

ANNETTE HOFELE

UNTERSUCHUNG ZUR RESISTENZ
DER RASSEN MERINOLANDSCHAF UND RHÖNSCHAF
GEGENÜBER *HAEMONCHUS CONTORTUS* UNTER
BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
VON KREUZUNGSEFFEKTEN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
beim Fachbereich Agrarwissenschaften,
Ökotoxikologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Giessen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2008

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2008

© 2008 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



VVB LAUFERSWEILER VERLAG

édition scientifique

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890

email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Aus dem Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Betreuer: Prof. Dr. Georg Erhardt

**Untersuchung zur Resistenz der Rassen Merinolandschaf und
Rhönschaf gegenüber *Haemonchus contortus* unter
besonderer Berücksichtigung von Kreuzungseffekten**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
beim Fachbereich Agrarwissenschaften,
Ökotrophologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von

Annette Hofele
Dipl. Ing. agr. aus Düsseldorf

Giessen 2008

**Dissertation am Fachbereich Agrarwissenschaften,
Ökotropologie und Umweltmanagement**

Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Dekan: Prof. Dr. Roland Herrmann

Prüfungskommission

Vorsitzender: Prof. Dr. Steffen Hoy

1. Gutachter: Prof. Dr. Georg Erhardt

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Matthias Gauly

1. Prüfer: Prof. Dr. Josef Pallauf

2. Prüfer: Prof. Dr. Hermann Seufert

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Oktober 2008

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 299 der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ durchgeführt und finanziert.

Meinen Eltern

„Mit dem Wissen wächst der Zweifel“

(Johann Wolfgang von Goethe)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen.....	VI
Verzeichnis der Abbildungen	XII
Verzeichnis der Abkürzungen.....	XIII
1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Literaturübersicht.....	3
2.1 Wirtschaftlichkeit von Magen-Darm-Parasitosen beim Schaf und Zucht auf Parasitenresistenz	3
2.2 Verbreitung und Folgen der Anthelminthikaresistenz	4
2.3 Vorteile der Zucht auf Endoparasitenresistenz.....	6
2.4 Charakteristika des Endoparasiten <i>Haemonchus contortus</i>	7
2.5 Wirt-Parasit-Interaktion.....	10
2.5.1 Altersabhängigkeit der Resistenz	11
2.5.2 Geschlechtsunterschiede	12
2.5.3 Ernährungseinflüsse	12
2.6 Physiologische Grundlagen der Parasitenresistenz	13
2.6.1 Anfälligkeit.....	13
2.6.2 Resistenz und Toleranz	14
2.6.3 Immunität.....	15
2.6.3.1 Abwehrmechanismen des Wirtes gegenüber verschiedenen Parasiten	15
2.6.4 Zusammenhänge zwischen genetisch bedingter Resistenz und spezifischer Immunantwort.....	16
2.7 Indikatoren zur Ermittlung der Parasitenresistenz	17
2.7.1 Parasitologische Indikatoren	18
2.7.1.1 Eizahl pro Gramm Kot (EpG)	18
2.7.1.2 Wurmparameter	19
2.7.2 Weitere Indikatoren	20

2.7.2.1	Hämatokrit	20
2.7.2.2	Gewicht.....	20
2.8	Meßmethoden zur Ermittlung der Resistenz.....	22
2.8.1	FAMACHA®-Score-System.....	22
2.8.2	Dag Score.....	23
2.9	Stoffwechselfparameter als Indikator der Parasitenresistenz: Schilddrüsenhormone	
	Thyroxin und Trijodthyronin.....	25
2.9.1	Nichtgenetische und genetische Einflüsse auf den Schilddrüsenstatus.....	25
2.9.2	Wirkung der Schilddrüsenparameter auf das Immunsystem	27
2.10	Molekulargenetische Indikatoren	28
2.11	Genetik der Parasitenresistenz.....	29
2.11.1	Unterschiede zwischen und innerhalb Rassen.....	29
2.11.2	Heritabilitäten, phänotypische und genetische Korrelationen genetischer Parameter zur Schätzung der Parasitenresistenz.....	31
2.11.3	Zusammenhänge mit anderen Krankheiten.....	34
2.12	Heterosis	35
2.12.1	Hypothesen zum Phänomen Heterosis und deren Bedeutung	36
2.12.2	Einflüsse auf die Heterosisausprägung.....	39
2.12.3	Heterosis in verschiedenen Merkmalen bei Schafen.....	40
2.12.4	Heterosiseffekte im Merkmal Parasitenresistenz.....	42
3	Material und Methoden	45
3.1	Tiere und Haltung.....	45
3.1.1	Anpaarungsschema	45
3.1.2	Haltung der Versuchstiere.....	46
3.1.3	Parasitologische Untersuchungen.....	46
3.2	Methoden.....	49
3.2.1	Bestimmung der Kot- und Wurmparameter	49
3.2.1.1	Eizahl pro Gramm Kot.....	49
3.2.1.2	Wurmfzahl und Wurmlänge.....	49
3.2.2	Bestimmung der Blutparameter	50

3.2.3	Bestimmung der visuellen Parameter	51
3.2.3.1	FAMACHA®-Score.....	51
3.2.3.2	Dag Score.....	52
3.3	Erfassung der Leistungsdaten.....	52
3.3.1	Tägliche Zunahmen und Schlachtkörperqualität	52
3.4	Statistische Auswertungen.....	53
4	Ergebnisse.....	55
4.1	Leistungsparameter	55
4.1.1	Gewichtszunahme und Schlachtkörpergewichte	55
4.1.2	Nettozunahmen, Schlachtkörpergewichte und Klassifizierung des Schlachtkörpers.....	58
4.2	Parameter der Parasitenresistenz	62
4.2.1	EpG, Hämatokrit, FAMACHA®-Score und Dag Score.....	62
4.2.1.1	Eizahl pro Gramm Kot.....	62
4.2.1.2	Hämatokrit	65
4.2.1.3	FAMACHA®-Scores	67
4.2.2	Wurmparameter	72
4.2.3	Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin	77
4.3	Phänotypische Korrelationen	79
4.3.1	Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidungsrate (LogEpG) und Wurmbürde	79
4.3.1.1	Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparameter, Eiausscheidung und Wurmbürde beim Merinolandschaf	79
4.3.1.2	Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidung und Wurmbürde beim Rhönschaf	81
4.3.1.3	Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidung und Wurmbürde bei den Kreuzungen Rhönschaf x Merinolandschaf und Merinolandschaf x Rhönschaf	82
4.3.2	Phänotypische Korrelationen zwischen täglicher Zunahme, LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA®-Score, Dag Score sowie Thyroxin- (T ₄) und Trijodthyroningehalt (T ₃)	85
4.3.2.1	Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale beim Merinolandschaf.....	85

4.3.2.2	Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale beim Rhönschaf	88
4.3.2.3	Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf.....	91
4.3.2.4	Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale der Kreuzung Merinolandschaf x Rhönschaf	94
4.3.3	Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter.....	97
4.3.3.1	Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter beim Merinolandschaf.....	97
4.3.3.2	Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter beim Rhönschaf.....	99
4.3.3.3	Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf und Merinolandschaf x Rhönschaf	100
5	Diskussion.....	103
5.1	Leistungsparameter	103
5.2	Heterosiseffekte der Resistenzparameter.....	109
5.2.1	Eizahl pro Gramm Kot (EpG) und Hämatokrit	109
5.2.2	Korrelation zwischen LogEpG und Hämatokrit.....	117
5.2.3	FAMACHA®-Score-System.....	119
5.2.4	Phänotypische Korrelationen zwischen FAMACHA®-Scores, Hämatokrit und LogEpG.....	121
5.2.5	Dag Score.....	123
5.2.6	Phänotypische Korrelationen zwischen Dag Score, LogEpG und Wurmbürde.....	125
5.2.7	Thyroxin und Trijodthyronin	125
5.2.8	Phänotypische Korrelationen zwischen Schilddrüsenhormone und LogEpG sowie Wurmbürde.....	129
5.2.9	Wurmparameter	130
5.2.10	Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter	132
5.2.11	Korrelationen zwischen Lebensstageszunahmen und LogEpG, Hämatokrit sowie Wurmbürde.....	134
5.3	Ausblick für die Züchtung auf Parasitenresistenz	136
6	Zusammenfassung	138
7	Summary	141
8	Literaturverzeichnis.....	144

9	Anhang.....	164
---	-------------	-----

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Vorkommen und Verbreitung von Anthelminthikaresistenzen bei Magen-Darm-Strongyliden der Schafe in Deutschland	6
Tabelle 2: Indikatoren und Messmethoden zur Ermittlung der Parasitenresistenz (nach Beh und Maddox, 1996; Buitkamp <i>et al.</i> , 2002).....	18
Tabelle 3: LSQ-Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamthyroxinkonzentration (T_4 , in nmol/l) im Serum 7, 56, 74 und 90 Tage alter Lämmer der Rassen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Rh x MI bzw. MI x Rh (Hiendleder, 1989).....	27
Tabelle 4: Rassen, Linien, Entstehungsjahre und Heritabilitäten (h^2) von drei australischen Selektionsversuchen auf das Merkmal EpG	31
Tabelle 5: Heritabilitäten (h^2) und Standardabweichungen der Merkmale LogEpG, Hämatokrit 4 und 8 Wochen p.i. sowie die Wurmbürde 4 Wochen p.i. der Rassen Rhönschaf und Merinolandschaf nach Gauly <i>et al.</i> (2002)	34
Tabelle 6: Heterosiseffekte verschiedener Schafrassen und Gewichtsparameter.....	41
Tabelle 7: Anpaarungsschema der Rassen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen (Rh x MI und MI x Rh) beider Versuchsjahre	45
Tabelle 8: Verteilung der Rassen und des Geschlechts der Lämmer der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh zu den Kotprobenahmen 4 und 8 Wochen p.i.	54
Tabelle 9: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen der Gewichte (kg) und der Lebensstageszunahmen (LTZ, g) 4 und 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	55
Tabelle 10: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Geburtstyp und Jahr auf die Gewichte (kg) und Lebensstageszunahmen (LTZ, g) 4 und 8 Wochen p.i.	56

Tabelle 11: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen der Schlachtkörpergewichte (kg) und der Nettozunahmen (g), EUROP- Klassifizierung (1–5) und Fett-Klassifizierung (1–5) der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	59
Tabelle 12: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Jahr, Schlachtkörpergewicht, Geschlecht und Geburtstyp auf Schlachtkörpergewichte (kg), Nettozunahmen (g), EUROP-Klassifizierung (1–5) und Fett-Klassifizierung (1–5)	59
Tabelle 13: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen verschiedener Resistenzparameter 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	63
Tabelle 14: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter LogEpG 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i>	64
Tabelle 15: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameters Hämatokrit 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	65
Tabelle 16: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter Hämatokrit 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i>	66
Tabelle 17: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler, Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameter FAMACHA [®] -Score 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	68
Tabelle 18: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter FAMACHA [®] -Score 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i>	68

Tabelle 19: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler, Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameter Dag Score 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	70
Tabelle 20: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter Dag Score 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i>	70
Tabelle 21: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte der Längen und Anzahl männlicher und weiblicher Würmer sowie der gesamten Wurmbürde der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	72
Tabelle 22: Signifikanzen der Wurmparameter Länge und Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Anzahl der Würmer gesamt.....	73
Tabelle 23: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte der Etablierungsrate (in %) der Würmer, der Fruchtbarkeit der weiblichen Würmer sowie der Relation der männlichen zu den weiblichen Wurmern bei den Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh	75
Tabelle 24: Signifikanzen der Wurmparameter Etablierungsrate (%), Wurmfruchtbarkeit und Relation der männlichen und weiblichen Würmer	76
Tabelle 25: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte von Gesamtthyroxin (T ₄ in µg/dl) und Gesamtrijodthyronin (T ₃ in ng/dl) 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> bei den Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh.....	78
Tabelle 26: Signifikanzen der Schilddrüsenparameter Thyroxin (T ₄) und Trijodthyronin (T ₃) 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i>	78
Tabelle 27: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht vier und acht Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl Würmer der Rasse Merinolandschaf	80

Tabelle 28: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht vier und acht Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl Würmer der Rasse Rhönschaf	81
Tabelle 29: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl Würmer der Kreuzung Rh x MI	83
Tabelle 30: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl Würmer der Kreuzung MI x Rh	84
Tabelle 31: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA [®] -Score, Dag Score, Thyroxin (T ₄), Trijodthyronin (T ₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Merinolandschaf	86
Tabelle 32: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA [®] -Score, Dag Score, Thyroxin (T ₄), Trijodthyronin (T ₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Rhönschaf	89
Tabelle 33: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA [®] -Score, Dag Score, Thyroxin (T ₄), Trijodthyronin (T ₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung Rh x MI	92
Tabelle 34: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA [®] -Score,	

Dag Score, Thyroxin (T ₄), Trijodthyronin (T ₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung MI x Rh.....	95
Tabelle 35: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Merinolandschaf.....	97
Tabelle 36: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Rhönschaf.....	99
Tabelle 37: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung Rh x MI.....	100
Tabelle 38: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> , Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung MI x Rh.....	101
Tabelle 39: Korrelationen des FAMACHA [®] -Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> bei der Rasse Rhönschaf.....	164
Tabelle 40: Korrelationen des FAMACHA [®] -Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> bei der Rasse Merinolandschaf.....	164
Tabelle 41: Korrelationen des FAMACHA [®] -Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> bei der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf (Rh x MI).....	165
Tabelle 42: Korrelationen des FAMACHA [®] -Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen <i>p.i.</i> bei der Kreuzung Merinolandschaf x Rhönschaf (MI x Rh).....	165

Tabelle 43: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler von Hämatokrit, FAMACHA [®] -Score und Dag Score beim Absetzen der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh.....	166
Tabelle 44: Differenzen der Parameter Hämatokrit, FAMACHA [®] -Score, und Dag Score zu den Proben 4 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh.....	167
Tabelle 45: Differenzen der Parameter Hämatokrit, FAMACHA [®] -Score und Dag Score zu den Proben 8 Wochen <i>p.i.</i> der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh.....	168
Tabelle 46: Verpaarung der Rasse Merinolandschaf mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer und deren Geburtsdatum.....	169
Tabelle 47: Verpaarung der Rasse Rhönschaf mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer und deren Geburtsdatum.....	170
Tabelle 48: Verpaarung der Rassen Rhönschaf (Bock) und Merinolandschaf (Mutter) mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer (Rh x Ml) und deren Geburtsdatum	172
Tabelle 49: Verpaarung der Rassen Rhönschaf (Bock) und Merinolandschaf (Mutter) mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer (Rh x Ml) und deren Geburtsdatum	176

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Versuchsablauf des ersten Jahres.....	48
Abbildung 2: Versuchsablauf des zweiten Jahres	48
Abbildung 3: Farbkarte des FAMACHA®-Score-Systems nach ©LHPG	51
Abbildung 4: Schema zur Beurteilung des Verschmutzungsgrades (Dag Score).....	52
Abbildung 5: Verteilung der Genotypen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen in der EUROP-Klassifizierung (E = 1, P = 5)	61
Abbildung 6: Verteilung der Genotypen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen in der Fett-Klassifizierung	61

Verzeichnis der Abkürzungen

ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
EpG	Eizahl pro Gramm Kot
EUROP	EUROP-Klassifizierungsschema
h^2	Heritabilität
Ig	Immunglobulin
L3/4	Larvenstadium 3/4
LogEpG	logarithmierte Eizahl pro Gramm Kot
LSQ	Last Square Means
LTZ	Lebenstageszunahmen
MHC	Major Histocompatibility Complex
Ml x Rh	Kreuzung aus Merinolandschaf-Bock mit Rhönschaf-Mutter
Ml	Merinolandschaf
MS	Ostfriesisches Milchschaft
n	Anzahl
n.s.	nicht signifikant
p	Signifikanz
<i>p.i.</i>	post infectionem
PCV	Packed cell volume
QTL	Quantitative Trait Loci
r	Korrelation
Rh x Ml	Kreuzung aus Rhönschaf-Bock mit Merinolandschaf-Mutter
Rh	Rhönschaf

RIA	Radioimmunoassay
rp	Phänotypische Korrelation
SE	Standardfehler
SF	Schwarzköpfiges Fleischschaf
T ₃	Trijodthyronin
T ₄	Thyroxin

1 Einleitung und Fragestellung

Für kleine Wiederkäuer stellt der Befall mit Magen-Darm-Parasiten weltweit eine hohe gesundheitliche Belastung dar (Schallig *et al.*, 2000). Durch die damit einhergehenden Verluste kommt es zu ökonomischen Einbußen in der Schafhaltung (Perry und Randolph, 1999). Zu den bedeutendsten Magen-Darm-Parasiten zählt *Haemonchus contortus*, ein weltweit verbreiteter blutsaugender Parasit mit höchster Pathogenität.

