A.C. 2006:

Contaminants and micro-organisms in organic and conventional food products.
Joint Organic Congress 2006, the Netherlands.
Unter: <http://www.orgprints.org/7234/>

VAN WIJK, R., VAN AKEN, H. 1992:

Spontaneous and light-induced photon emission by rat hepatocytes and by hepatoma cells. In: F.A. POPP, K.H. LI, Q. GU (Eds.), "Recent Advances in Biophoton Research and its Applications".
World Scientific, Singapore / New Jersey / London / Hong Kong: 207-229.

VAN WIJK, R., VAN WIJK, E. 2005:

Ultraweak photon emission from human body. In: X. SHEN., R. VAN WIJK. (Eds.), „Biophotonics: Optical Science and Engineering for the 21st Century“. Verlag Springer Science+Business Media Inc., New York, 2005: 173-184.

VELIMIROV, A. 2002:

Integrative Qualitätsmethoden im Zusammenhang mit der P-Wert-Bestimmung. In: „9. Internationale Tagung Elektrochemischer Qualitätstest“, Institut für Gemüsebau und Blumenproduktion, Mendel-Univ. für Land- und Forstwirtschaft, Lednice (Tschechische Republik), 30. Mai -01. Juni 2002. Unter: <http://www.geocities.com/bioqualitaet/bio.htm>

VELIMIROV, A. 2005:

Reproductive health of rats. In: Proceedings of the 1th Scientific FQH Conference "What we achieved - where we will go". Research Inst. of Organic Agriculture FiBL, Frick, Switzerland, 28.-29. November 2005. Unter: <http://orgprints.org/9033/>

VELIMIROV, A. 2007:

Neue Qualitätsparameter notwendig – Lebensmittelqualität ist mehr als die Summe an Nährstoffen. In: „3. Fachtagung für biologische Landwirtschaft: Qualitätsaspekte für Heute und Morgen“. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 14. März 2007: 3-5.

VELIMIROV, A., MÜLLER, W. 2003:

Die Qualität biologisch erzeugter Lebensmittel: Ergebnisse einer umfassenden Literaturrecherche. Bio Ernte Austria, Wien, 2003.

VELIMIROV, A., KIENZL-PLOCHBERGER, K., SCHWAIGER, E. 2006:

Futterwahlversuche mit Ratten und mikrobiologische Untersuchungen als integrative Testmethoden zur Ermittlung der Qualität landwirtschaftlicher Produkte. Unter: https://www.dafne.at/dafne_plus_homepage/download.php?t=ProjectReportAttachment&k=88 Zugriff am 25. März 2009.

VO(EG) Nr. 834/2007:

Verordnung (EG) über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. ABl. Nr. L 189, S.1, 20. Juli 2007. Geändert durch VO(EG) Nr. 967/2008, ABl. Nr. L 264, S.1, 3. Oktober 2008.

VO(EG) Nr. 889/2008:

Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/ biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. ABl. Nr. L 250, S.1, 18. September 2008.

VOEIKOV, V.L. 2005:

Biophotonic analysis of spontaneous self-organizing oxidative processes in aqueous systems. In: X. SHEN., R. VAN WIJK. (Eds.), „Biophotonics: Optical Science and Engineering for the 21st Century“. Verlag Springer Science+Business Media Inc., New York, 2005: 141-154.

VOGT, H. 1983:

Einfluß der Haltung und Fütterung des Geflügels auf die Qualität der erzeugten Produkte. Landwirtschaftliche Forschung 36, (Kongreßband 1983): 75-83.

VON ENGELHARDT, W., BREVES, G. [Hrsg.] 2005:

Physiologie der Haustiere. Enke Verlag, Stuttgart, 2005, 2. Auflage.

WATZL, B., BUB, A. 2001:

Carotinoide. Ernährungs-Umschau, 48(2): 71-74.

WEISSTEIN, E. 2009:

Standard deviation distribution.

Unter: <http://mathworld.wolfram.com/StandardDeviationDistribution.html>.

Zugriff am 16. Februar 2009.

Wetter 2008:

Rückblick: Monatswetter (Mai 2006 bis April 2007).

Unter: www.wetteronline.de, Zugriff im April 2008.

WIKIPEDIA 2009a:

Biophotonik. Unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Biophotonik>, Zugriff am 20. April 2009.

WIKIPEDIA 2009b:

Lab-Farbraum. Unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lab-Farbraum>,

Zugriff am 22. April 2009.

WILDFEUER, I., ACKER, L. 1967:

Über die Beeinflussung der Dotterfarbe von Hühnereiern durch Zusätze von Carotinoiden zum Futter.

Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 133(6): 341-352.

WOESE, K., LANGE, D., BOESS, C., BÖGL, K.W. 1997:

A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. Journal of the Science of Food and Agriculture, 74(3): 281-293.

YAN, Y. 2002:

Biophotonenemission von Gerstensamen (*Hordeum vulgare* L.).

Diss., Univ. Mainz, 2002.

YAN, Y., POPP, F.A., SIGRIST, S., SCHLESINGER, D., DOLF, A., YAN, Z., COHEN, S., CHOTIA, A. 2005:

Further analysis of delayed luminescence of plants.

Journal of Photochemistry and Photobiology B, 78: 235-244.