Die Bekämpfung von Magen-Darm-Parasiten wird seit Jahrzehnten mittels Anthelminthika durchgeführt. Seit den 90er Jahren nimmt jedoch die Resistenzausbildung in den Parasitenstämmen gegen die gängigsten der Wirkstoffgruppen zu. Die Verbreitung derartiger Resistenzen wurde in den meisten Ländern Australiens, Süd-Ost-Asiens, sowie Süd- und Nordamerikas, Afrikas und Europas gut dokumentiert (Waller, 1997, 2005). Eine deutliche Tendenz zur Resistenzsteigerung konnte auch in Deutschland beobachtet werden (Hertzberg und Bauer, 2000; Born und Bauer, 2002; Moritz *et al.*, 2003).

Wegen der wachsenden Bedeutung einer extensiven und ökologischen Haltung von Schafen ist langfristig nach Alternativen zu den herkömmlichen Behandlungsmethoden zu suchen. Inzwischen hat man die Kenntnis gewonnen, dass eine nachhaltige Parasitenkontrolle ohne Anthelminthikaeinsatz auf einem „integrierten Parasitenmanagement“ (IPM = Integrated Parasite Management) basieren muss. Eine Komponente des IPM ist die Zucht auf gesteigerte Immunkompetenz des Wirtes (Karlsson und Greeff, 2005b).

Mittlerweile existiert für alle Nutztierspezies und für alle Typen von Parasiten eine Vielzahl von Untersuchungen hinsichtlich der genetischen Resistenz des Wirtes gegenüber Erregern (Bishop und Stear, 2003). Variabilität in der Krankheitsresistenz bzw. in der Anfälligkeit konnte bei Spezies, Rassen sowie zwischen Individuen einer Rasse nachgewiesen werden. Besonderes Interesse fand die Beobachtung, dass die Resistenz gegenüber *Haemonchus contortus* auch der genetischen Kontrolle unterliegt

Einleitung und Fragestellung

und eine moderate Heritabilität im Merkmal der Eiausscheidung in Lämmern und Schafen aufweist (Woolaston und Baker, 1996; Gray, 1997; Bishop und Stear, 1999; Bishop *et al.*, 2004; Gauly und Erhardt, 2001; Gauly *et al.*, 2002).

Die Kreuzungszucht wurde in der Schafproduktion bereits zur Verbesserung der Merkmale der Mastleistung sowie der Wachstums-, Überlebens- und Fruchtbarkeitsrate als wirkungsvolle Methode verwendet (Waßmuth, 1990; Krogmeier *et al.*, 1990; Fadili und Leroy, 2001). Hierbei wirken nicht-additive genetische Effekte, so genannte individuelle Heterosiseffekte, die zu einer prozentualen Leistungssteigerung der Kreuzungsnachkommen gegenüber dem Mittel ihrer elterlichen Reinzuchtpopulation führen. Bei der individuellen Heterosis werden die Effekte direkt auf den Genotypen zurückgeführt. Auch im Merkmal Parasitenresistenz konnten durch das Kreuzen verschiedener Rassen günstige Effekte hinsichtlich der Wirtabwehr beobachtet werden (Amarante *et al.*, 1999a und b; Li *et al.*, 2001).

Für die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf konnten bereits Parameter der genetisch bedingten Parasitenresistenz gegenüber *Haemonchus contortus* ermittelt werden (Gauly und Erhardt, 2001; Gauly *et al.*, 2002; Janßen, 2003). Zur Untersuchung der Kombinationseignung der beiden Rassen im Hinblick auf das Merkmal Parasitenresistenz wurden in der vorliegenden Arbeit reziproke Kreuzungen erstellt. Es galt die Hypothese zu prüfen, dass das Merkmal Parasitenresistenz gegenüber *Haemonchus contortus* mittels Kreuzung der Rasse Merinolandschaf mit der anspruchsloseren Rasse Rhönschaf verbessert werden kann. Dazu wurden verschiedene Parameter der Parasitenresistenz bestimmt und hinsichtlich auftretender individueller Heterosiseffekte analysiert. Weiterhin wurde untersucht, wie sich die Mast- und Schlachtleistungsmerkmale der reziproken Kreuzungen unter parasitärer Belastung gegenüber den Reinzuchten darstellen und wie hoch die heterotischen Effekte für diese Merkmale ausfallen.

2 Literaturübersicht

2.1 Wirtschaftlichkeit von Magen-Darm-Parasitosen beim Schaf und Zucht auf Parasitenresistenz

Umfassende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Belastungen von Schafen durch Nematoden weltweit zu den größten ökonomischen Verlusten führen (Perry und Randolph, 1999).

Bei der Messung von Produktionsverlusten, die durch Parasitismus hervorgerufen werden, treten methodische Schwierigkeiten auf. Es ist offensichtlich nicht möglich, die Parasitenbürde während eines längeren Zeitraumes konstant zu halten, so dass die Veränderungen im Wollgewicht, Faserstärke, Körpergewicht, Reproduktionsrate und Grasaufnahme nicht auf eine bestimmte Wurmbelastungsintensität zurückgeführt werden können. Parasitismus *per se* hat nach Woolaston *et al.* (1990) keinen ökonomischen Wert. Eine Einstufung der Resistenz ist nur durch eine Korrelation des Parasitenbefalls mit den Produktionsmerkmalen möglich (Woolaston *et al.*, 1990).

Albers *et al.* (1990) konnten negative Auswirkungen einer einmaligen *Haemonchus contortus*-Infektion auf die Lebensstageszunahme und das Wollwachstum bei jungen Merinos zeigen. Gegenüber einer nicht infizierten Kontrollgruppe reduzierten sich die Lebensstageszunahmen um 38% innerhalb von 8–9 Wochen *p.i.* Die Wollproduktion sank um 6,8% und der Faserdurchmesser um 0,57 μm in einem Zeitraum von vier Monaten *p.i.*

Es gibt Ansätze zur Bestimmung von Vorteilen einer Resistenz. So haben Rigby *et al.* (2002) die Einsparungen, die über die genetischen Resistenz erzielt werden könnten, über die Merkmale der Fitness, wie die Überlebensrate, die Fruchtbarkeit und die Wachstumsrate gemessen. Dabei setzten die Autoren die bekannte genetische Resistenz ins Verhältnis zu den Fitnessparametern.

McLeod (1995) konnte die Kosten, die durch dominierende Parasiten in der australischen Tierproduktion entstehen, durch ein Gewinn-Verlust-Modell schätzen.

Literaturübersicht

Die höchsten Verluste in der australischen Schafhaltung werden durch Rundwürmer verursacht und auf 222 Millionen australische Dollar pro Jahr geschätzt (McLeod, 1995). Eine signifikante Anzahl dieser Parasiten verursacht verminderte Wollerträge, eine Reduktion der Lebendgewichte sowie eine zunehmende Sterblichkeit der Tiere. Ein Viertel der Kosten fällt durch Arbeit und chemische Behandlung an, die übrigen Kosten werden durch Produktionsverluste verursacht und auf 141 Millionen australische Dollar pro Jahr geschätzt (McLeod, 1995). Durch die ansteigende Resistenz der Parasiten gegenüber Anthelminthika (Hertzberg und Bauer, 2000) ist damit zu rechnen, dass seitdem die Kosten angestiegen sind.

Bishop und Stear (2003) modellierten Ansätze, die zur Lösung von Fragestellungen hinsichtlich des Erfolges und der Wirtschaftlichkeit genetischer Selektion zur Kontrolle von Nematodeninfektionen dienen. Durch ein Modell konnte vorhergesagt werden, dass die genetischen Zusammenhänge, insbesondere zwischen der Resistenz gegenüber *T. circumcincta* und Leistung positiv sein werden; d.h., dass der Gewinn durch eine ansteigende Resistenz die dadurch entstehenden Kosten ausgleichen wird. Der Gewinn wird umso höher, je stärker die Parasitenbelastung ansteigt.

2.2 Verbreitung und Folgen der Anthelminthikaresistenz

Die Anthelminthikaresistenz wird bereits seit vier Jahrzehnten weltweit beobachtet (Waller, 1997; Jackson und Coop, 2000). Sie wurde bei einer Vielzahl von Parasitenspezies nachgewiesen und ist global unter verschiedensten Umweltbedingungen angestiegen. Somit stellt sie für die Tierproduzenten ein wachsendes Problem in der Bekämpfung von Nematoden dar (Freeman *et al.*, 2003).

In vielen Regionen der südlichen Hemisphäre haben die multiplen Resistenzen der Parasiten zu einer Existenzbedrohung der Schafzuchtbetriebe geführt (Jackson und Coop, 2000).

Südamerika ist eine der am stärksten betroffenen Regionen. Hier liegt der höchste und weitverbreitetste Grad der Anthelminthikaresistenz der Welt vor.

Literaturübersicht

Auch Südafrika kann als „hot spot“ der Anthelminthikaresistenz betrachtet werden. Dort wurden die ersten resistenten Stämme gegenüber Benzimidazol, Lavamisol, Salyzilanilid, Ivermectin und Stämme mit multiplen Resistenzen bekannt (Waller, 1997). Auf Grund der Anthelminthikaresistenz der Trichostrongyliden (besonders bei *Haemonchus contortus*) geriet die Schafproduktion in eine wirtschaftliche Krise (Van Wyk *et al.*, 1999). Auch in Nordamerika wurden resistente Parasitenpopulationen beobachtet (Waller, 1997).

Ebenso wurde aus europäischen Ländern, wie Großbritannien, Deutschland, Frankreich und Spanien von einer zunehmenden problematischen Situation in der Anthelminthikaresistenz berichtet (Waller, 1997; Requejo-Fernandez *et al.*, 1997; Chartier *et al.*, 1998; Jackson und Coop, 2000; Hertzberg und Bauer, 2000).

Für Mitteleuropa stellt die Anthelminthikaresistenz in Strongyloidenpopulationen mittlerweile das therapeutisch und wirtschaftlich größte Problem in der Parasitenbekämpfung bei kleinen Wiederkäuern dar (Hertzberg und Bauer, 2000).

In Deutschland wurden Resistenzen in einzelnen Bundesländern untersucht und Benzimidazol-resistente *Haemonchus contortus*-Stämme nachgewiesen (Tabelle 1). Benzimidazol- und möglicherweise auch Levamisol-resistente Magen-Darm-Strongyloidenpopulationen wurde in südbayrischen Schafbeständen erfasst (Dorn, 1997). Benzimidazol-resistente *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia colubriformis* und möglicherweise auch *Ostertagia circumcincta* wurden in einer nordhessischen Ziegenherde im kontrollierten Test nachgewiesen (Bauer, 1998 unveröffentlicht in Hertzberg und Bauer, 2000). Verschiedene Studien befassen sich mit dem Vorkommen resistenter Stämme gegenüber Benzimidazolen (s. Tabelle 1). So wurden beispielsweise in 23% von 105 hessischen Schafherden Benzimidazol-resistente *Haemonchus contortus* nachgewiesen (Enninga *et al.*, 1990).

Tabelle 1: Vorkommen und Verbreitung von Anthelminthikaresistenzen bei Magen-Darm-Strongyliden der Schafe in Deutschland

Bundesland	Anzahl Betriebe	Jahr	Verbreitung von Resistenzen gegen Benzimidazole %	Autoren
Hessen	10	1987	20	Bauer <i>et al.</i> (1988)
Hessen	105	1988	23	Enninga <i>et al.</i> (1990)
West-deutschland	19	1991	26	Düwel (1991)
Südbayern	30	1996	Resistenz nachgewiesen	Dorn (1997)
Schleswig-Holstein	40	2000-2001	>60	Born und Bauer (2002)
Niedersachsen	30	2001-2002	60	Moritz <i>et al.</i> (2003)

2.3 Vorteile der Zucht auf Endoparasitenresistenz

Bei Integration der Parasitenresistenz in ein Zuchtprogramm werden die Parameter der genetisch bedingten Parasitenresistenz genutzt und Zuchtwerte geschätzt. Tiere, die eine gesteigerte Elimination von Parasiten zeigen, können durch die Ermittlung der Parameter identifiziert und zur Steigerung dieses Merkmales in der Population zur Zucht genutzt werden. Die Vorteile, die genetisch bedingte Parasitenresistenz als Zuchtziel zu verankern, bestehen vor allem in der Reduzierung des Anthelminthikaeinsatzes. Mögliche Rückstände der Wirkstoffe in den tierischen Produkten können folglich gemindert werden und weniger der Umwelt zugefügt werden (Roos, 1997).

Galvani (2003) stellte fest, dass nur 20–30% der Tiere einer Herde 70–80% der Wurmbürde tragen. Werden diese Tiere identifiziert und ausschließlich diese mit Anthelminthika behandelt, könnte eine größere Anzahl an Würmern mit einem Genpool, der sensibel auf Anthelminthika reagiert, *in refugia* überleben. Somit könnte die Anzahl der Würmer, die resistente Allele tragen und weiter vererben, gemindert

Literaturübersicht

und die Weiterverbreitung der Anthelminthikaresistenz reduziert werden (Waller, 1997; Hertzberg und Bauer, 2000).

Barger (1993) beobachtete eine um 10–20% geringere Parasitenbelastung bei selektierten gegenüber nicht selektierten Schafen, so dass dieses Zuchtmerkmal eine Möglichkeit mit Potential darstellt. Innerhalb einer Herde verringert sich die Anzahl intestinal erkrankter Tiere, da resistente Tiere weniger pathogenes Agens übertragen, wodurch es zu einer geringeren Kontamination der Weideflächen kommt. Trotz Reduktion des Anthelminthikaeinsatzes bewirkt der reduzierte Infektionsdruck auf der Weide eine bessere Gewichtszunahme bei resistenten Tieren im Vergleich zu unselektierten Tieren (Hertzberg und Bauer, 2000).

Insbesondere für ökologische Haltungssysteme, die von medikamentösen Behandlungsmethoden absehen, stellt die Zucht auf Resistenz ein potentiell Kontrollprogramm gegen Parasiten dar (Waller und Thamsborg, 2004).

Durch die Untersuchung der Mechanismen, die für eine Krankheitsresistenz verantwortlich sind, ergeben sich verschiedene Vorteile hinsichtlich der Vermeidung von Krankheiten. Erstens ist es möglich, Prozesse zu erkennen, die als indirekte Selektionskriterien dienen können und zweitens können Gene identifiziert werden, die an der Resistenzerscheinung mitwirken und zukünftig als genetische Marker genutzt werden können (Raadsma *et al.*, 1997a).

Daneben stellt die Untersuchung der Parasitenresistenz ein mögliches Werkzeug zur Erforschung biologischer Beziehungen zwischen Parasit und Wirt dar (Sangster, 1999).

2.4 Charakteristika des Endoparasiten *Haemonchus contortus*

Der blutsaugende Parasit *Haemonchus contortus* ist Erreger der Haemonchose, welche durch eine hochgradige Anämie und Ödeme charakterisiert ist (Waller *et al.*, 2004). Zurückzuführen sind diese Symptome auf den hohen Blutverbrauch der adulten Würmer von bis zu 50 µl pro Wurm und Tag (Dargie und Allonby, 1975). Durch die

Literaturübersicht

Anämien kommt es zu geringen Wachstumsraten und Gewichtsverlusten der Tiere. Todesfälle können bei sehr starker Infektion auftreten (Schnieder, 2000).

Haemonchus contortus gehört zur Familie der Trichostrongylidae. Die Larven in den ersten drei Stadien sind frei lebend (Mehlhorn und Piekarski, 1998; Eckert *et al.*, 2000). Die Larven im Stadium L3, L4 und die adulten Larven befinden sich im Abomasum von Wiederkäuern (Bauer, 1990; Eckert *et al.*, 2000). Die Larven durchwandern innerhalb von vier Tagen zwei nicht infektiöse Larvenstadien (L1 und L2). In diesen Stadien leben sie auf organischem Material im Kot und in der Umwelt. Es folgt die Entwicklung zum infektiösen Stadium L3, wobei die Entwicklungsgeschwindigkeit wesentlich von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängt.

Larven des infektiösen 3. Stadiums werden vom Wirt oral mit dem Futter aufgenommen. Danach beginnt die internale Entwicklung. Die Larven siedeln sich in der Labmagenschleimhaut an. Dort erlangen sie das vierte Stadium. Die Präpatenzzeit liegt zwischen 12 und 21 Tagen (Lucius und Loos-Frank, 1997). Nach Bürger (1992) liegt diese bei Lämmern zwischen 12 und 15 Tagen und bei Schafen zwischen 16 und 24 Tagen.

Der adulte Wurm ist nach 18 Tagen zur eigenen Eiablage fähig. Die Eianzahl nimmt pro Tag stetig zu und erreicht ihr Maximum am 25.–30. Tag (Blood *et al.*, 1983). Ein Weibchen soll pro Tag 5000–10000 Eier ablegen können (Lucius und Loos-Frank, 1997), womit der Entwicklungskreislauf von neuem beginnt.

Bei einer monatlichen Durchschnittstemperatur von 18°C und einem Minimum an durchschnittlichem Regenfall von 50 mm liegen nach epidemiologischen Studien von Gordon (1948) beim Schaf die ungünstigsten Umweltbedingungen für *Haemonchus contortus* vor. Danach muss man davon ausgehen, dass für den Parasiten in den humiden Tropen und Subtropen besonders günstige Lebens- und Entwicklungsbedingungen vorherrschen. Trotzdem hat sich *Haemonchus contortus* auch in europäischen Ländern, wie Großbritannien, Frankreich, Schweden und Deutschland etabliert (Jackson and Coop, 2000; Hertzberg und Bauer, 2000; Hoste *et al.*, 2002; Waller

Literaturübersicht

et al., 2004). Dies lässt sich entweder mit der Entwicklung einer höheren Kältetoleranz begründen oder der Entwicklung spezieller Überlebensstrategien während des parasitären Stadiums im Wirt erklären (Waller *et al.*, 2004).

Der Parasit besitzt die Fähigkeit in eine Hypobiose oder einer unterbrochenen Entwicklung im L4-Stadium überzugehen, um somit kalte Wintertemperaturen zu überleben (O'Connor *et al.*, 2006). Dieses Phänomen wurde erstmals von Connan (1971; 1975) in Südost England und Waller und Thomas (1975) in Nordost England beschrieben, wo die Haemonchosen sporadisch auftrat und mit langen Perioden von L4 Inhibition und relativ kurzen frei lebenden Larvenstadien einherging.

Die Inhibition ist bei *Haemonchus contortus* genetisch verankert und beschreibt die Eigenschaft der Larve, in der Magen-Darm-Schleimhaut in einen Ruhezustand überzugehen. Auslösende Faktoren für die Inhibition sind verschiedene Umweltparameter, wie Tageslichtlänge und Klimaverhältnisse. Physiologische Einflussgrößen (z.B. Laktation) von Seiten der Wirtstiere spielen ebenfalls eine Rolle (Benesch, 1993).

Bei *Haemonchus contortus* ist die Inhibition, auch Hypobiose genannt, stark ausgeprägt. Jeweils ab Mitte Juli kann die Ausbildung von hypobiotischen Stadien beginnen. In den Folgemonaten erhöht sich der Anteil der in dieses Stadium kommenden Larven. Im Oktober ist dann die gesamte *H. contortus*-Population betroffen (Connan, 1971). Die Überlebenschancen des Parasiten erhöhen sich durch das Verbleiben im Wirt bis die schlechten Umweltbedingungen außerhalb des Wirtes überbrückt sind. Durch dieses Phänomen kommt es schließlich zu einer erhöhten Kontamination der Umwelt (Amour, 1980).

Bei trächtigen Mutterschafen ist die Eiausscheidung um den Geburtstermin („periparturient egg rise“) und während der Laktation erhöht (Lucius und Loos-Frank, 1997), wodurch es in der Ablammzeit zu einer erhöhten Kontamination der Weiden mit Parasiten kommt. Diese Erscheinung ist auf das Hormon Prolaktin zurückzuführen (Rommel, 2000). Dabei spielt offensichtlich auch eine genetische Komponente eine

Rolle. Bishop und Stear (2001) wiesen bei laktierenden Scottish-Blackface-Mutterschafen unter natürlichen Mischinfektionsbedingungen eine mittlere Heritabilität für die Höhe der Eiausscheidung nach. Es wurde deutlich, dass die Eiausscheidung mit zunehmendem Reproduktionsstress, der durch Mehrlingsgeburten und durch die Anzahl aufgezogener Lämmer determiniert war, anstieg.

2.5 Wirt-Parasit-Interaktion

Der Verlauf der Infektion mit Magen-Darm-Strongyliden ist unterschiedlich in Abhängigkeit von Genotyp, Rasse, Alter, Geschlecht, Ernährungs- und Gesundheitsstatus des Wirtes sowie von der Infektionsdosis.

Die Phänomene „self-cure“, „self-cure and protection“ und Exklusion sind Abwehrreaktionen des Wirtes auf die Infektion mit dem parasitären Erreger. Nach Stoll (1929) spricht man von „self-cure“, wenn die bereits vorhandenen, adulten Wurmbürden im Abwehrgeschehen eliminiert werden, die neue Larvencharge sich aber zu einem erheblichen Teil ansiedeln kann. Werden dagegen zusätzlich auch die neu aufgenommenen Larven an der Ansiedlung gehindert, spricht man von „self-cure and protection“ (Gordon, 1948) oder „resistance to establishment“ (Michel, 1985). Durch dieses Phänomen bleiben kaum Würmer im Labmagen zurück. Hierfür ist jedoch für die Produktion einer ausreichenden Antikörpermenge die Aufnahme einer hohen Larvendosis als Antigen notwendig. Bei einer niedrigen Larvendosis kommt es zu einem zu geringen Antigenreiz, so dass sich Larven ansiedeln, ohne dass sich die adulte Bürde vermindert.

Bei der Exklusion können die Larven nicht in die Labmagenkrypten einwandern. Sie verbleiben einen Tag an der Schleimhautoberfläche und werden dann aus dem Labmagen eliminiert, ältere Stadien dagegen bleiben unbeeinflusst. Als Mechanismus der Exklusion und der Elimination adulter Würmer wird eine allergische Sofortreaktion vermutet, wobei exkretorisch-sekretorische und somatische Larvenantigene auslösend sein können. Bei immunen Tieren treten gehäuft Mastzellen in der Labmagenmukosa und vermehrt Schollenleukozyten und Mastzellproteinase auf (Rommel, 2000). Bei

ausbleibender Immunantwort kommt es nicht zu Mastzellenproliferation und -reaktion.

2.5.1 Altersabhängigkeit der Resistenz

Die Endoparasitenresistenz entwickelt sich erst durch eine Nematodenbelastung, wobei auch das Alter des Wirtes Einfluß auf die Ausprägung des Phänomens nimmt. Auf Grund von immunologischer Unterfunktion reagieren junge Wiederkäuer in der Regel anfälliger auf Infektionskrankheiten als ausgewachsene Tiere. Junge Schafe haben verglichen mit adulten Schafen signifikant geringere Gehalte an CD4⁺- und CD8⁺-Lymphozyten, aber einen ähnlichen Gehalt an T19⁺- und B-Lymphozyten im Blut, in den Lymphen und in der Haut. Lymphozyten von Lämmern produzieren in der Kultur weniger Interferon- γ und verursachen eine geringere Antikörper-Antwort als die ausgewachsener Schafe (Colditz *et al.*, 1996). Offensichtlich muss sich eine Immunität erst entwickeln (Stear *et al.*, 1999b).

Studien, in denen die Eiausscheidung von Lämmern über Monate bzw. Jahre hinweg untersucht wurde, haben gezeigt, dass eine Resistenz, die sich im Lammalter entwickelt, bestehen bleibt und sich die Heritabilität des Merkmals EpG mit dem Alter steigert (Woolaston *et al.*, 1990; Bishop *et al.*, 1996). Bishop *et al.* (1996) beobachteten bei Scottish Blackface-Lämmern, dass die Heritabilität der EpG bei Null lag, als die Lämmer ein bis zwei Monate alt waren. Der Erblichkeitsgrad stieg auf 0,33 an, als die Tiere ein Alter von sechs Monaten erreichten.

Amarante *et al.* (1999b) fassten zusammen, dass Intensivrassen nach Eintritt der Geschlechtsreife eine zweite Infektion besser abwehren konnten im Vergleich zu Extensivrassen, bei denen das Alter einen geringen oder keinen Effekt auf die Parasitenresistenz hatte.

Gauly und Erhardt (2001) beobachteten für die Rasse Rhönschaf nach einer natürlichen Infektion einen signifikanten Alterseinfluss auf die Eiausscheidung ($p < 0,05$). Im Alter

von 28–40 Wochen zeigten die Lämmer die höchsten Werte, die nach Erreichen der 44. Lebenswoche sanken.

Eine Immunität gegen Trichostrongyloiden ist erst im Alter von 1–2 Jahren vollständig erreicht (Waller und Thomas, 1981; Lloyd und Soulsby, 1987; Bürger, 1992; Bostedt und Dedié, 1996; Amarante, *et al.*, 1999b).

2.5.2 Geschlechtsunterschiede

Nach Amarante *et al.* (1999b) sind Geschlechtsunterschiede erst nach Eintritt der Geschlechtsreife signifikant. Sie beobachteten, dass weibliche Schafe nach einer zweiten Infektion resistenter waren als Böcke.

Beim Resistenzvergleich von Merinolandschafen und Rhönschafen wiesen die Merinolandschafe keinen signifikanten Geschlechterunterschied auf, während die EpG der Rhönschafe bei den männlichen Lämmern signifikant höher waren als bei den weiblichen Lämmern (Gauly *et al.*, 2002). Dagegen wurde in einer vorausgegangenen Studie an Rhönschafen kein deutlicher Geschlechtseinfluss auf die EpG festgestellt (Gauly und Erhardt, 2001). Gauly *et al.* (2006) stellten beim Vergleich dieser Rassen einen signifikanten Geschlechterunterschied innerhalb der Genotypen fest. Hierbei wurden bei männlichen Lämmern vier Wochen nach einer experimentellen Infektion mit 5000 *Haemonchus contortus*-Larven signifikant positive Korrelationen zwischen Testosteronergehalten und Wurmbürde festgestellt.

2.5.3 Ernährungseinflüsse

Bereits Studien von Allonby und Dargie (1973) haben gezeigt, dass eine suboptimale Ernährung eine Rolle bei der Aetiologie von Haemonchosen spielen kann.

Durch Fütterung kann die Fähigkeit eines Wirtes dahingehend beeinflusst werden, dass dieser die Konsequenzen einer Parasiteninfektion kompensieren kann. Eine zusätzliche Proteinzufuhr kann in wachsenden Lämmern zur Steigerung der Immunität gegenüber gastrointestinalen Nematoden führen (Coop und Kyriazakis, 2001).

Literaturübersicht

Die Proteinergänzung beeinflusst verschiedene Mechanismen der Immunantwort. In der gastrointestinalen Mukosa von infizierten Tieren, die eine Proteinergänzung erhielten, stieg die Anzahl an Eosinophilen, globulären Leukozyten und Mastzellen sowie die Konzentration der Mastzellenprotease an (van Houtert *et al.*, 1995; Coop *et al.*, 1995).

Eine erhöhte Bereitstellung von Proteinen während der frühen Periode einer Infektion mit *Haemonchus contortus* kann die späteren Stadien der Entwicklung der Wirtsresistenz beeinflussen. Die Ergebnisse einer Studie von Datta *et al.* (1999) lassen vermuten, dass die Ausbildung einer Immunität vom Grad der bereitgestellten Proteine abhängig ist. Ein langfristiger Gewinn konnte durch Fütterung höherer Proteinrationen (ME 9 MJ/kg, 19–22% Rohprotein) in einer Periode von neun Wochen im Stall erreicht werden. Nach dem Weideaustrieb zeigten die auf diese Weise gefütterten Tiere höhere Lebensstageszunahmen und verbesserte Wollproduktion sowie niedrigere EpG beim anschließenden Grasens auf infizierten Weideflächen. Dieser vorteilhafte Effekt der anfänglichen Supplementation blieb für über ein Jahr erhalten (Datta *et al.*, 1999).

Verschiedene sekundäre Pflanzenmetabolite haben antiparasitische Eigenschaften, so z.B. Phenolmetabolite, Nitrogen enthaltende Metabolite und Terpenoide (Berenbaum, 1991). Diese Stoffe können in der Fütterung eingesetzt werden, um die Anfälligkeit bzw. die Resistenz von Wiederkäuern zu beeinflussen.

2.6 Physiologische Grundlagen der Parasitenresistenz

2.6.1 Anfälligkeit

Der Terminus Anfälligkeit ist definiert als ein physiologischer Zustand eines Wirtes, der einem infizierenden Organismus alle notwendigen Bedingungen für das Wachsen, Entwickeln und Reproduzieren zur Verfügung stellt (Wakelin und Blackwell, 1988).

2.6.2 Resistenz und Toleranz

Mit Resistenz wird die Fähigkeit eines Wirtes bezeichnet, die Anzahl der sich entwickelnden, reproduzierenden oder der überlebenden Parasiten zu reduzieren (Gray, 1991).

Eine Resistenz liegt dann vor, wenn ein Erreger in einem bestimmten Wirt nicht entwicklungsfähig ist (Frank, 1976).

Die Nematodenresistenz kann über parasitologische und immunologische Parameter sowie Produktionsparameter ermittelt werden.

Im parasitologischen Sinne wird Resistenz als die gesteigerte Fähigkeit verstanden, eine Einnistung der Nematodenlarven zu verhindern und ihre Elimination zu fördern.

Immunologisch manifestiert sich eine Resistenz u. a. in der reduzierten Eiauscheidungsrate, kann aber auch über eine Reihe von anderen immunologischen Parametern definiert werden (Douch *et al.*, 1996).

Nach Wakelin (1991) unterscheidet man die angeborene oder natürliche Resistenz und die erlangte Resistenz. Eine angeborene Resistenz liegt vor, wenn ein Organismus gegenüber einem Erreger schon bei der ersten Infektion nicht anfällig ist. Wenn ein Kontakt zwischen potenziellem Wirt und Parasit zustande kommt, kann der Parasit sich auf Grund von strukturellen oder physiologischen Unverträglichkeiten mit dem Wirt nicht entwickeln und reproduzieren (Wakelin und Blackwell, 1988). Eine erlangte Resistenz liegt dann vor, nachdem der Körper des Wirtes bereits durch einen Erreger angesteckt wurde. Somit reguliert die Immunantwort eines Wirtes die folgende Infektion (Wakelin, 1991).