12 ANHANG

Tabelle 29: Informationen zu den Eier-Stichproben des DB-Projektes.
(Bruch-Eier und Ausreißer sind vom Stichprobenumfang bereits abgezogen.)

a) Käfig (Kä) – zu ¹ Alter und ² (Bundes-)Land: s.u.

Probe	n	Monat	Alter ¹ / Wochen	Schalenfarbe	(Bundes-) Land ²
Kä01	10	Juli '05	2	braun	NI
Kä02	6	Aug. '05	1	weiß	NL
Kä03	7		2	weiß	NI
Kä04	10		1	braun	NW
Kä05	10		1	weiß	NL
Kä06	10		Okt. '05	1	weiß
Kä07	8	2		braun	BW
Kä08	7	2		braun	NW
Kä09	10	1		weiß	BW
Kä10	9	2		braun	NL
Kä11	9	Dez. '05	1	braun	NL
Kä12	5	Jan. '06	2	braun	NL
Kä13	7	Mrz '06	3	weiß	NL
Kä14	19	Mai '06	1	weiß	NL
Kä15	20	Juni '06	2	braun	NW
Kä16	11		2	braun	NL
Kä17	12		1	weiß	NW
Kä18	10	Okt. '06	2	braun	BR
Kä19	12	Nov. '06	1	braun	NW
Kä20	12		0	weiß	NW
Kä21	18		2	weiß	NW

(zu **Tabelle 29**)

b) Boden (Bo) – zu ¹ Alter und ^{II} (Bundes-)Land: s.u.

Probe	n	Monat	Alter ¹ / Wochen	Schalenfarbe	(Bundes-) Land ^{II}
Bo01	10	Juli '05	2	weiß	NL
Bo02	6		1	weiß	NW
Bo03	10	Aug. '05	2	braun	NI
Bo04	8	Okt. '05	1	braun	BW
Bo05	8		1	braun	NL
Bo06	8		2	weiß	NL
Bo07	9		2	braun	NL
Bo08	10		1	braun	BW
Bo09	9		2	braun	NI
Bo10	5	Jan. '06	2	weiß	NL
Bo11	12	Mrz '06	1	weiß	NI
Bo12	16		3	braun	BW
Bo13	6	Apr. '06	2	braun	SN
Bo14	17		1	weiß	BW
Bo15	20		1	braun	BW
Bo16	14	Juli '06	0	braun	BW
Bo17	9	Nov. '06	1	braun	NW

(zu Tabelle 29)

c) Freiland, konventionell (F) – zu ^I Alter und ^{II} (Bundes-)Land: s.u.

Probe	n	Monat	Alter ^I / Wochen	Schalenfarbe	(Bundes-) Land ^{II}
F01	10	Juli '05	2	braun	NL
F02	10		1	weiß	NL
F03	10	Aug. '05	0	braun	NL
F04	8	Okt. '05	1	braun	ST
F05	9		1	braun	BW
F06	5		1	braun	NI
F07	5		1	braun	NL
F08	5		1	braun	NL
F09	5		1	braun	NI
F10	7		2	braun	NW
F11	5	Jan. '06	2	braun	NL
F12	5	Mrz '06	3	braun	NL
F13	4		3	braun	NL
F14	6	Apr. '06	1	braun	NL
F15	17		2	braun	BW
F16	26		1	braun	BW
F17	11	Juni '06	2	braun	NL
F18	11		1	braun	NI
F19	9	Nov. '06	1	braun	NW
F20	9		0	braun	NW
F21	9		1	braun	BY

(zu Tabelle 29)

d) Kleinbäuerlich (kb) – zu ^I Alter und ^{II} (Bundes-)Land: s.u.

Probe	n	Monat	Alter ^I / Wochen	Schalenfarbe	(Bundes-) Land ^{II}
kb01	9	Sep. '05	1	grün	SL
kb02	6		1	grün	SL
kb03	10		1	braun	SL
kb04	6	Mai '06	1	weiß + braun	SN
kb05	6		6	braun	NW

(zu **Tabelle 29**)

e) Bio (Ö) – zu ¹ Alter und ^{II} (Bundes-)Land: s.u.

Probe	n	Monat	Alter ¹ / Wochen	Schalenfarbe	(Bundes-) Land ^{II}
Ö01	10	Juli '05		braun	NI
Ö02	9			braun	NL
Ö03	3		1	weiß+ braun	HE
Ö04	12	Aug.'05	1	braun	NW
Ö05	10		0	braun	NW
Ö06	15			braun	NI
Ö07	6		2	braun	BY
Ö08	9			braun	SH
Ö09	4	Sep. '05		braun	NW
Ö10	12	Okt. '05	1	braun	NL
Ö11	10		2	braun	NW
Ö12	12	Nov. '05	1	braun	NL
Ö13	12		1	braun	NL
Ö14	12		1	braun	NL
Ö15	12		1	braun	NL
Ö16	12		1	braun	NL
Ö17	24	Dez. '05	2	braun	NL
Ö18	24		2	braun	NL
Ö19	23		2	braun	NL
Ö20	7		0	braun	NL
Ö21	10		1	braun	NL
Ö22	5	Jan. '06	2	weiß	NI
Ö23	5		2	braun	NI
Ö24	10	Mrz '06	1	braun	NW
Ö25	5		3	braun	MV
Ö26	6	Apr. '06	1	braun	NW
Ö27	16	Mai '06	0	braun	NW
Ö28	4		2	braun	HE
Ö29	11	Juni '06	2	braun	BY
Ö30	8	Okt. '06	2	braun	BR
Ö31	12	Nov. '06	1	braun	NI

(zu **Tabelle 29**)

¹ Ei-Alter ab Legedatum:

0 bis 4 Tage	△	0 Wochen
5 bis 10 Tage	△	1 Woche
11 bis 17 Tage	△	2 Wochen
18 bis 24 Tage	△	3 Wochen

¹¹ Bundesland:

NL	Niederlande
BR	Brandenburg
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
HE	Hessen
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt

Tabelle 30: Beprobungstermine im **LZ-Projekt**.
(Indizes am Stall-Code geben Herdenwechsel an.)

Messstermine	2006								2007			
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz	Apr.
kF1	23.	19.	17.	14.	18.	25.	20.	18.	15.	12.		
B1 ₁	23.	19.	17.	14.	18.	25.	20.	18.	15.			
B1 ₂										12.	19.	23.
K1	23.	19.	17.	14.	18.	25.	20.	18.	15.	12.	19.	
KF2 ₁	23.	19.	17.	14.	18.	23.	20.	18.				
KF2 ₂										12.	19.	23.
B2 ₁	23.	19.	17.									
B2 ₂					18.	23.	20.	18.	15.	12.	19.	23.
K2	23.	19.	17.	14.	18.	23.	20.	18.	15.	12.	19.	23.
B3	14.	11.	9.	6.	10.	15.	12.	10.	7.	4.	11.	
B4	14.	11.	9.	6.	10.	15.	12.	10.	3.			
öF1-S ₁	17.	12.	10.	7.	11.							
öF1-S ₂						16.	13.	11.	8.	5.	12.	16.
öF1-B						16.	13.	11.	8.	5.	12.	16.
öF2	16.	13.	10.	7.	18.	16.	13.	11.				
öF3	16.	13.	10.	7.	18.	16.	13.	11.	15.	5.		
öF4	22.	12.	10.	6.	10.	16.	12.	11.	8.	5.	12.	16.

Tabelle 31: Stichprobenumfänge für die Biophotonenmessung im **LZ-Projekt**.
(Bruch-Eier und Ausreißer sind bereits abgezogen; Indizes am Stall-Code geben Herdenwechsel an.)

Stichproben- umfänge <i>n</i>	2006								2007			
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz	Apr.
kF1	11	18	15	19	19	19	18	17	20	16		
B1 ₁	15	9	15	20	18	18	17	18	8			
B1 ₂										8	19	19
K1	10	18	17	13	20	20	20	20	19	20	19	
KF2 ₁	20	15	17	18	17	12	19	20				
KF2 ₂										2	17	20
B2 ₁	19	16	18									
B2 ₂					10	12	20	20	20	20	20	20
K2	10	19	19	20	18	13	20	20	20	15	20	20
B3	18	19	15	18	11	18	17	20	20	14	20	
B4	19	20	20	19	14	18	20	17	31			
öF1-S ₁	18	18	16	19	18							
öF1-S ₂						9	17	20	18	18	18	20
öF1-B						10	20	19	20	18	18	19
öF2	16	16	13	15	20	19	17	20				
öF3	18	20	14	18	16	19	18	20	19	19		
öF4	10	15	19	18	20	20	20	20	20	19	19	20

Tabelle 32: Bestimmtheitsmaß für den Kurvenfit im **DB-** und **LZ-Projekt** (Minimum Min, Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd bei Stichprobenumfang n für die Proben 'leere Dunkelkammer', 'leere Küvette' und 'Dotter').

	DB			LZ		
	leere Kammer	leere Küvette	Dotter	leere Kammer	leere Küvette	Dotter
n	32	44	1936	104	54	928
Min	0,99	0,99	0,98	0,90	0,92	0,85
Mw	1,00	1,00	0,99	0,95	0,95	0,95
Sd	0,002	0,002	0,005	0,014	0,009	0,015

```

proc nlin data=KuLe outest=rKuLe;
parms SWKuLe=10 100 200 500 1000 1500 2000 3000 AGKuLe=.1 to 1.0 by .
1;
/*startwerte*/

model yKuLe=SWKuLe/x**AGKuLe;
by tag code;
output out=ploKuLe p=fitKuLe;
ods output anova=anoKuLe;
run;

data rKuLe;
set rKuLe;
if _TYPE_='FINAL';
run;

data sstKuLe;
set anoKuLe;
if source='Uncorrected Total';
sstkule=ss;
run;

data ssmKuLe;
set anoKuLe;
if source='Model';
ssmkule=ss;
run;

data r2KuLe;
merge ssmKuLe sst KuLe;
r2Kule=ssmKuLe/sstKuLe;
run;

```

Abbildung 31: Prozedur des Kurvenfits mit SAS. ('KuLe': Name des Abklingkurven-Datensatzes)

Tabelle 33: Monatsmittelwerte und Standardabweichungen (n Messtage) von Raumtemperatur und Biophotonenparametern (nicht-transformiert) der leeren **Küvette** und **leeren** Dunkelkammer im **DB-Projekt (PMS-1)**.