Ist der Organismus in der Lage eine Nematodenbelastung zu kompensieren, welches sich durch relativ unbeeinträchtigte Produktionsparameter ausdrückt, bezeichnet man dies als Toleranz (Douch *et al.*, 1996; Woolaston und Baker, 1996).

Es wurde ermittelt, dass die Heritabilität der Toleranz wesentlich niedriger ist, als die der Resistenz. Da beide Merkmale eine positive genetische Korrelation aufweisen, wird

bei Verbesserung der Resistenz gleichzeitig die Toleranz erhöht (Albers *et al.*, 1987). Bisset *et al.* (1994) dagegen fanden keine wesentlichen Korrelationen der Toleranz mit der Resistenz und nur eine geringe Heritabilität ($h^2 = 0,05-0,14$).

Der Vorteil der Zucht auf Resistenz gegenüber der Toleranz liegt in der Reduzierung der Wurmbürde und somit in einer geringeren Produktion von Nematodeneiern, was zu einem geringeren Grad an kontaminiertem Weideland führt. Dagegen ist es mit toleranten Tieren nicht möglich die Parasitenkontamination der Weideflächen einzudämmen.

2.6.3 Immunität

Studien von Presson *et al.* (1988), Gill (1991), Windon (1991a, 1991b) sowie Colditz *et al.* (1996) über die genetische Resistenz von Schafen gegenüber *Haemonchus contortus* haben gezeigt, dass diese auf einer immunologischen Basis beruht. Die Selektion auf eine verbesserte Resistenz ist assoziiert mit einer zunehmenden Reaktivität immunologischer Funktionen.

2.6.3.1 Abwehrmechanismen des Wirtes gegenüber verschiedenen Parasiten

Die spezifische Immunantwort auf Larven und Würmer von Helminthen lässt sich untergliedern in die phagozytische, die zellbedingte (T-Lymphozyten) und die Humoral- oder Antikörperimmunität (Immunglobuline der Lymphozyten) (Watson *et al.*, 1992). Bei der zellbedingten Immunität spielen $CD4^+$ -T-Zellen die Hauptrolle in der Immunabwehr (Gill *et al.*, 1993; Schallig, 2000). Bei Nematodeninfektionen sind Anhäufungen von mukosalen Mastzellen und Eosinophilen im Gastrointestinaltrakt charakteristisch (Rothwell, 1989; Pérez *et al.*, 2003). Es ist erwiesen, dass die Immunantwort, die auf mukosalen Mastozyten und Gewebeeosinophilen beruht, mit der Resistenz korreliert (Gill *et al.*, 1991; 1992). Genetisch resistente Schafe haben eine relativ hohe Anzahl an Eosinophilen verglichen mit nicht resistenten Tieren (Presson *et al.*, 1988).

Literaturübersicht

Die humorale Abwehr wird von Immunglobulinen bestimmt. Hierbei scheinen die exkretorischen/sekretorischen Antigene der Parasiten wichtig für die Entwicklung der Immunität gegen *H. contortus* zu sein. Neben der Beteiligung von IgA und IgE nimmt auch IgG eine Funktion in der Immunantwort gegenüber Parasiten ein. Die Rolle von IgG ist allerdings noch unklar. Schafe, die eine hohe Lymphozytenzahl als Antwort auf eine starke Injektion von Antigenen zeigten, wiesen auch eine geringe Anfälligkeit gegenüber Infektionen auf. Die Lymphozytenproliferation scheint mit der Immunität zu korrelieren und ist an der angeborenen Parasitenresistenz beteiligt (Schallig, 2000).

2.6.4 Zusammenhänge zwischen genetisch bedingter Resistenz und spezifischer Immunantwort

Die Mehrzahl der Krankheitsresistenzerscheinungen ist polygen bedingt. Auch innerhalb einer Population können Resistenzen gegenüber einem bestimmten Erreger auf verschiedenen Genen oder Genprodukten beruhen (Senft, 1994; Windon, 1996).

Im Jahr 1972 wurde von Benacerraf *et al.* berichtet, dass Gene innerhalb des MHC-Komplexes (Major Histocompatibility Complex) die Fähigkeit des Wirtes zur Antwort auf spezifische Antigene kontrollieren. In MHC liegt das für Schafe und Ziegen spezifische Antigen OLA (Ovines Lymphozyten Antigen) vor. Der MHC ist bei Schafen auf dem Chromosom 20 lokalisiert (Crawford *et al.*, 2006).

Die Vermutung, dass Gene des MHC als Kandidatengene für Krankheitsresistenz fungieren könnten, gab Anlass zu einer Vielzahl von Untersuchungen. Es wurden Polymorphismen der MHC-Klasse-I- und -Klasse-II-Moleküle im Zusammenhang mit der Parasitenresistenz untersucht, allerdings wurden uneinheitliche Beobachtungen gemacht. Outteridge *et al.* (1985; 1986; 1988) berichteten von einer Assoziation zwischen Klasse-I-Antigenen des ovinen MHC und der Immunantwort gegenüber *T. colubriformis*. Cooper *et al.* (1989) hingegen konnten keinen Zusammenhang zwischen Klasse-I-Antigenen des OLA und der Anfälligkeit gegenüber *H. contortus* nachweisen. Durch ein weiteres Ergebnis konnte festgestellt werden, dass Assoziationen zwischen Allelen des

MHC und der Resistenzausbildung gegenüber Parasiten vorliegen (Schwaiger *et al.*, 1995).

Gene, die die Erkennung von Parasitenmolekülen beeinflussen, liegen möglicherweise in der Region der Klasse II des MHC. Diese Gene präsentieren die Parasitenmoleküle den T-Helferlymphozyten. Durch die T-Helferzellen wird die Immunantwort eingeleitet sowie auch die für Parasiteninfektionen spezifische Antwort des IgA. Klasse-II-Moleküle werden von verschiedenen Allelen kodiert und binden unterschiedliche Peptide der Parasiten. Schafe mit verschiedenen Klasse-II-Allelen können mehr oder weniger effektiv auf verschiedene Parasitenmoleküle antworten. Es konnte bei Scottish-Blackface-Schafen nachgewiesen werden, dass Allele des DRB1-Genort im MHC mit einer reduzierten Anzahl Eier pro Gramm Kot (EpG) assoziiert sind (Stear *et al.*, 1999b).

Auf diese Ergebnisse stützt sich die molekular genetische Forschung zur Ermittlung von QTL's (Quantitative Trait Loci) im Merkmal Parasitenresistenz.

2.7 Indikatoren zur Ermittlung der Parasitenresistenz

Zur Ermittlung der Resistenz gegenüber gastrointestinalen Nematoden werden verschiedene phänotypische Merkmale herangezogen. Diese sind nach Douch *et al.* (1996) in zwei Klassen einzuteilen, nämlich diejenigen Indikatoren, die nur während einer Infektion messbar sind, und solche, welche zu jeder Zeit messbar sind und somit eine Vorhersage über die Resistenz treffen lassen. Die erste Klasse beinhaltet Indikatoren wie z.B. die Eizahl pro Gramm Kot (EpG) und die Anzahl an Eosinophilen. Zu der zweiten Klasse zählen Indikatoren wie ovine Lymphozyten-Antigentypen und Hämoglobintypen (Douch *et al.*, 1996).

Weiterhin lassen sich Indikatoren zur Ermittlung von Parasitenresistenzen in parasitologische und immunologische Indikatoren unterscheiden (s. Tabelle 2).

Literaturübersicht

Tabelle 2: Indikatoren und Messmethoden zur Ermittlung der Parasitenresistenz (nach Beh und Maddox, 1996; Buitkamp et al., 2002)

	Indikatoren	Meßmethoden
Parasitologische	Eizahl pro Gramm Kot (EpG)	McMaster Verfahren
	Anzahl adulter Larven	Wurmzählung nach W.A.V.V.P.-Richtlinien
Immunologische	Serum Antikörper (IgG, IgA, IgE)	Histologie (Mastzellen/Leukozyten, Becherzellen)
	periphere Eosinophile	Enzyme-linked Immunosorbant Essay (ELISA)
	Eosinophile	Westernblotting
weitere Indikatoren	Plasma Pepsinogen Konzentration	Radio Immuno Assay (RIA)
	Plasma Albumin Konzentration	
	Fructosamin Konzentration	
	Hämatokrit	FAMACHA [®] - Score-System Mikrohämatokritverfahren
	Gewichtsentwicklung	Wiegen
	Kotkonsistenz	Dag Score

2.7.1 Parasitologische Indikatoren

2.7.1.1 Eizahl pro Gramm Kot (EpG)

Zur Ermittlung des Merkmals Parasitenresistenz stützt man sich auf das Ausmaß der EpG (Eizahl pro Gramm Kot). Der Zeitpunkt der Kotprobe nach der Infektion ist in den einzelnen Studien unterschiedlich gewählt. Albers *et al.* (1987 und 1990), Burke und Miller (2002), Gruner *et al.* (2003) sowie Gauly *et al.* (2002) führten künstliche Infektionen mit *Haemonchus contortus*-Larven im L3-Stadium durch und nahmen eine erste Probe vier bis fünf Wochen nach der Infektion. Bis zu diesem Zeitpunkt konnten sich bereits die L3-Larven zu adulten, geschlechtsreifen Würmern entwickeln, so dass in den Proben bereits Eier nachgewiesen werden konnten. Häufigkeit und Zeitpunkte aller weiteren Probennahmen variierten zwischen den einzelnen Studien erheblich.

Die EpG wird als Parameter, der direkt den parasitologischen Status der Schafe widerspiegelt, angesehen (Douch *et al.*, 1996). Nach Woolaston und Piper (1996) gilt

Literaturübersicht

dieser Indikator als der zuverlässigste, durch den die Resistenz geschätzt werden kann. Zudem verfügt dieser Parameter über einen mittleren Erblichkeitsgrad und kann somit zu einem schnellen genetischen Fortschritt führen (Raadsma *et al.*, 1997a). Nach Eady (1995) liegt die Heritabilität des logarithmierten EpG zwischen 0,13 ($\pm 0,07$) und 0,53 ($\pm 0,15$).

Der EpG-Wert hat sich in kommerziellen Zuchtprogrammen, wie Nemesis in Australien (Anonym, 1994) und WormFEC in Neuseeland (McEwan *et al.*, 1995), durchgesetzt.

Die Ermittlung der EpG ist allerdings auch mit Nachteilen behaftet. Um Eier im Kot nachweisen zu können, können bis zur Beendigung der Untersuchungen keine Entwurmungen stattfinden. Folglich sind Produktionsverluste durch den Wurmbefall zu verzeichnen. Eine längere Lagerung der Kotproben ist nicht möglich, da die Eier in frischem Kot nachzuweisen sind. Ebenso ist eine Automatisierung der Kotprobenentnahme nicht möglich. Zudem fallen sehr laborintensive Arbeiten bei der Analyse an (Douch *et al.*, 1996).

2.7.1.2 Wurmparameter

Bisset *et al.* (1996) wiesen in ihrer Untersuchung eine hoch signifikante positive Korrelation ($r = 0,91$) zwischen Eiausscheidungsrate und tatsächlicher Wurmbürde nach.

Stear *et al.* (1999a) stellten fest, dass die Heritabilität des Merkmals „Anzahl der Würmer“ nicht signifikant von Null abwich ($h^2 = 0,14 \pm 0,10$), die Heritabilität der Wurmlänge dagegen war hoch ($h^2 = 0,62 \pm 0,20$). Es wird angenommen, dass sich die Resistenz der Lämmer in der Kontrolle der Wurmlänge ausdrückt und nicht in der Kontrolle der Wurmanzahl.

Davies *et al.* (2005) schätzten eine Heritabilität von $h^2 = 0,53 \pm 0,17$ für die Wurmlänge und $0,50 \pm 0,16$ für die Wurmfruchtbarkeit, während die Wurmbürde nur eine Erblichkeit von $0,13 \pm 0,10$ aufwies. Somit bestätigt sich die Aussage von Stear und

Literaturübersicht

Bishop (1999), dass die Wurmlänge einen brauchbaren Indikator für die Parasitenresistenz darstellt.

Die Länge weiblicher Würmer und deren Fruchtbarkeit (Eizahl dividiert durch die weibliche Wurmbürde) sind bei *Teladorsagia circumcincta* nach Stear und Bishop (1999) positiv miteinander korreliert ($r = 0,4$). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Wirt die genetische Parasitenresistenz viel mehr über die Wurmfruchtbarkeit als über die Wurmanzahl reguliert. Lämmer scheinen über die Antikörper-Abwehr, insbesondere mittels IgA, die Parasitenlänge und damit die Wurmfruchtbarkeit zu kontrollieren (Stear *et al.*, 1995, 1996, 1997a und b).

2.7.2 Weitere Indikatoren

2.7.2.1 Hämatokrit

Der Hämatokrit ist alleine zur Infektionsanalyse blutsaugender Parasiten (Woolaston and Eady, 1995) geeignet und überzeugt durch hohe Korrelationen mit der Resistenz (Woolaston und Piper, 1996). Gegenüber dem Normalwert verringerte Hämatokritwerte gehen mit einer *Haemonchus contortus*-Infektionen einher.

Dieser Indikator ist für die Analyse von *Haemonchus contortus*-Infektionen besonders geeignet und somit im tropischen Afrika, wo dieser Parasit zu den dominierenden zählt, in seiner Anwendung als Untersuchungsmethode weit verbreitet. Die Heritabilität dieses Parameters ist mit $0,13 (\pm 0,07)$ bis $0,21 (\pm 0,03)$ nach Baker *et al.* (2003) und Woolaston und Piper (1996) vergleichbar moderat mit der der LogEpG. Zudem korrelieren beide Merkmale hoch miteinander. Die phänotypischen Korrelationen liegen zwischen $-0,57$ und $-0,67$ (Baker *et al.*, 2003; Mugambi *et al.*, 2005).

2.7.2.2 Gewicht

Die Ermittlung der Resistenz über Produktionsparameter ist z. B. über das dokumentieren der Gewichtsentwicklung möglich. Gewichtsverluste kommen hauptsächlich durch den kontinuierlichen Befall mit infektiösen Larven und deren Entwicklung zu adulten Nematoden zustande (Green *et al.*, 1995). Somit kann das

Literaturübersicht

vorliegen einer Resistenz erkannt werden, wenn die Gewichtsentwicklung trotz Parasitenbefall unbeeinträchtigt bleibt.

Der Zusammenhang zwischen Gewichtsentwicklung bei *Haemonchus contortus*-infizierten Lämmern und deren Resistenzgrad ist in verschiedenen Studien untersucht worden. Die phänotypischen Korrelationen der Gewichte mit den EpG-Werten zeigten sich in unterschiedlichen Studien negativ (Albers *et al.*, 1990; McEwan *et al.*, 1995; Bouix *et al.*, 1998). Albers *et al.* (1990) stellten fest, dass infizierte Merino-Lämmern mit einer höheren Gewichtszunahme, eine geringere Eiausscheidung und höhere Hämatokritwerte aufwiesen als Tiere, die geringere Zunahmen erreichten.

Andererseits zeigten zwei unter Parasitenbelastung zusammen grasende Lämmerstichproben, die sich durch genetisch bedingte hohe bzw. niedrige Eiausscheidung unterschieden, keine signifikante Differenz in der Gewichtsentwicklung (Morris *et al.*, 1995).