Monat	n	Temp. / °C		SW _{fit-DB} / counts				AG _{fit-DB}				NL _{DB} / counts				
		Mw	Sd	Küvette		leer		Küvette		leer		Küvette		leer		
				Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	
2005	Okt.	13	21	1	917	206	592	118	2,76	0,17	2,80	0,27	113	18	76	12
	Nov.	1	20		1477		1022		3,00		2,85		158		107	
	Dez.	3	21	1	1711	269	860	133	3,00	0,09	3,11	0,13	152	8	94	12
2006	Jan.	1	20		1350		1066		2,70		3,06		224		98	
	Mrz.	1	19		1518		1187		2,80		3,19		176		128	
	Apr.	3	22	1	1397	492	844	173	2,89	0,21	3,08	0,02	142	22	93	19
	Mai	2	23	1	1635	312	1142	25	3,10	0,08	3,17	0,33	134	10	122	13
	Juni	4	24	3	868	252	550	140	2,53	0,19	2,52	0,23	140	13	116	36
	Juli	1	28		982		643		2,07		2,00		243		209	
	Okt.	1	22		2061		1001		2,49		2,37		258		147	
	Nov.	2	22	1	1218	23	661	140	2,06	0,15	2,03	0,17	264	72	154	19

Tabelle 34: Monatsmittelwerte und Standardabweichungen (n Messtage) von Raumtemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit (rF) und Biophotonenparametern (nicht-transformiert) der leeren **Küvette** und **leeren** Dunkelkammer im **LZ-Projekt (PMS-3.1)**.

Monat	n	Temp. / °C		rF / %	SW _{fit-LZ} / counts				AG _{fit-LZ}				NL _{LZ} / counts					
		Mw	Sd		Küvette		leer		Küvette		leer		Küvette		leer			
				Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	Mw	Sd	
2006	Aug.	5	22	1	58	8	127	25	78	9	0,67	0,03	0,64	0,01	469	16	424	7
	Sep.	3	21	3	55	4	141	12	104	7	0,67	0,01	0,66	0,01	504	11	468	33
	Okt.	4	22	1	49	4	113	18	64	7	0,67	0,02	0,63	0,02	408	19	401	38
	Nov.	4	20	1	50	3	264	84	347	120	0,76	0,02	0,81	0,01	426	44	403	47
	Dez.	4	18	1	52	3	319	77	379	138	0,76	0,02	0,79	0,02	396	21	380	22
2007	Jan.	4	19	0	56	2	299	47	331	64	0,76	0,01	0,79	0,01	399	12	344	23
	Feb.	4	18	0	50	6	339	69	450	191	0,77	0,02	0,79	0,02	406	16	359	10
	Mrz.	3	17	1	47	2	481	184	465	175	0,77	0,02	0,79	0,01	410	2	362	18
	Apr.	2	20	1	50	2	390	16	288	13	0,78	0,00	0,79	0,01	412	29	376	48
	Sep.	1	19		51		302		358		0,77		0,80		443		371	
	Okt.	1	19		60		212		190		0,73		0,77		440		365	
	Nov.	1	17		49		567		1885		0,79		0,86		440		387	
	Dez.	3	17	2	48	2	1266	390	4260	1607	0,78	0,01	0,77	0,01	421	16	347	25
'08	Jan.	1	18		48		1547		4236		0,81		0,80		483		401	

Tabelle 35: Mittelwert und Standardabweichung des qNL-logT-Werts je Haltungsform (n Eier) im **DB-** und **LZ-Projekt**.

	DB-Projekt			LZ-Projekt		
	n	Mw	Sd	n	Mw	Sd
Käfig	222	0,373	0,155	410	0,266	0,077
Boden	177	0,343	0,094	747	0,264	0,062
Freiland	186	0,350	0,136	349	0,300	0,061
Bio	330	0,596	0,212	870	0,387	0,100
Kleinbäuerlich	37	0,536	0,102			

Tabelle 36: Kenngrößen der Schalenstabilität (Mittelwert Mw und Standardabweichung Sd beim Probenumfang n je Stall des **LZ-Projektes** über die Monate Mai bis Dezember 2006).

Stall	n	Max.Kraft / N		Elast.Verf. / mm		
		Mw	Sd	Mw	Sd	
Standort A	kF1	80	38,3	8,0	0,046	0,026
	B1	79	37,0	8,3	0,044	0,028
	K1	80	39,1	8,1	0,042	0,035
Standort B	kF2	80	38,0	8,2	0,042	0,044
	B2	70	40,6	8,7	0,044	0,012
	K2	80	43,2	8,4	0,037	0,023
Boden	B3	80	40,3	8,0	0,035	0,034
	B4	80	38,0	7,3	0,037	0,035
Bio	öF1-S	78	39,2	8,1	0,031	0,034
	öF2	77	39,6	8,8	0,039	0,054
	öF3	77	42,2	8,9	0,035	0,025
	öF4	80	37,6	7,8	0,042	0,026

Tabelle 37: Relativer Gehalt an **gesättigten Fettsäuren** (SAT/ %; Monatsmittelwerte der Stichproben).