Vanisimetti *et al.* (2004) infizierten Kreuzungslämmer, die von den Rassen Dorset (50%), Rambouillet (25%) und Finnschaf (25%) abstammten. Hierbei wurden die weiblichen Lämmer mit 10000 *Haemonchus contortus*-Larven artifiziell infiziert. Die männlichen Lämmer infizierten sich auf natürlichem Wege auf der Weide. Es wurde über die Ermittlung der EpG- und der Hämatokritwerte sowie der Gewichtszunahme beobachtet, dass die Resistenz umso größer war, je höher der genetische Mittelwert für die Gewichte der unterschiedlichen Kreuzungen war.

Albers *et al.* (1987) nutzen die Gewichtsentwicklung als Indikator zur Ermittlung des Erblichkeitsgrades der Toleranz gegenüber *Haemonchus contortus*. Merino-Lämmer wurden mit einer Dosis von 11000 *Haemonchus contortus*-Larven infiziert und zu Beginn und am Ende der Infektion sowie in der Erholungsphase gewogen. Die Ergebnisse wurden mit den Werten einer nicht infizierten Kontrollgruppe verglichen. Die Verluste der Lebenstageszunahmen aufgrund der Infektion wurden ermittelt durch die Differenz der Lebenstageszunahmen infizierter und nicht infizierter Lämmer. Die

Heritabilität für das Merkmal „Lebenstageszunahmen auf Grund der Infektion“ wich jedoch nicht signifikant von Null ab.

2.8 Meßmethoden zur Ermittlung der Resistenz

2.8.1 FAMACHA®-Score-System

Neben der Zucht auf Parasitenresistenz haben sich verschiedene Managementmaßnahmen als Alternativen zum Anthelminthikaeinsatz als wirksam erwiesen.

Die Entwicklung einfacher, praktikabler diagnostischer Verfahren zur Erkennung betroffener Tiere ist ein wichtiges Forschungsziel in Ländern mit hohen ökonomischen Einbußen durch Bekämpfung und Verluste auf Grund von Parasitenbefall, wie z. B. in Südafrika (Vatta *et al.*, 2001). Vatta *et al.* (2001) konnten eine neue Methode zur Ermittlung des Anämiegrades bei Schafen und Ziegen etablieren und entwickelten das so genannte FAMACHA®-Score-System. Dabei handelt es sich um eine Farbkarte, auf der fünf Abbildungen mit unterschiedlich gefärbten Augenkonjunktiva dargestellt sind, die deren Färbung bei nicht bis hoch anämischen Status wiedergeben (Abbildung 3). Durch Vergleich der abgebildeten Augenkonjunktiva mit denen der Tiere ist es möglich, den Anämiegrad subjektiv zu ermitteln. Somit können infizierte Tiere identifiziert und individuell behandelt werden. Die FAMACHA®-Score-Methode wird bei über 80% der südafrikanischen Schafhaltern eingesetzt und ist mittlerweile auch im Süden der USA häufig erprobt und anerkannt (Burke *et al.*, 2007). Ein Vorteil der Methode ist die deutliche Reduktion der Behandlungskosten um ca. 58% (Van Wyk und Bath, 2002).

Die Farbkarte beinhaltet fünf Abbildungen mit unterschiedlichen Farbkategorien der Augenkonjunktiva, die jeweils den Grad der Anämie darstellen:

- nicht anämisch = rote Konjunktiva bis
- anämisch = blasse Konjunktiva

Die Hämatokritwerte für Schafe werden nach Van Wyk und Bath (2002) in Scores eingeteilt: >35% (= Score 1), 25% (= Score 2), 20% (= Score 3), 15% (= Score 4) und 10% (=

Score 5). Nur Tiere mit den Scores 3 und niedriger werden einer Behandlung unterzogen.

Bisher wurden unterschiedliche Korrelationen zwischen FAMACHA[®]-Score, EpG und Hämatokritwert unter unterschiedlichen Umwelt- und Versuchsbedingungen festgestellt (Bisset *et al.*, 2001; Gauly *et al.*, 2004; Kaplan *et al.*, 2004). Bisset *et al.* (2001) schätzten hohe phänotypische Korrelationen zwischen LogEpG und FAMACHA[®]-Score von 0,6 ($p < 0,001$), während unter Versuchsbedingungen mit einem geringeren Infektionsdruck nur schwache phänotypische Korrelationen von 0,25–0,28 ($p < 0,01$) ermittelt werden konnten (Gauly *et al.*, 2004). Die Heritabilität der FAMACHA[®]-Scores wurde bei einer starken *Haemonchus contortus*-Belastung von Bisset *et al.* (2001) auf $h^2 = 0,55 \pm 0,17$ % geschätzt.

2.8.2 Dag Score

Der Dag Score beschreibt den Verschmutzungsgrad des Hinterteils mit Kot (engl. dag) bei Schafen (Abbildung 4). Hierbei wird die höchste Verschmutzung, die vom After bis an die Sprunggelenke der Hinterbeine reicht, mit dem Score fünf bewertet. Ein unverschmutztes Hinterteil wird mit dem Score Null bewertet (Morris *et al.*, 1995). Der Score wurde entwickelt, um Interaktionen zwischen der Verschmutzung des Hinterteils und Genotyp- bzw. Umwelteffekten aufzudecken. Es wurde die Hypothese aufgestellt und untersucht, dass der Dag Score ein Indikator für die erfolgreiche Zucht von Tieren ist, die weniger anfällig für parasitenbedingte Diarrhöe sind (Greeff und Karlsson, 1997; McEwan *et al.*, 1997).

Die Reduktion der diarrhöebedingten Verkotung der Tiere trägt zur Tiergesundheit und Kostenersparnissen bei, da das Entfernen der verschmutzten Wolle Arbeitskosten verursacht und Verluste durch unverkäufliche Wolle entstehen. Daneben stellt die Verschmutzung unter bestimmten Umweltbedingungen eine Prädisposition für Fliegenbefall (fly strike) dar (Larsen *et al.*, 1995).

Literaturübersicht

Schafproduzenten in Australien nutzen den Dag Score als Indikator für Infektionen durch Würmer. Dabei wurden zwei pathogenetisch unterschiedliche Subtypen wurmbedingter Durchfälle festgestellt: ein Typ beruht auf einer geringen Immunkompetenz gegenüber Parasiten bei Tieren mit hoher Eiausscheidung, der andere auf einer hyperimmunen Antwort, die mit einer niedrigen Eiausscheidung einhergeht (Karlsson und Greef, 2005b).

Eine weitere Form von Durchfällen kann alimentär durch kurzes, saftiges Gras hervorgerufen werden. Dieses Syndrom wird oft als „Ernährungs- oder Winter Score“ genannt (Larsen *et al.*, 1994; 1999).

Eine Ursache für das Auftreten von Durchfällen ist eine Form von hypersensitiver Reaktion, ausgelöst durch das Eindringen von infektiösen Trichostrongyliden-Larven (Larsen *et al.*, 1999). Ein Durchfall, der mit einer Nematodeninfektion zusammenhängt, könnte ein Indikator dafür sein, dass das Tier aktiv Nematoden aus dem Darm spült (Douch *et al.*, 1996). Es gibt Hinweise darauf, dass die Anzahl an eosinophilen Granulozyten in Tieren mit starken Durchfällen erhöht ist (Larsen *et al.*, 1994).

Da eosinophile Granulozyten bei der Zerstörung von Gewebe in einer Vielzahl von Krankheitsprozessen mitwirken, könnte es durch die erhöhte Aktivität der Immunantwort zu einer Reaktion mit Durchfällen kommen (Colditz *et al.*, 1996).

Die Heritabilität des Dag Scores wurde von Morris *et al.* (1995) an Romney-Schafen ermittelt und lag zwischen 0,06 und 0,50 mit einem Durchschnitt von 0,20. Die genetische Korrelation zwischen EpG und Dag Score ist variabel (-0,7 bis 0,3) und durch hohe Standardfehler charakterisiert. Durch die Untersuchungen an Romney-Schafen, die in Wallaceville (Neuseeland) seit den 1980er Jahren auf niedrige bzw. hohe Eiausscheidung selektiert werden, konnte festgestellt werden, dass die Linien mit niedriger Eiausscheidung signifikant höhere Dag Scores zeigten als die Linien mit hoher Eiausscheidungsrate. Auch Karlsson und Greeff (2005b) beobachteten bei der Selektion von australischen Merino-Schafen auf eine reduzierte Wurmeizahl über einen Zeitraum von 18 Jahren einen signifikanten Anstieg hypersensitiver Diarrhö. In der

Winterregenfallzone Australiens konnten sie beobachten, dass eine gesteigerte Resistenz gegenüber Würmern, die an Hand des EpG ermittelt wurde, auch zu gesteigerten Durchfällen führt.

Pollott *et al.* (2004) untersuchten den Dag Score als Indikator der Parasitenresistenz im Vergleich mit der EpG und anderen Indikatoren der Parasitenresistenz. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass er ein geeigneter Indikator für Durchfälle ist, die von gastrointestinalen Nematoden hervorgerufen werden. Allerdings steht der Dag Score als Parameter der Wirtsresistenz nur in sehr geringer Beziehung zur Eizahl pro Gramm Kot. Dies impliziert, dass dieser Indikator für die Beurteilung von Zuchterfolgen bezüglich einer erhöhten Wirtsresistenz gegenüber Parasiten ungeeignet ist.

2.9 Stoffwechselfparameter als Indikator der Parasitenresistenz: Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin

Verschiedene Studien lieferten Hinweise darauf, dass die Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin in engem Zusammenhang mit der Immunantwort stehen (Klecha *et al.*, 2000; Cremaschi *et al.*, 2000; Silberman *et al.*, 2002; Csaba *et al.*, 2004). Die Bestimmung der Gesamtkonzentration der Schilddrüsenhormone Thyroxin (T₄) und Trijodthyronin (T₃) könnte als ein weiterer möglicher Indikator zur Ermittlung der Parasitenresistenz dienen.

Die Aufgabe der Schilddrüsenhormone besteht in der Regulation intrazellulärer Stoffwechselfvorgänge (Liebich, 1992). Sie greifen fördernd in den Gesamtstoffwechsel der Proteine, Kohlenhydrate und Fette sowie in das Wachstum ein (Loeffler, 1994).

2.9.1 Nichtgenetische und genetische Einflüsse auf den Schilddrüsenstatus

Die Schilddrüsenaktivität wird sowohl durch genetische als auch durch nicht-genetische Einflüsse reguliert.

Der Hormonstatus ist von verschiedenen physiologischen Zuständen abhängig. Dabei spielen das Alter, das Geschlecht, der Brunstzyklus sowie die Trächtigkeit eine Rolle (Nathanielsz, 1969; Wenzlaff, 1988). Mit zunehmendem Alter verringert sich die

Literaturübersicht

T₄-Konzentration beim Schaf (Nathanielsz, 1969; Wollny, 1985). Hinsichtlich der geschlechtsspezifischen Unterschiede gibt es differierende Ergebnisse. Ellis (1980) und Lomb (1984) konnten keine signifikanten Geschlechtsunterschiede ermitteln. Heaf *et al.* (1983) dagegen konnte nachweisen, dass Mutterschafe signifikant höhere T₄-Werte aufwiesen als Bocklämmer.

Daneben üben auch Umweltfaktoren, wie diurnale Rhythmik, jahreszeitlicher Rhythmus und Kälteeinwirkung sowie Ernährungsfaktoren einen bedeutenden Einfluss auf die Aktivität der Schilddrüsenfunktion aus (Döcke, 1994).

Für verschiedene Schafrassen und Kreuzungen wurden genetische Unterschiede in der Aktivität der Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ festgestellt. Lomb (1984) und Fiebrand (1987) untersuchten Mutterschafe der Rassen Merinolandschaf, Ostfriesisches Milchschaf und Schwarzköpfiges Fleischschaf und stellten signifikante Rasseunterschiede in der T₄- und T₃-Konzentration fest. Auch Hiendleder (1989) konnte für die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf sowie deren reziproken Kreuzungen in Abhängigkeit des Alters der Lämmer einen signifikanten Einfluss der genetischen Herkunft feststellen. Geschätzte Heritabilitäten für das Merkmal freies T₄ lagen beim Merinolandschaf bei 0,32, beim Schwarzköpfigen Fleischschaf bei 0,21 (Wenzlaff, 1988).

Nach Kraft und Dürr (2005) liegen die Referenzwerte der T₄-Konzentration bei Schafen im Bereich von 3,8–8,0 µg/dl, die für T₃ bei 78–150 ng/dl. Neben den allgemeinen Referenzwerten, liegen auch Werte der Gesamtthyroxinkonzentration für Lämmer der Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf sowie deren reziproke Kreuzungen vor (s. Tabelle 3).

Literaturübersicht

Tabelle 3: LSQ-Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtthyroxinkonzentration (T_4 , in nmol/l) im Serum 7, 56, 74 und 90 Tage alter Lämmer der Rassen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Rh x MI bzw. MI x Rh (Hiendleder, 1989)

Genotyp	T_4 am 7. Tag	T_4 am 56. Tag	T_4 am 74. Tag	T_4 am 90. Tag
	LSQ \pm Std.abw.	LSQ \pm Std.abw.	LSQ \pm Std.abw	LSQ \pm Std.abw
MI	116,6 \pm 6,7	91,6 \pm 5,3	93,7 \pm 8,0	78,1 \pm 3,7
MI x Rh	115,5 \pm 7,3	92,6 \pm 5,3	115,4 \pm 7,5	84,6 \pm 6,2
Rh x MI	116,9 \pm 6,1	91,8 \pm 4,3	94,0 \pm 8,5	92,6 \pm 4,7
Rh	107,8 \pm 8,0	88,7 \pm 5,9	91,7 \pm 7,4	72,8 \pm 4,0

Beziehungen zwischen Schilddrüsenhormonen und Leistungsmerkmalen wurden bei verschiedenen Schafrassen und Kreuzungen nachgewiesen. Krogmeier (1989) beobachtete bei Lämmern der Rassen Merinolandschaf, Schwarzköpfiges Fleischschaf sowie deren reziproken Kreuzungen positive Korrelationen zwischen Lebensstageszunahmen und der freien T_4 -Konzentration. Hiendleder (1989) bestätigt positive Zusammenhänge sowohl von der Gesamt- als auch von der freien T_4 - und T_3 -Konzentration in starker Abhängigkeit des Probennahmezeitpunktes für Lämmer der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen. Wollny (1985) konnte signifikante Beziehungen zwischen der Milchmenge und der T_3 - bzw. T_4 -Konzentration bei Kreuzungen der Rasse Merinolandschaf und Ostfriesisches Milchschaaf. Dieser Zusammenhang konnte allerdings bei den Reinzuchten nicht mehr nachgewiesen werden. Auch die Überlebensfähigkeit von Lämmern der Rassen Merinolandschaf (MI), Ostfriesisches Milchschaaf (MS), Schwarzköpfigen Fleischschaf und der Kreuzungen MS x MI steht nach Lomb (1984) in Beziehung mit den Konzentrationen der Schilddrüsenhormone. Lämmer, die zwischen dem zweiten und siebten Lebenstag verendeten, hatten niedrigere T_3 - bzw. T_4 -Konzentrationen als aufgezogene Lämmer.

2.9.2 Wirkung der Schilddrüsenparameter auf das Immunsystem

Klecha *et al.* (2000) konnten in einem Experiment mit Mäusen, die auf unterschiedliche Weise mit Thyroxin und dem thyroidhormonhemmenden Prophylthiouracil behandelt wurden, nachweisen, dass die Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin eine

Literaturübersicht

signifikante Rolle bei der Bildung von Antikörpern einnehmen. Sie schlussfolgerten, dass eine bidirektionale Modulation zwischen Thyroiden und Immunantwort besteht.

Cremaschi *et al.* (2000) wiesen einen Abfall der Thyroidhormone im Serum gestresster Tiere, insbesondere der Trijodthyronin-Werte sowie einen niedrigeren Titer der Alloantikörper im Vergleich zu nicht gestressten Kontrolltieren nach. Eine Zugabe von T_4 bei gestressten Tieren zeigte dagegen einen signifikanten Anstieg der Alloantikörperproduktion. Die Ergebnisse zeigen, dass chronischer Stress zu einer veränderten Immunantwort führt, wobei die Schilddrüsenhormone eine Rolle spielen. Zu diesem Ergebnis kamen auch Silberman *et al.* (2002).

Csaba *et al.* (2004) wiesen mittels Immuntechnik T_3 in Blut- und Thymus-Lymphocyten sowie in Mastzellen nach und nahmen an, dass T_3 für die Aufrechterhaltung der Zellproliferation und des Immunstatus mitverantwortlich ist.

2.10 Molekulargenetische Indikatoren

Beh *et al.* (2002) fanden, dass Peppin-Merinoschafe der CSIRO-Selektionslinie (Australien) Regionen auf dem Chromosom 20 aufweisen, die QTL's (Quantitative Trait Loci) im Zusammenhang mit Parasitenresistenz gegen *Teladorsagia colubriformis*-Infektionen tragen.

Auch für die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf wurden Assoziationsstudien durchgeführt, die sich auf die Typisierung von sechs Mikrosatelliten (OarCP73, DYMS1, BM1815, OlaDRBps, OarHH56, BM1905) auf dem Chromosom 20 stützten. Sowohl in Merinolandschafen als auch in Rhönschafen konnten signifikante Assoziationen der Mikrosatellitenmarker des Chromosoms 20 mit Parametern der Parasitenresistenz nachgewiesen werden (Janßen, 2003). Eine von Schwaiger *et al.* (1995) und Buitkamp *et al.* (1996) gefundene Assoziation von Allelen des DRB1 und der Eizahl im Kot, die nach einer natürlichen Infektion mit *Ostertagia circumcincta* gemessen wurde, konnte in dieser Studie für EpG und die Allele des Markers OlaDRBps nicht

bestätigt werden. Jedoch scheint der Marker OarCP73 Einfluss auf Regelmechanismen bezüglich des individuellen Hämatokritwertes eines Tieres zu haben (Janßen, 2003).

Davies *et al.* (2006) konnten QTL's auf den Chromosomen 2, 3 und 14 identifizieren, die mit der Eiausscheidung von *Nematodirus* assoziiert sind sowie auf den Chromosomen 3 und 20, die mit der spezifischen IgA Aktivität in Beziehung stehen.

Crawford *et al.* (2006) konnten trotz der mittleren Heritabilität der Parasitenresistenz in 1000 Romneyschafen der Wallaceville Selektionslinie nur einen einzelnen signifikanten QTL für die Resistenz gegenüber *Trichostrongylus* spp. auf Chromosom 8 identifizieren.

2.11 Genetik der Parasitenresistenz

Die Bekämpfung von Nematoden durch Nutzung genetischer Gegebenheiten ist kein neues Konzept. Eine sich in Jahrtausenden vollzogene Selektion hat bei Tierarten und Rassen zu einer unterschiedlichen Ausprägung der Parasitenresistenz geführt. Für das Vorliegen dieser Unterschiede existiert eine Vielzahl von Beispielen für alle Nutztierspezies und für alle Typen von Infektionen (Bishop und Stear, 2003). Insbesondere für Schafe wurde die Möglichkeit der Zucht auf Parasitenresistenz bereits vielfach untersucht und gut dokumentiert.

2.11.1 Unterschiede zwischen und innerhalb Rassen

Unterschiede in der Resistenz gegenüber gastrointestinalen Nematoden zwischen den Rassen sind bereits seit vielen Jahrzehnten bekannt (Altaif und Dargie, 1978). Die Schafrassen der Tropen zählen allgemein zu den genetisch resistenten Rassen (Waller und Thamsborg, 2004). So sind generell exotische Haarschafrassen, wie Red Maasai, Florida Native, Barbados Blackbelly, St. Croix und St. Ines resistenter gegenüber gastrointestinalen Nematoden als europäische Rassen (Festing und Blackwell, 1988; Windon, 1996; Gray, 1997; Amarante *et al.*, 2004), die sich je nach Selektionsintensität ebenfalls in ihrem Resistenzgrad unterscheiden (Windon, 1996).

Durch Selektionszucht konnten aber auch in Hochleistungsrassen, wie den australischen Merinos, die sich als eine der anfälligsten Rassen gegenüber Parasiten

Literaturübersicht

zeigten, Erfolge in der Resistenzsteigerung verbucht werden (Waller und Thamsborg, 2004). Innerhalb der Rylington Merino Herde in Westaustralien wurde von 1987 bis 1997 auf das Merkmal „geringe Wurmeizahl“ selektiert. Daneben wurden auch ökonomisch wichtige Merkmale, wie z. B. das Gewicht und das Wollwachstum, erfasst. Karlsson und Greeff (2005a) beobachteten dabei einen jährlichen Zuchtfortschritt im Merkmal reduzierte Wurmeizahl von über 2% ohne jegliche Einbußen in den Produktionsmerkmalen.

Zwischen europäischen Rassen wurden ebenso Unterschiede hinsichtlich der genetisch bedingten Resistenz beobachtet. Bishop *et al.* (1996) ermittelten bei 16 bzw. 20 Wochen alten Scottish-Blackface-Lämmern, die sich mit einer natürlichem *O.circumcincta* dominierenden Mischinfektion auf der Weide infizierten eine Heritabilität von $0,14 \pm 0,12$ und $0,12 \pm 0,07$ für das Merkmal LogEpG.

Höhere Heritabilitäten ermittelten Gruner *et al.* (2004). Sie infizierten 6 bis 7,5 Monate alte Lämmer der französischen INRA 401 Herde mit einer Dosis von je 10000 L3 der Parasiten *H. contortus* und *T. colubriformis*. Die Heritabilitäten der LogEpG vier und acht Wochen *p.i.* lagen zwischen 0,39 und 0,48 bei der *H. contortus*-Infektion. Durch die *T. colubriformis*-Infektion wurde ein h^2 von 0,49 geschätzt.

Hingegen beobachteten Gauly *et al.* (2002) geringere Erblichkeitsgrade in 5 Monate alten Lämmern der Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf acht Wochen nach einer Infektion mit 5000 L3 von *H. contortus*. Für Rhönschafe wurde ein h^2 von $0,35 \pm 0,14$ und für Merinolandschafe von $0,17 \pm 0,07$ ermittelt.

Die genetische Variabilität innerhalb der Rassen wurde ausführlich seit den 1970er Jahren in Selektionsversuchen in Australien (Le Jambre, 1978; Piper, 1987; Albers und Gray, 1989, Windon, 1991a, 1991b) und seit den 1980er Jahren in Neuseeland (zitiert nach Bisset *et al.*, 1996) erforscht. Auch innerhalb der australischen Merinos entwickelte sich eine Vielzahl von verschiedenen Linien in Abhängigkeit von den gegebenen Umweltbedingungen (Massey, 1990). Nachdem nachgewiesen wurde, dass das Merkmal EpG eine erbliche Komponente hat, wurden zwei Großprojekte zur

Literaturübersicht

Erforschung der genetischen Variabilität der Parasitenkontrolle im Wirt gestartet. Eines dieser Projekte basierte auf einer Langzeitselektion hinsichtlich Resistenz gegenüber *H. contortus*, während das andere Projekt die Selektion von Nachkommen eines gegenüber *H. contortus* hoch resistenten Bockes (Golden Ram) verfolgte (Tabelle 4). Bei einer weiteren Selektionslinie der „CSIRO *Trichostrongylus* Selection Line“ wird die Resistenz gegenüber *T. colubriformis* untersucht. Durch die Ergebnisse der genannten Selektionsstudien bei australischen Merinos wurde eine Heritabilität für das Merkmal EpG zwischen 0,24 und 0,37 geschätzt (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Rassen, Linien, Entstehungsjahre und Heritabilitäten (h^2) von drei australischen Selektionsversuchen auf das Merkmal EpG

Linien	Entstehungs- jahr	Vergleich Hoch- und Niedrigausscheider	$h^2 \pm$ Standardabweichung LogEpG	Quelle
<i>H. contortus</i> resistente Linie				
Golden Ram Flock	1980		0,26 \pm 0,09 (5 Wochen <i>p.i.</i>) 0,22 \pm 0,04 (4 Wochen <i>p.i.</i>)	Albers <i>et al.</i> (1987) Woolaston und Eady (1995)
CSIRO <i>H. contortus</i>				
Selection line fine woll Merinos	1978	70-80% weniger EpG	0,27 \pm 0,13 (3 Wochen <i>p.i.</i>)	Piper (1987)
<i>Trichostrongylus</i>				
Selection line medium woll Merinos	1975	90% weniger EpG	0,37 \pm 0,04 (3 Wochen <i>p.i.</i>)	nach Woolaston und Eady (1995)

Auch für die deutschen Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf konnten genetische Unterschiede hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber *H. contortus* beobachtet werden (Gauly *et al.*, 2002). Gauly *et al.* (2002) berichteten von einer früher entwickelten Resistenz in der Rasse Merinolandschaf als in Rhönschafen.

2.11.2 Heritabilitäten, phänotypische und genetische Korrelationen genetischer Parameter zur Schätzung der Parasitenresistenz

An der Resistenzausbildung gegenüber *H. contortus* ist eine genetische Basis beteiligt (Le Jambre, 1978; Bisset und Morris, 1996). So wurde zur Schätzung der Heritabilität sowie zur Ermittlung von phänotypischen und genetischen Korrelationen für die einzelnen Indikatoren zur Messung der Parasitenresistenz eine Vielzahl von Studien mit unterschiedlichen Rassen weltweit durchgeführt.

Literaturübersicht

Über verschiedenste Studien wurde in australischen Merinos eine Heritabilität von 0,11–0,55 für das Merkmal EpG, welches als Parameter der Parasitenresistenz dient, beobachtet (Morris *et al.*, 1995; Woolaston und Eady, 1995).

Bisset *et al.* (1994) beobachteten, dass die EpGs negativ mit dem Gewichtsparameter Lebendgewicht bei Lämmern bis zu einem Jahr korrelierten. Auch Baker *et al.* (2003) wiesen höchst signifikante, negative phänotypische Korrelationen zwischen Lebendgewicht und LogEpG bei Lämmern in der 4., 8., 10. und 12. Lebenswoche nach. Diese Korrelationen betragen durchschnittlich –0,11. Dagegen konnten aber auch genetische Korrelationen, die nicht signifikant von Null abwichen zwischen geringer Eizahl im Kot und Lebendgewicht nachgewiesen werden (McEwan *et al.*; 1995, Eady *et al.*; 1998).

Herden, die auf Produktionsparameter wie hohes Vlies-Gewicht selektiert wurden, hatten eine höhere EpG als unselektierte Tiere (McEwan *et al.*, 1992; Williamson *et al.*, 1994). In Lämmern korreliert der EpG-Wert mit der Wurmbürde adulter Nematoden positiv (Douch *et al.*, 1984). Eine der Untersuchungen dazu lieferten Albers *et al.* (1987). Sie schätzten Heritabilitäten bei australischen Merinos für die Parameter EpG und Hämatokrit auf 0,3 und 0,4. Die genotypische Korrelation zwischen EpG, Wurmbürde und Hämatokritwert lag in einem hohen Bereich (–0,76 bis –0,82), was auf einen hohen Grad allgemein genetischer Kontrolle schließen lässt. In der Studie konnte beobachtet werden, dass die genetische Korrelation der Resistenz gegenüber Endoparasiten mit den Produktionsmerkmalen bei nicht infizierten Tieren nicht signifikant von Null abweicht. Die Zucht auf Resistenz gegenüber *H.contortus* hat demnach keine nachteiligen Effekte auf die Produktionskapazität von australischen Merinos. Pollott und Greef (2004) ermittelten, dass die Genotyp-Umweltinteraktion für die Eizahl pro Gramm Kot und die genetische Korrelation von EpG und Produktionsmerkmalen Null waren. Somit können Zuchtprogramme auf Parasitenresistenz durchgeführt werden, ohne diese Faktoren berücksichtigen zu müssen.

Literaturübersicht

In europäischen Studien wurden Korrelationen der Eiausscheidung von Strongliden und Wachstumsmerkmalen bei Lämmern ermittelt, die stark negativ waren. Gauly und Erhardt (2001) schätzten die phänotypische Korrelation zwischen Eizahl und täglicher Lebenszunahme bei Rhönschaf-Lämmern auf $-0,57$. In Südpolen, wo *Haemonchus contortus* und *Teladorsagia circumcincta* die dominierenden Spezies sind, ermittelten Bouix *et al.* (1998) bei polnischen Langwoll-Schafen für dieselben Merkmale eine phänotypische Korrelation von $-0,6$. Weiterhin wurden Heritabilitäten für das Merkmal LogEpG in Lämmern dieser Rasse zwischen $0,22$ und $0,33$ und in Mutterschafen zwischen $0,18$ und $0,22$ geschätzt.

Für die Rasse Texel ermittelten Bishop *et al.* (2004) eine Heritabilität der EpG von $0,26$ für Strongliden und $0,38$ für Nematodirus. Die genetischen Korrelationen zwischen Produktionsmerkmalen und den Strongliden-EpG-Werten waren schwach negativ, während sie sich bei Nematodirus neutral oder schwach positiv verhielten.

Für die deutschen Rassen Merinolandschaf (Ml) und Rhönschaf (Rh) wurden in einer Studie von Gauly *et al.* (2002) genetische Differenzen in der natürlichen Resistenz geschätzt (Tabelle 5). Bei Lämmern wurden nach einer experimentellen Infektion mit 5000 L3 *Haemonchus contortus*-Larven in der 12. Lebenswoche vier und acht Wochen später Heritabilitäten für die Merkmale LogEpG, Hämatokrit und Wurmbürde geschätzt. Für das Merkmal LogEpG lagen diese bei 0 und $0,35$ bei der Rasse Rh, für die Rasse Ml ergaben sich Heritabilitäten von $0,07$ und $0,17$.

Eine vorhergehende Studie von Gauly und Erhardt (2001) lieferte Werte für die Heritabilität für die Rasse Rhönschaf nach einer natürlichen Infektion. Bei einer Probenfrequenz im Abstand von zwei Wochen bis zu einem Alter von vier Monaten und von vier Wochen bis zum Alter von 12 Monaten belief sich h^2 für das Merkmal LogEpG zwischen $0,11$ und $0,44$ und für das Merkmal Hämatokrit $0,19$ und $0,26$.

Literaturübersicht

Tabelle 5: Heritabilitäten (h^2) und Standardabweichungen der Merkmale LogEpG, Hämatokrit 4 und 8 Wochen p.i. sowie die Wurmbürde 4 Wochen p.i. der Rassen Rhönschaf und Merinolandschaf nach Gauly et al. (2002)

Merkmal	Rhönschaf	Merinolandschaf
h^2 LogEpG	0 ^a und	0,07 ± 0,07 ^a und
	0,35 ± 0,14 ^b	0,17 ± 0,07 ^b
h^2 Hämatokrit	0,29 ± 0,12 ^a und	0,56 ± 0,20 ^a und
	0,08 ± 0,13 ^b	0,51 ± 0,27 ^b
h^2 Wurmbürde	0,54 ± 0,2 ^b	0,06 ± 0,14 und
		0,11 ± 0,15 ^b

a = 4 Wochen p.i.; b = 8 Wochen p.i.