Stall		2006							
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Standort A	kF1	31,9	32,0	32,1	32,4	31,0		33,0	34,1
	B1	32,9		31,3	31,8	31,1	30,9	31,4	30,9
	K1	31,9	32,2	32,0	32,2	34,3	30,1	30,8	31,0
Standort B	kF2	37,5	36,6	33,3	38,5	35,7	36,9	35,7	37,6
	B2	40,2	36,1	33,2		36,3	39,5	44,1	36,9
	K2	34,1	35,9	38,3	36,3	45,8	37,6	39,9	35,8
Boden	B3	39,2	34,5	36,4	45,9	35,2	41,4	39,1	47,6
	B4	39,1	35,0	37,5	35,8	41,8	46,0	39,2	35,0
Bio	öF1-S	32,0	31,3	30,6	31,0	31,9	37,1	41,5	32,6
	öF2	32,1	34,0	29,7	34,7	39,3	33,1	43,5	32,7
	öF3	33,9	37,6	31,7	33,6	43,7	31,6	30,1	30,3
	öF4	31,7	31,2	31,9	32,1	37,9	33,3	35,1	33,4

Tabelle 38: Relativer Gehalt an **einfach ungesättigten Fettsäuren** (MUFA/ %; Monatsmittelwerte der Stichproben).

Stall		2006							
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Standort A	kF1	35,2	36,1	35,0	36,6	36,2	37,2	36,7	34,5
	B1	36,2	38,8	35,1	35,1	35,0	34,8	39,0	37,4
	K1	38,5	41,5	36,8	39,7	35,4	39,7	37,7	39,1
Standort B	kF2	47,2	44,6	45,5	42,3	43,3		45,4	44,3
	B2	44,6	44,9	44,3		41,5	41,2	38,4	42,6
	K2	46,3	40,7	40,2	42,5	36,3	39,4	38,3	44,3
Boden	B3	42,7	44,7	43,4	39,3	46,8	41,2	42,1	35,8
	B4	43,4	44,4	43,5	45,2	41,9	38,4	43,0	45,8
Bio	öF1-S	49,6	50,5	43,2	40,1	44,2	42,1	34,5	44,2
	öF2	43,6	42,2	44,7	38,9	38,5	45,7		46,6
	öF3	40,3	41,7	36,9	35,6	28,6	40,7	40,8	40,9
	öF4	48,7	47,8	47,4	40,1	36,6	38,2	43,8	43,6

Tabelle 39: Relativer Gehalt an **mehrfach ungesättigten Fettsäuren** (PUFA/ %; Monatsmittelwerte der Stichproben).

Stall		2006							
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Standort A	kF1	33,0	30,8	32,7	31,2	33,0	30,6	30,9	31,7
	B1	31,0	28,8	31,7	33,9	33,6	34,4	29,6	31,5
	K1	30,1	26,1	29,8	28,1	30,3	30,6	31,5	30,0
Standort B	kF2	16,1	18,6	20,3	19,1	20,2	19,5	18,7	18,4
	B2	15,6	19,0	21,7		22,2	19,1	17,8	20,6
	K2	19,6	23,0	21,3	21,3	17,9	23,2	21,9	20,1
Boden	B3	18,1	20,1	19,6	15,7	18,1	17,5	18,7	17,0
	B4	17,5	20,4	18,6	18,9	16,4	15,8	18,0	19,2
Bio	öF1-S	18,8	17,9	25,7	28,7	24,9	20,5	24,3	23,4
	öF2	24,5	23,5	25,5	25,9	22,5	21,2	21,2	20,6
	öF3	26,1	20,1	30,4	30,9	27,7	27,9	29,3	28,9
	öF4	20,3	20,3	20,4	27,6	25,3	29,2	20,9	23,2

Tabelle 40: Verhältnis von **n6-** zu **n3-Fettsäuren** (Monatsmittelwerte der Stichproben).

Stall		2006							
		Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Standort A	kF1	10,6	9,7	10,8	9,9	9,3	9,8	10,0	10,5
	B1	10,8	10,2	10,7	10,6	9,3	11,0	10,3	9,9
	K1	9,6	9,1	9,7	10,5	9,4	9,6	12,0	10,2
Standort B	kF2	14,4	17,1	14,8	18,4	17,6	21,7	14,9	18,4
	B2	12,3	16,4	13,1		13,7	16,8	11,1	15,7
	K2	8,6	11,1	14,6	10,7	12,0	12,8	11,9	12,0
Boden	B3	10,0	10,8	9,1	9,8	12,2	12,2	10,9	9,5
	B4	13,7	11,6	10,5	11,5	14,8	18,1	17,6	12,2
Bio	öF1-S	12,1	7,9	12,5	11,6	12,0	13,0	14,7	14,5
	öF2	12,0	12,8	10,7	9,9	14,7	15,4	18,9	17,1
	öF3	12,6	10,2	10,6	11,9	10,4	10,5	10,1	11,2
	öF4	8,6	7,3	8,3	9,5	12,4	10,7	9,2	11,2

Tabelle 41: Korrelationskoeffizienten (KK) zwischen 'qNL-logT' und Dottergewicht bzw. Dotterfarbstufe der selbsterstellten sechsstufigen Skala. (Fett gedruckte Werte sind signifikant mit $p < 0,05$.)