Da das Vorkommen bzw. die Ausprägung einer Parasitenresistenz auf einer genetischen Basis beruht, ist es möglich, diese in ein Zuchtprogramm einzugliedern. Dabei hängt die Kosteneffektivität einer Integration der Parasitenresistenz in ein Zuchtprogramm von der Identifikation eines zuverlässigen, wiederholbaren Maßes für die Resistenz, den Zusammenhängen der Resistenz mit den üblichen Produktionsmerkmalen und der Spezifität der Selektion auf Resistenz gegenüber einem bestimmten Erreger hinsichtlich anderen Spezies und nicht parasitären Pathogenen ab. Die Integration der Parasitenresistenz in ein Zuchtprogramm wird letztendlich vom Grad der parasitären Belastung der Umwelt abhängen, und davon, inwiefern eine Integration die Kosteneffektivität der anderen Produktionsmerkmale beeinflusst (Simm et al., 1996).

2.11.3 Zusammenhänge mit anderen Krankheiten

Scrivner (1967) konnte bei der Selektion von Schaflinien auf Resistenz und Anfälligkeit zeigen, dass Nachkommen, die eine Resistenz gegenüber *Ostertagia circumcincta* aufwiesen, gleichzeitig resistent gegenüber *Haemonchus contortus* waren.

Dagegen gab Gray (1991) zu bedenken, dass Schafe, die einen relativ hohen Resistenzgrad gegenüber einem Endoparasiten innehaben, nicht zwangsläufig immunkompetenter gegenüber anderen Parasiten oder Krankheiten sind.

Literaturübersicht

Goossens *et al.* (1999) stellten bei der trypanotoleranten Schafrasse Djallonké fest, dass diese neben der Trypanotoleranz auch eine Resistenz gegenüber Helminthen aufweist, was zu dem Schluss führte, dass bei dieser Schafrasse eine angeborene Resistenz gegenüber diesen beiden Krankheitserregern vorliegen müsse.

Eine Resistenz von Schafen gegenüber *Haemonchus contortus* ging damit einher, dass sie auch gegenüber mindestens einem weiteren Parasiten (*Trichostrongylus* spp.) resistent waren (Gray, 1997). Auch Woolaston und Eady (1995) beobachteten, dass bei einer ansteigenden Resistenz gegenüber *Haemonchus contortus* auch weniger *Trichostrongylus*-, *Teladorsagia*- und *Oesophagostomum*-Eier ausgeschieden wurden.

Raadsma *et al.* (1997b) untersuchten die Zusammenhänge zwischen den wichtigsten Schafkrankheiten in Australien (intestinaler Parasiten, Moderhinke, Vliesfäule und Dermatophilos). Sie beobachteten tendenziell neutrale genetische Korrelationen zwischen diesen Krankheiten. Dies zeigt, dass die Zucht auf Resistenz gegenüber einer Krankheit, generell nicht die Anfälligkeit gegenüber anderen Krankheiten steigert.

Die wesentliche Aussage in diesem Zusammenhang ist, dass die Resistenz gegenüber Nematoden nicht auf Kosten der Resistenz gegenüber anderen Krankheiten erreicht werden kann (Woolaston und Eady, 1995).

2.12 Heterosis

Unter Heterosis versteht man die prozentuale Leistungsüberlegenheiten von Kreuzungsnachkommen gegenüber dem Mittel der elterlichen Reinzuchtpopulation (Simon, 1994).

Neben den traditionellen Zuchtstrategien der Selektion zwischen und innerhalb der Rassen oder Linien wird sich auch der Kreuzungszucht zum Erreichen eines genetischen Fortschrittes in der Zucht landwirtschaftlicher Nutztiere bedient (Falconer und MacKay, 1996).

Die Kreuzungszucht wird zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Man gebraucht diese zur Zucht von Kreuzungsnachkommen, die von Elternrassen mit

Literaturübersicht

überdurchschnittlichen Leistungen abstammen, um einen höheren Durchschnitt in zwei oder mehreren Merkmalen gegenüber den Reinzuchten zu erhalten. Weiterhin nutzt man das Kreuzen von Rassen als Zwischenschritt zur Zucht einer neuen oder einer synthetischen Rasse (Simm *et al.*, 1996). Dabei werden zusätzlich zu additiven Geneffekten nicht-additive Geneffekte, bedingt durch Dominanz, Überdominanz und Epistasie genutzt (Simon, 1994).

Für ein besseres Verständnis und eine genauere Beschreibung des Phänomens unterscheidet man im Wesentlichen drei Formen der Heterosis:

- individuelle,
- maternale und
- paternale Heterosis

Bei der individuellen Heterosis werden die Effekte direkt auf den Genotypen zurückgeführt, während bei einer maternalen oder paternalen Heterosis die Effekte auf die Kreuzungsmutter oder den Kreuzungsvater zurückzuführen sind.

Die Heterosis kann vor allem in den Merkmalen optimal ausgenutzt werden, die eine relativ niedrige Erbllichkeit aufweisen und/oder auf nicht-additiven Geneffekten beruhen (Simon, 1991).

2.12.1 Hypothesen zum Phänomen Heterosis und deren Bedeutung

Zur genetischen Ursache der Heterosis wurde eine Fülle von Erklärungsversuchen vorgenommen. Im Folgenden werden die klassischen Heterosishypothesen, die Heterozygotie-, die Überdominanz- und die Dominanzhypothese, erläutert. Weiterhin wird die Epistasiehypothese sowie die Heterosis auf mitochondrialer Ebene beschrieben.

Untersuchungen zur Klärung des Heterosisphänomens wurden im Bereich der Molekulargenetik (z.B. Comings und MacMurray, 2000; Frascaroli *et al.*, 2007), der Zytogenetik und der Biochemie angestellt.

Literaturübersicht

Als klassische Theorien zur Erklärung heterotischer Erscheinungen gelten vor allem die **Heterozygotiehypothese** und die **Dominanzhypothese**. Hierbei werden hauptsächlich Wirkungen von Genen des Zellkerns als Ursache heterotischer Effekte angenommen. Man geht davon aus, dass die anfangs strikt getrennt beobachteten Mechanismen nebeneinander wirken (Schnell, 1961; Glodek, 1969; Fewson, 1980).

Lynch (1991) ist der Meinung, dass die Erscheinung einer gesteigerten Fitness durch Kreuzung zweier genetisch divergierender Populationen entweder in der Überdominanz oder in versteckten rezessiven Allelen begründet ist. Epistasie, welche die phänotypischen Effekte durch Interaktion von Allelen an einem oder mehreren Genorten bezeichnet, kann ebenso an dem Auftreten beteiligt sein.

Bei der **Dominanzhypothese** wird angenommen, dass günstige Gene mit vollständiger oder partieller Dominanz für die Heterosis verantwortlich sind. Wenn homozygote Eltern unterschiedliche, dominante Gene mit positiver Wirkung führen, besitzen die heterozygoten Nachkommen an einer größeren Anzahl von Genorten mindestens ein günstiges dominantes Gen und erreichen deshalb einen höheren Merkmalswert (Fewson, 1980).

Im direkten Gegensatz zu der Dominanzhypothese wurde die so genannte **Überdominanzhypothese** aufgestellt. Nach Crow (1948) und Hull (1952) soll die Heterosis mindestens bei einem Teil der mitwirkenden Loci durch Überdominanz bedingt sein. Hierbei sollen intraallele Geninteraktionen eine Ursache für das Auftreten von Heterosiseffekten sein (Sheridan, 1981). Diese intraallelen Interaktionen bewirken eine größere Wachstumsstimulierung als die beiden entsprechenden homozygoten Zustände ($AA < Aa > aa$).

Eine weitere Erklärung zum Phänomen der Heterosis stellt die Interaktion nicht-alleler Gene (**epistatischer Effekt**) dar. Haymann (1957) wies bei der Analyse mehrerer dialleler Kreuzungsexperimente nach, dass 31% der Heterosis aufweisenden Versuche ebenfalls signifikante epistatische Effekte zeigten. Auch Minvielle (1987) zeigte, dass Heterosis vorwiegend durch multiplikative epistatische Interaktionen entsteht. Dabei

Literaturübersicht

sei Dominanz für die Entstehung von Heterosis nicht notwendig. Heute gibt es Anhaltspunkte dafür, dass Dominanz und Überdominanz mit der Beteiligung von Epistasie eine Rolle bei der Heterosisausbildung spielen. Trotzdem ist die relative Verteilung dieser Mechanismen immer noch unklar (Lippman und Zamir, 2007).

Ein weiteres beschriebenes Heterosisphänomen stellt die **mitochondriale Heterosis**, die Heterosis auf zellphysiologischer Ebene dar. Bereits Shull (1914, 1948), Mitbegründer der Heterozygotiehypothese, bezog eine Kern-Plasma-Interaktion als stimulierende Ursache der Heterosis mit ein. Diese Annahme, dass Kern-Plasma-Interaktionen für die Ausprägung heterotischer Effekte verantwortlich sein könnten, fand aufgrund der Ergebnisse von Michaelis (1951) erneut Beachtung.

Eine Vielzahl von Untersuchungen an isolierten Mitochondrien von Pflanzen und Tieren geben Anlass zur Annahme, dass ein Zusammenhang zwischen dem Heterosisphänomen und der Interaktion kerncodierter und mitochondrial codierter Gene besteht (Michaelis, 1951; McDaniel und Sarkissian, 1966; 1968).

Es existieren zwei verschiedene Hypothesen zum Wirkungsmechanismus, der verantwortlich für das Auftreten heterotischer Mitochondrien sein könnte. Zum einen wird vermutet, dass Interaktionen innerhalb des Kerngenoms (Wagner, 1972) mitwirken, zum anderen, dass Interaktionen zwischen Kerngenom und mitochondrialem Genom für den mitochondrial stimulierten Heterosiseffekt zuständig sein könnten (Dzapo und Waßmuth, 1982; Dzapo *et al.*, 1983; Dzapo und Waßmuth, 1984a, 1984b; Sommer, 1986). Hierbei wurde vermutet, dass eine gesteigerte Atmungsaktivität und oxidative Phosphorylierung der Mitochondrien eine generelle Manifestation der Heterosis auf biochemischer Ebene sein könnte (Dzapo, 1982; Dzapo *et al.*, 1983; Dzapo und Waßmuth, 1984a, 1984b; Sommer, 1986; Hiendleder, 1987; Krogmeier, 1989, Krogmeier *et al.*, 1990).

Diese Studien belegen, dass zytoplasmatische Effekte eine Auswirkung auf Leistungsmerkmale haben können und dass Mitochondrien demnach am Mechanismus der zytoplasmatischer Vererbung beteiligt zu sein scheinen. Da Mitochondrien nur über

das weibliche Elternteil vererbt werden (Gyllensten *et al.*, 1991) spricht man in diesem Zusammenhang von maternaler Heterosis.

Untersuchungen von Boettcher *et al.* (1996) und Gibson *et al.* (1997) liefern Aussagen zum Grad der Beteiligung der zytoplasmatischen Effekte an Varianzen von Leistungsmerkmalen. Boettcher *et al.* (1996) fanden durch Datenanalyse mittels Tiermodell heraus, dass die Schätzung von Varianzkomponenten in Merkmalen der Milchleistung bei Rindern verzerrt sind, wenn zytoplasmatische Effekte existieren, jedoch nicht mit betrachtet wurden. Gibson *et al.* (1997) relativierten diese Aussage, in dem sie ebenfalls an Hand eines Tiermodells ermittelten, dass nur maximal 5% der Variation der Milchleistungsmerkmale beim Rind auf zytoplasmatischen Effekten beruhen.

2.12.2 Einflüsse auf die Heterosisausprägung

Hinsichtlich der Heterosis-Umweltinteraktion weist Cunningham (1987) darauf hin, dass unter ungünstigen Umweltbedingungen additiv-genetische Rasseunterschiede relativ vermindert, Heterosiseffekte dagegen verstärkt werden können. Bei diesen Interaktionen sind hauptsächlich im Bereich der Fitness, insbesondere der Fruchtbarkeit, und der Adaption besondere Leistungseffekte zu erwarten (Fewson, 1980; Simon, 1994). Auch nach Oroczo (1976) ist eine volle Manifestation heterotischer Effekte nur unter suboptimalen Umweltverhältnissen der Fall. Dies steht mit Barlow (1981) im Einklang, der für die meisten Merkmalskomplexe unter schlechten Lebensbedingungen den höchsten Heterosiszuwachs beobachtet. Eine Ausnahme bildeten jedoch die Wachstumsmerkmale beim Wiederkäuer, d.h. dass nur unter optimalen Bedingungen der höchste Heterosiszuwachs erreicht werden konnte.

Neben der Heterosis-Umweltinteraktion spielt hinsichtlich der Ausprägung des Heterosiseffektes die genetische Diversität der Elternrasse eine ausschlaggebende Rolle (Nitter, 1978; Sharma, 1982).

Literaturübersicht

Eine weitere wichtige Determinante, die die Höhe der Heterosis in der Gewichtsentwicklung beeinflusst, ist das Alter der Tiere. Nitter (1978) analysierte zahlreiche Untersuchungen, die an verschiedenen Rassen hinsichtlich unterschiedlicher Gewichtsentwicklung gemacht wurden. Dabei fand er für das Merkmal Geburtsgewicht einen Heterosiseffekt von 3,2%, für das Absetzgewicht 5,0% und für den Gewichtsabschnitt nach dem Absetzen schließlich den höchsten Effekt von 6,6%. Die geringe heterotische Erscheinung in den Geburtsgewichten könnte darauf zurückzuführen sein, dass die maternale Heterosis zu diesem Zeitpunkt einen wesentlich höheren Einfluss auf dieses Merkmal hat als die individuelle Heterosis (Rottmann *et al.*, 1983). Die Entwicklung der folgenden Gewichte könnte auf die Frühreife in den Kreuzungslämmern zurückzuführen sein, die wiederum mit der durch Kreuzung bedingten erhöhten Fitness in Zusammenhang stehen könnte (Bhuvanakumar *et al.*, 1982).

Beim Merkmal Parasitenresistenz scheint das Alter ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung des Heterosiseffektes einzunehmen (Amarante *et al.*, 1999b; Li *et al.*, 2001) (s. Kapitel 2.12.4). Li *et al.* (2001) zeigten, dass nach einer natürlichen Infektion mit *Haemonchus contortus* im Merkmal Hämatokrit die Heterosis mit zunehmendem Alter der Lämmer anstieg.

2.12.3 Heterosis in verschiedenen Merkmalen bei Schafen

Der Einsatz von Gebrauchskreuzungen in der Schafzucht ist oft eine wirkungsvolle züchterische Maßnahme, die kaum einen Mehraufwand an Arbeit erfordert (Waßmuth, 1990). Die Steigerung von Merkmalen in der Lämmermast durch heterotische Effekte ist bereits vielfach dokumentiert worden (Krogmeier, 1989; Wojtowski *et al.*, 1990). Tabelle 6 gibt einen Überblick für erzielte Heterosiseffekte am Beispiel der Merkmale der Gewichtsentwicklung verschiedener Schafrassen.