Stall		Dottergewicht				Dotterfarbe	
		n _{Juni '06}	KK _{Juni '06}	n _{Dez. '06}	KK _{Dez. '06}	n _{Juli '06}	KK _{Juli '06}
Standort A	kF1	13	0,62	12	0,40	14	0,49
	B1	5	0,67	12	0,46	14	-0,16
	K1	12	0,33	12	0,01	15	-0,22
Standort B	kF2	9	0,60	8	0,51	16	0,10
	B2	11	0,36	14	0,21	18	-0,03
	K2	18	0,10	16	0,44	19	-0,15
Boden	B3	11	0,20	12	0,42	15	-0,51
	B4	12	0,55	8	0,80	20	-0,08
Bio	öF1-S	10	-0,13	17	0,15	16	-0,15
	öF1-B			18	0,34		
	öF2	9	0,30	19	0,42	11	0,22
	öF3	10	-0,27	19	0,65	14	-0,34
	öF4	5	-0,53	16	0,36	17	0,47

ANHANG

Tabelle 42: Vergleich von Dottern mit und ohne Dotterauflagerung/Fleck im **DB-** und **LZ-Projekt** mittels Varianzanalyse. (F-Test mit 'qNL-logT'; fett gedruckte Werte sind signifikant mit $p < 0,05$; Erläuterung der Probenbezeichnungen: s. **Abkürzungen**).

	Probe	n ohne Fleck	Mw ohne Fleck	n mit Fleck	Mw mit Fleck	F-Wert	p
DB	Ö17	2	0,604	10	0,693	3,104	0,109
	Ö13	5	0,592	7	0,682	1,478	0,252
	F22	2	0,325	7	0,343	0,238	0,640
	F17	5	0,250	6	0,278	2,830	0,127
	B8	5	0,485	5	0,493	0,039	0,849
	B15	10	0,355	10	0,365	0,334	0,570
	K15	9	0,334	11	0,343	0,567	0,461
	K16	5	0,613	5	0,611	0,003	0,960
	K18	3	0,233	7	0,300	8,811	0,018
LZ	öF4, Juni '06	3	0,518	15	0,569	0,681	0,422
	öF1-S, Juni '06	2	0,488	16	0,525	0,984	0,336
	kF1, Juni '06	8	0,271	10	0,257	0,948	0,345
	kF1, Okt. '06	11	0,352	8	0,360	0,173	0,683
	B1, Mai '06	7	0,265	5	0,274	0,793	0,394
	B1, Juni '06	4	0,232	5	0,223	0,085	0,780
	K1, Mai '06	4	0,247	6	0,254	0,089	0,774
	K1, Okt. '06	12	0,317	8	0,326	0,356	0,558
	öF4, Dez '06	2	0,407	18	0,416	0,071	0,793
	öF1-B, Feb.	1	0,492	16	0,432	0,954	0,344
	kF1, Nov. '06	5	0,350	12	0,339	0,279	0,605
	kF1, Jan. '07	9	0,374	11	0,367	0,111	0,743
	B1, Jan. '07	4	0,359	4	0,387	0,832	0,397
	B1, Apr. '07	11	0,340	8	0,342	0,027	0,873
	K1, Nov. '06	11	0,356	9	0,365	0,299	0,591
	K1, Jan. '07	7	0,408	12	0,391	1,137	0,301

Tabelle 43: Vergleich von Sommer- und Winterhalbjahr im **DB-Projekt** ('qNL-logT').

	Bio			Freiland			Boden			Käfig		
	n	Mw	Sd	n	Mw	Sd	n	Mw	Sd	n	Mw	Sd
Sommer '05	63	0,701	0,168	30	0,382	0,068	26	0,389	0,077	43	0,496	0,093
Winter '05	195	0,539	0,194	58	0,397	0,089	85	0,360	0,094	65	0,399	0,131
Sommer '06	52	0,778	0,167	62	0,398	0,095	57	0,302	0,092	62	0,413	0,115
Winter '06	20	0,350	0,064	36	0,168	0,149	9	0,308	0,049	52	0,191	0,102

Tabelle 44: Je 10 Klassifizierungsfunktionen der Form 'G (x) = const. + x · k' mit 'x' = 'qNL-logT-Stichproben-Mw' im **DB-Projekt** für die Kategorien 'Konventionell' und 'Bio' (ermittelt aus 10 zufälligen Lern-Stichproben; Bestimmung der **durchschnittlichen Klassifizierungsfunktionen** KF_{Mw} zur Einstufung der Dotter aus kleinbäuerlicher Erzeugung, univariate Diskriminanzanalyse).

	Konventionell		Bio	
	const.	k	const.	k
1	-3,04	13,25	-6,25	20,37
2	-3,85	17,50	-8,36	27,28
3	-2,45	11,18	-5,27	18,07
4	-5,72	25,25	-12,2	38,1
5	-3,28	14,68	-5,95	20,91
6	-3,72	16,73	-9,15	27,95
7	-5,06	22,34	-7,27	27,41
8	-2,89	13,39	-8,75	25,63
9	-7,01	31,76	-11,3	41,2
10	-2,36	10,33	-6,32	19,00
KF_{Mw}	-3,94	17,64	-8,08	26,59

Tabelle 45: Klassifizierungsfunktionen der Form ' $G(x) = \text{const.} + x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2$ ' mit ' x_1 ' = 'qNL-logT-Stichproben-Mw' und ' x_2 ' = 'qNL-loglogT-Stichproben-Sd' im **LZ-Projekt** zur Klassifizierung des jeweils im Spaltenkopf angegebenen Stalls. (Stichprobenumfang je Stall und Monat: n=10, Lern-Stichprobe stellen jeweils die Stichproben aller übrigen Ställe dar.)

		Standort A			Standort B			Boden		Bio			
		kF1	B1	K1	kF2	B2	K2	B3	B4	öF1-S	öF2	öF3	öF4
Konv.	k1	116,45	123,13	118,63	116,34	118,45	126,08	118,44	126,25	152,12	117,95	130,10	115,65
	k2	-72,56	-73,78	-72,74	-75,21	-76,26	-75,93	-73,12	-78,81	-81,57	-85,68	-79,07	-79,38
	const.	-69,61	-71,30	-70,31	-71,66	-72,50	-74,09	-70,87	-76,52	-81,31	-79,84	-76,54	-74,86
Bio	k1	135,76	142,43	136,57	131,94	134,66	141,00	133,89	140,63	166,23	143,86	149,15	131,17
	k2	-68,08	-69,69	-68,21	-70,75	-71,95	-71,24	-68,37	-73,60	-76,97	-77,48	-74,59	-75,23
	const.	-69,34	-71,60	-69,58	-70,38	-71,65	-72,34	-69,19	-73,79	-79,15	-77,16	-76,40	-73,78

Tabelle 46: 'qNL-logT-Stichproben-Mw' (x_1) und 'qNL-loglogT-Stichproben-Sd' (x_2), zur Klassifizierung der *Monatsstichproben* je Versuchsstall im **LZ-Projekt** (*bivariate* Diskriminanzanalyse, Klassifizierungsfunktionen: s. **Tabelle 30**).

		Standort A						Standort B					
		kF1		B1		K1		kF2		B2		K2	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
2005	Mai	0,279	-1,535	0,277	-1,444	0,251	-1,521	0,278	-1,534	0,348	-1,545	0,207	-1,604
	Juni	0,270	-1,628			0,207	-1,439	0,227	-1,667	0,252	-1,747	0,173	-1,651
	Juli	0,347	-1,335	0,359	-1,374	0,314	-1,467	0,263	-1,775	0,244	-1,414	0,188	-1,567
	Aug.	0,294	-1,549	0,313	-1,548	0,314	-1,319	0,244	-1,469			0,204	-1,242
	Sep.	0,332	-1,249	0,338	-1,420	0,286	-1,300	0,255	-1,371	0,200	-1,774	0,194	-1,505
	Okt.	0,347	-1,421	0,320	-1,551	0,324	-1,412	0,305	-1,424	0,223	-1,506	0,224	-1,679
	Nov.	0,338	-1,378	0,319	-1,324	0,370	-1,427	0,263	-1,360	0,204	-1,606	0,200	-1,438
	Dez.	0,373	-1,474	0,366	-1,570	0,346	-1,532	0,282	-1,548	0,252	-1,596	0,233	-1,417

		Boden				Bio							
		B3		B4		öF1		öF2		öF3		öF4	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
2005	Mai	0,266	-1,400	0,281	-1,248	0,459	-1,567	0,293	-1,410	0,379	-1,338	0,396	-1,340
	Juni	0,232	-1,424	0,257	-1,463	0,515	-1,283	0,285	-1,169	0,312	-1,190	0,517	-1,126
	Juli	0,214	-1,329	0,251	-1,451	0,513	-1,281	0,304	-1,015	0,189	-1,489	0,436	-0,898
	Aug.	0,200	-1,523	0,199	-1,462	0,515	-1,076	0,344	-1,479	0,402	-1,391	0,310	-1,232
	Sep.	0,202	-1,615	0,205	-1,626	0,361	-1,128	0,271	-1,654	0,343	-1,383	0,414	-0,918
	Okt.	0,234	-1,616	0,222	-1,508			0,242	-1,432	0,329	-1,301	0,379	-1,220
	Nov.	0,125	-1,74	0,190	-1,244	0,341	-1,203	0,214	-1,789	0,335	-0,959	0,336	-1,420
	Dez.	0,257	-1,419	0,280	-1,298	0,407	-1,204	0,285	-1,471	0,410	-1,447	0,424	-1,253

Danksagung

Abschließend danke ich all denen, die in verschiedenster Hinsicht am Entstehen dieser Arbeit beteiligt waren.

Großen Dank möchte ich vor allem aussprechen:

- **Herrn Prof. Dr. M.A. Grashorn** vom Institut für Tierhaltung und Tierzucht (Univ. Hohenheim). Er zeigte sich den Biophotonen gegenüber sofort aufgeschlossen und machte ein entsprechendes Kooperationsprojekt (LZ-Versuch) mit seinem Institut möglich. Seine hervorragende Betreuung, stets geduldige und freundliche Beratung, Bemühungen um ein Promotionsstipendium und Beschaffung eines Arbeitsplatzes in Hohenheim (im Anschluss an den experimentellen Teil in Neuss) waren sehr wertvoll für mich.
- **Herrn Prof. Dr. F.A. Popp** vom Internationalen Institut für Biophysik (IIB, Neuss). Er animierte mich zu diesem fesselnden Thema, stellte mir seine Messvorrichtungen großzügig zur Verfügung, sorgte für eine finanzielle Basis und ermöglichte mir eine ausgesprochen abwechslungsreiche Zeit in seinem Institut.
- **Frau Prof. Dr. Ch. Bode** vom Institut für Biologische Chemie und Ernährungswissenschaft (Univ. Hohenheim). Sie ermunterte mich zu dieser Arbeit, unterstützte bei der Suche nach finanziellen Mitteln und übernahm – über ihre Emeritierung hinaus – selbstverständlich die zweite Berichterstattung, obwohl ich die Fakultät wechselte.
- **Herrn Prof. Dr. H.P. Piepho** vom Fg. Bioinformatik des Instituts für Pflanzenbau und Grundland (Univ. Hohenheim). Er stand mir bei der statistischen Auswertung unermüdlich Rede und Antwort, kam auf meine 'SOS-Rufe' mit 'SAS®' zur Hilfe und übernahm bereitwillig das Amt des dritten Prüfers.

Besonders danken möchte ich auch:

- **Herrn Dr. Y. Yan** (IIB, Neuss) für so manchen erfolgreichen Ausweg aus messtechnischen Schwierigkeiten, geduldiges Erläutern theoretischer Hintergründe und nicht zuletzt das aufmerksame Lektorat.
- **Daniela Rivatelli** (Univ. Hohenheim) für die klassischen Eiquantitätsuntersuchungen, die so freundschaftlich-angenehme Büronachbarschaft (incl. so mancher leckerer Überraschung) und die wortwörtliche Wegbegleitung (in Laufschuhen...).
- **Frau G. Clostermann** (Versuchsstation „Unterer Lindenhof“, Univ. Hohenheim) für die umfangreiche Fettsäureanalytik im Rahmen des LZ-Projekts.
- **Frau B. Kutritz** (Univ. Hohenheim) für ihre herzliche Statistik-Soforthilfe, 'gleich nebenan'.
- den **acht Leitern der LZ-Projektbetriebe** für ihre Offenheit, die kostenlose Bereitstellung ihrer monatlichen Eierstichproben und den konstruktiven Informationsaustausch.
- **Herrn Carsten Bauck** für die perfekte Transportlösung, das 'sensible Probengut' angehend.
- **Herrn Dr. J. von Oertzen** für die großzügige Übernahme der Versandkosten.

- **Herrn Prof. Dr. W. Bessei** und allen seinen Mitarbeitern für die freundliche Aufnahme in der 'Kleintierzucht', in deren heiterer Atmosphäre ich mich sehr wohlfühlte.
Helga und **Carina** danke ich sehr für ihren spontanen Beistand in der '72h-Aktion' vor der Einreichung.
- der **Landesgraduiertenförderung von Baden-Württemberg** für die Finanzierung des zweiten Abschnitts dieser Arbeit.

Ein herzliches Danke geht an:

- **Jasmin Ankara**, als zeitweiliger IIB-Mitstreiterin, und **Dr. Zafer Ankara** für deren tatkräftige Unterstützung bei den Messungen, wertvolle theoretische Anregungen sowie sehr konstruktives Korrekturlesen.
- **Bärbel Schlecht** für ihr promptes, engagiertes und anregendes Korrigieren der englischen Zusammenfassung.
- **meinen Eltern und Geschwistern**, die jederzeit mit Rat und Tat (**Odi** zusätzlich mit kostbaren 'Vier Rädern') zur Seite standen, insbesondere in den letzten Monaten einen phänomenalen 'Bereitschaftsdienst' boten (...auch wenn Ihr es nicht zugeben wollt, ich weiß, dass es Euch mehr als ein bisschen Zeit und Nerven gekostet hat!), und mir mit ihren Motivationskünsten, sowie unbezahlbarem Lektorat (rund um die Uhr!) aus so manchem 'tiefen Tal' heraushalfen.

Dankbar bin ich für viele offene Ohren, insbesondere von:

- **Herrn Dr. J. Strube** von der KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH, **Herrn Prof. Dr. Wurster** und **Herrn Dr. M. Lacorn** von der Universität Hohenheim, sowie **Prof. Dr. R. Bajpai**, **Prof. Dr. Roeland van Wijk**, **Dr. Eduard van Wijk** und **Dr. Ilya Volodyaev** aus der 'IIB-Familie', sowie meinen beiden Mitdoktoranden **Michael Drexel** und **Erich Schirmmacher**, von deren Fachkenntnis ich viel profitieren durfte.
- **Sophie Cohen** und **Alexander Popp**; ihnen danke ich besonders für die entgegengebrachte Kollegialität während meiner Zeit am IIB.
- meiner Mitstreiterin **Andrea**, die mich in inspirierenden Gesprächen anspornte, etliche Male aufbaute und zum passenden Zeitpunkt perfekte Tipps parat hatte (ich denke da z.B. an Wohnungssuche, Modulwahl,...) sowie der belebenden mittäglichen '**Mensarunde**' und meiner originellen Mitbewohnerin **Jenny**.
- meinen Schulfreundinnen **Anke**, **Judith** und **Miriam**, die in der heißen Phase wohlthuendes Verständnis für meine 'Funkstille' entgegen brachten, und dennoch in passenden Momenten per Telefon, als Lektorin, oder Besuch motivierend zur Stelle waren.
- allen **Neussern**, die mich musikalisch, 'laufend' , kulinarisch und persönlich erbauten.

... sowie Freunden und Bekannten, die durch ihr Interesse anspornten und Mut machten.