Literaturübersicht

Tabelle 6: Heterosiseffekte verschiedener Schafrassen und Gewichtsparameter

reziproke Kreuzungen	Merkmal	Heterosis %	Quelle
Suffolk und Florida Native	Gewicht 11. Lebenswoche	3,8	Li <i>et al.</i> , 2001
	Gewicht 16. Lebenswoche	3,2	
	Gewicht 24. Lebenswoche	2,4	
Maroccan D'man und Timahdite	Geburtsgewicht	0,14	Fadili und Leroy, 2001
	Absetzgewicht	3,43	
Merinolandschaf und Schwarzköpfiges Fleischschaf	Geburtsgewicht	-0,15	Krogmeier, 1989
	Zunahmen bis Absetzen	6,0	
	Zunahmen nach Absetzen	29,4	
	Gesamtzunahmen	20,1	
Merinolandschaf und Rhönschaf	Geburtsgewicht	11,4	Hiendleder, 1987
	Zunahmen bis Absetzen	7,0	
	Absetzgewicht	11,6	
	Zunahmen nach Absetzen	6,6	
	Gesamtzunahmen	7,0	
verschiedene Rassen	Geburtsgewicht	3,2	Nitter, 1978
	Absetzgewicht	5,0	
	Zunahmen nach Absetzen	6,6	

Dabei ist grundsätzlich die sinnvolle Auswahl der zur Kreuzung geeigneten Genotypen zur Verbesserung eines oder mehrerer Merkmale zu beachten. Snowders und Duckett (2003) verglichen die Kreuzungen von südafrikanischen Dorper- und Suffolk-Böcken mit Columbia-Muttern in den USA. Hierbei stellte sich heraus, dass die Werte der F1-Nachkommen dieser Anpaarungen in den Merkmalen Wachstumsrate bis zum Absetzen mit 118 Lebenstagen, Absetzgewicht und Schlachtkörpercharakteristika nicht signifikant voneinander abwichen. Durch die Anpaarung dieser beiden Rassen wurden keine höheren Leistungen erzielt, so dass an diesem Beispiel deutlich wird, dass zur erfolgreichen Kreuzungszucht im Voraus Versuche zur Kombinationseignung der verfügbaren Populationen notwendig sind.

Auch für Reproduktionsmerkmale, Wachstums- und Überlebensraten wurden an verschiedenen Schafkreuzungen Untersuchungen zur Heterosis durchgeführt und positive Effekte nachgewiesen (Nitter, 1978; Wenzlaff, 1988; Fadili und Leroy, 2001). Die Heterosis kann vor allem in der Vitalität eine Steigerung bewirken. Es zeigte sich für die Vitalität von Kreuzungslämmern drei Stunden nach der Geburt ein signifikanter

Heterosiszuwachs von 19,4% ($p < 0,02$) gegenüber den Reinzuchten Merinolandschaf und Schwarzköpfiges Fleischschaf (Krogmeier *et al.*, 1990). Die Untersuchungen von Krogmeier (1989) und Krogmeier *et al.* (1990) untermauern die Feststellung, dass die Manifestation der Heterosis vor allem im Merkmalsbereich Vitalität, Konstitution und Fitness evident wird.

2.12.4 Heterosiseffekte im Merkmal Parasitenresistenz

Es wird angenommen, dass Heterosiseffekte besonders stark in Merkmalen mit geringen bis moderaten Heritabilitäten auftreten sowie in Merkmalen der Vitalität (Krogmeier *et al.*, 1990). Demnach könnte eine Steigerung im Merkmal Parasitenresistenz durch Kreuzung verschiedener Rassen erzielt werden.

Frisch *et al.* (2000) kreuzten verschiedene taurine Rassen mit Brahman-Rindern, die sich durch eine besonders hohe Resistenz gegenüber Zecken auszeichnen, um einen möglichen Heterosiseffekt in diesem Merkmal zu untersuchen. Es zeigte sich ein signifikant positiver Heterosiseffekt in dem Score für Verletzungen durch die so genannten „Buffalo flies“ (*Haematobia irritans exigua*). Durch Kreuzen von Boran, einer afrikanische Zeburasse, mit Brahman konnten F1-Nachkommen produziert werden, die eine ähnliche Zeckenresistenz aufwiesen wie Brahman und eine höhere Produktivität zeigten als ihre Elternrassen. Andere Kreuzungen aus taurinen Rassen (Hereford × Shorthorn, Hereford × Tuli) zeigten eine höhere Produktivität als die Reinzucht Brahman, allerdings waren diese stärker von Zecken befallen als die Reinzuchttiere.

Studien zur Untersuchung der Heterosis im Merkmal Parasitenresistenz beim Schaf haben gezeigt, dass F1-Kreuzungen, erstellt aus resistenten und anfälligen Rassen, in ihrer Antwort auf eine Infektion sehr unterschiedlich reagierten (Amarante *et al.*, 1999a; Li *et al.*, 2001; Baker *et al.*, 2003; Mugambi *et al.*, 2005).

Amarante *et al.* (1999a) untersuchten verschiedene Parameter der Parasitenresistenz (EpG, Hämatokrit, Proteingehalt) bei den Rassen Florida Native, Rambouillet und deren Kreuzungen. Das Ergebnis dieser Studie zeigte, dass die EpG-Werte der Rasse

Literaturübersicht

Rambouillet mit 5060 signifikant höher waren als die der F1 Kreuzung (EpG = 1754) und der Rassen Florida Native (EpG = 1090). Damit konnte eine höhere Resistenz der Florida-Native-Lämmer gegenüber *Haemonchus contortus* als bei den F1-Kreuzungslämmern und den Rambouillet-Lämmern festgestellt werden und auch eine dementsprechende Anfälligkeit beider Rassen gegenüber *Trichostrongylus* spp. Die Autoren schlussfolgerten, dass durch Kreuzung dieser beiden Rassen ein schneller Weg zur Kombination und Verbesserung der wirtschaftlich bedeutsamen Merkmale beider Rassen gegangen werden kann.

Bei einer erneuten Untersuchung von Amarante *et al.* (1999b) derselben Rassen und Kreuzungen wurde beobachtet, dass die F1-Lämmer ebenso resistent wie die Lämmer der Rasse Florida Native waren. Dieser Unterschied zur zuvor durchgeführten Studie könnte daraus resultieren, dass hier geschlechtsreife Schafe untersucht wurden. In der vorherigen Studie dagegen wurden acht Monate alte weibliche und männliche Lämmer untersucht. Die Autoren gehen davon aus, dass der Eintritt der Geschlechtsreife für das Ergebnis der zweiten Studie verantwortlich ist, da dieser bei exotischen Rassen keinen Einfluss auf die Entwicklung der Resistenz hat, bei Hausrassen jedoch eine Steigerung der Resistenz nach Eintritt der Geschlechtsreife zu beobachten ist.

Li *et al.* (2001) untersuchten den Heterosiseffekt im Merkmal Parasitenresistenz bei den Rassen Suffolk, Gulf Coast Native und deren Kreuzungen. Dabei zeigten die Gulf-Coast-Native-Lämmer die niedrigsten EpG-Werte und die höchsten Hämatokritwerte, während bei den Lämmern der Rasse Suffolk die höchsten EpG-Werte und die niedrigsten Hämatokritwerte zu beobachten waren. Die Werte der Kreuzungslämmer lagen zwischen denen der reinrassigen Lämmer, wobei die Heterosisanalyse zeigte, dass die Merkmale EpG (nicht logarithmiert), Hämatokrit, Wurmzahl und Gewichtszuwachs eine Tendenz in Richtung der Golf Coast Native aufwiesen. In Abhängigkeit vom Alter lagen die Heterosiseffekte im Merkmal EpG zwischen 33,8 (12. Lebenswoche) und 81,6% (17. Lebenswoche), während die Werte für den Hämatokrit in diesem Alter zwischen 6,0 und 9,7% lagen. Im Merkmal Nematodenanzahl zeigte sich

Literaturübersicht

der Heterosiseffekt mit 4,6% bei männlichen kastrierten Lämmern. Das mittlere Gewicht dieser Lämmer zeigte eine heterotische Erscheinung von maximal 3,8% in der 11. Lebenswoche.

Durch den Vergleich der Rassen Dorper, Katahdin, St. Croix, Hampshire und Dorper-Kreuzungen (Dorper x Romanov, (Dorper x Romanov) x St. Croix , 75% Dorper x 25% Romanov) kamen Burke und Miller (2002) zu der Schlussfolgerung, dass die Dorper-Kreuzungen unter den gegebenen Umweltbedingungen des Südostens der USA eine gute oder exzellente Körperkonstitution und im Vergleich mit den Rassen Katahdin, St. Croix und Hampshire eine Resistenz gegenüber natürlicher und experimenteller Infektion mit *H. contortus* zeigten.

Baker *et al.* (2003) konnten dagegen bei Kreuzungen aus Dorper x Red Maasai und deren Rückkreuzungen keine signifikanten Heterosiseffekte in den Merkmalen der Parasitenresistenz nachweisen.

3 Material und Methoden

3.1 Tiere und Haltung

3.1.1 Anpaarungsschema

Die Datenerhebung wurde in zwei Versuchsjahren durchgeführt. Die Anpaarung zur Erstellung der Lämmer im Jahr 2003 (Jahr I) fand zwischen September und Dezember 2002 statt, die des zweiten Jahrgangs (Jahr II) zwischen Juli und November 2003.

Hierzu standen Lämmer aus der Anpaarung von 31 Merinolandschaf-Muttern an drei Merinolandschaf-Böcke und von 50 Rhönschaf-Muttern an fünf Rhönschaf-Böcke für die vollständige Datenerfassung zur Verfügung. Zur Erstellung der reziproken Kreuzungen der beiden Reinzuchten wurden 102 Rhönschaf-Mutterschafe an sieben Merinolandschaf-Böcke und 76 Merinolandschaf-Muttern an sieben Rhönschaf-Böcke angepaart. Das Anpaarungsschema in Tabelle 7 zeigt die Anzahl und Rasse der Elterntiere sowie deren Nachkommen aus beiden Jahrgängen zusammengefasst.

Tabelle 7: Anpaarungsschema der Rassen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen (Rh x MI und MI x Rh) beider Versuchsjahre

Rasse	Anzahl Böcke	Anzahl Muttern	Anzahl Lämmer*
MIxMI	3	31	49
RhxRh	5	50	70
MIxRh	7	102	176
RhxMI	7	76	159

*ohne Kontrolllämmer

Die Lammperioden lagen zwischen Februar und Mai 2003 sowie zwischen Dezember und April 2004. Die Lämmer wurden im Jahr I mit 12 Wochen und im Jahr II mit 13 Wochen abgesetzt und nach den Absetzterminen in Gruppen eingeteilt. Die Schlachtung der Tiere erfolgte mit 23 Wochen im Jahr I und mit 21 Wochen im Jahr II. Im Jahr II konnte aus versuchstechnischen Gründen (Vermarktungsschwierigkeiten) nur ein Teil der Lämmer geschlachtet werden, so dass nicht von allen Tieren die Wurmparameter vorlagen. Je Versuchsgruppe wurde im Jahr II ein Lamm nicht

infiziert, so dass insgesamt neun Lämmer infektionsfrei blieben. Diese dienten als Kontrolllämmer zur Ermittlung der Höhe des Ausmaßes der Infektion.

Bei den Lämmern wurden vom Zeitpunkt ihrer Geburt bis zur Schlachtung keinerlei anthelminthische Behandlungen vorgenommen.

3.1.2 Haltung der Versuchstiere

Die Lämmer wurden auf der Lehr- und Forschungsstation Oberer Hardthof des Institutes der Tierzucht und Haustiergenetik der Justus-Liebig-Universität Gießen gehalten.

Die Lämmer wurden von der Geburt bis zur Schlachtung im Stall auf Stroh und in Gruppen zwischen 10 und 60 Tieren gehalten. Diese Gruppengrößen kamen auf Grund der Geburtstermine zustande. Um möglichst homogene Gruppen hinsichtlich des Entwicklungsstadiums zu erhalten, wurden diese aus Lämmern zusammengesetzt, die innerhalb einer Woche geboren wurden.

Wasser, Heu und Pellets (ME 11,5 MJ/kg, 19,5% Rohprotein) standen ad libitum zur Verfügung.

3.1.3 Parasitologische Untersuchungen

Die experimentelle Infektion der Lämmer mit einer Dosis von 5000 *Haemonchus contortus*-Larven im infektiösen Stadium L3 erfolgte oral im Jahr I im Alter von 15 Wochen, drei Wochen nach dem Absetzen (s. Abbildung 1); im Jahr II im Alter von 13 Wochen, zeitgleich mit dem Absetzen (s. Abbildung 2). Der Infektionsversuch war genehmigungspflichtig und wurde unter dem Aktenzeichen V 54 – 19 c 20-15 (1), GI 17/11 – Nr. 05/2004 registriert.

Im Jahr I wurde jeweils nach vier und acht Wochen *p.i.* die Probenentnahme durchgeführt und mit Probe 1 und Probe 2 gekennzeichnet. Im Jahr II wurden ebenso vier und acht Wochen *p.i.* Probe 1 und Probe 2 durchgeführt. Zu jedem Probentermin wurden Kot und Blut eines jeden Tieres gewonnen und die Werte des FAMACHA®-Scores und Dag Scores visuell ermittelt.

Material und Methoden

Die Kotproben wurden im Jahr II eine Woche vor der experimentellen Infektion aufgenommen und mittels des Flotationsverfahrens nach Fülleborn (1920) und dem McMasterverfahren untersucht, um eine mögliche natürliche Infektion mit *Haemonchus contortus* ausschließen zu können.

Material und Methoden

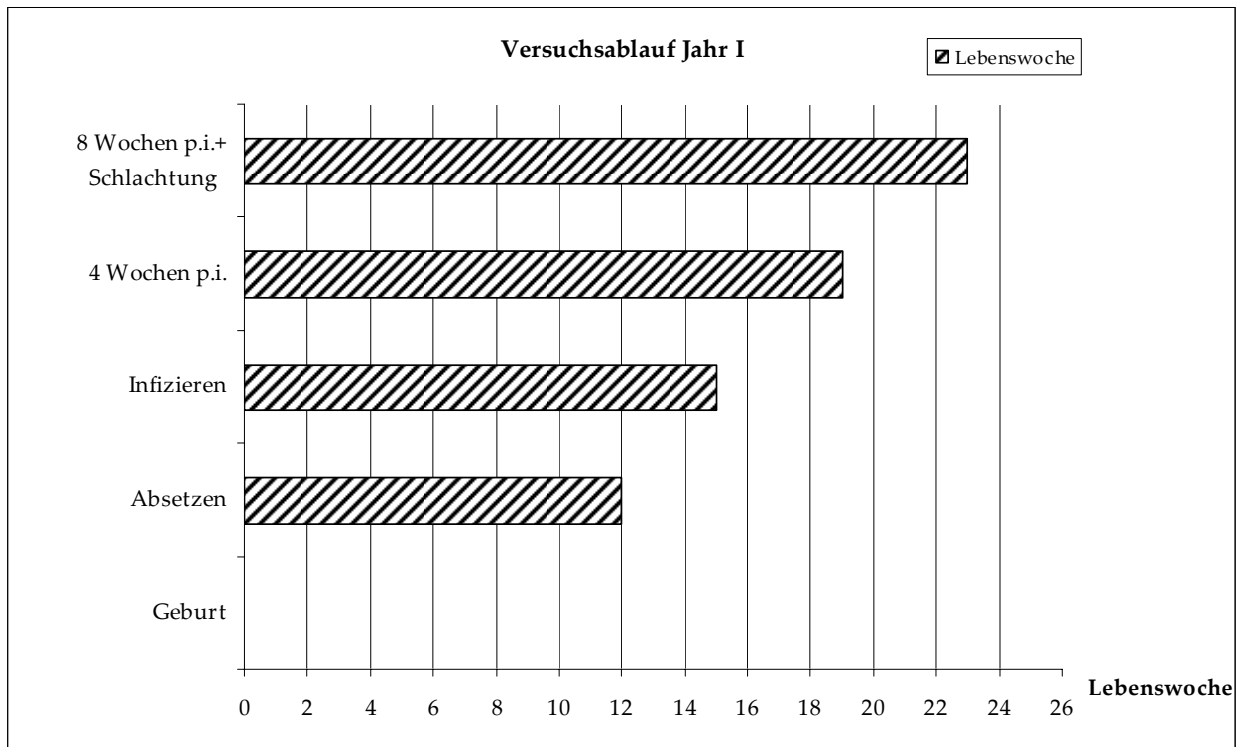


Abbildung 1: Versuchsablauf des ersten Jahres

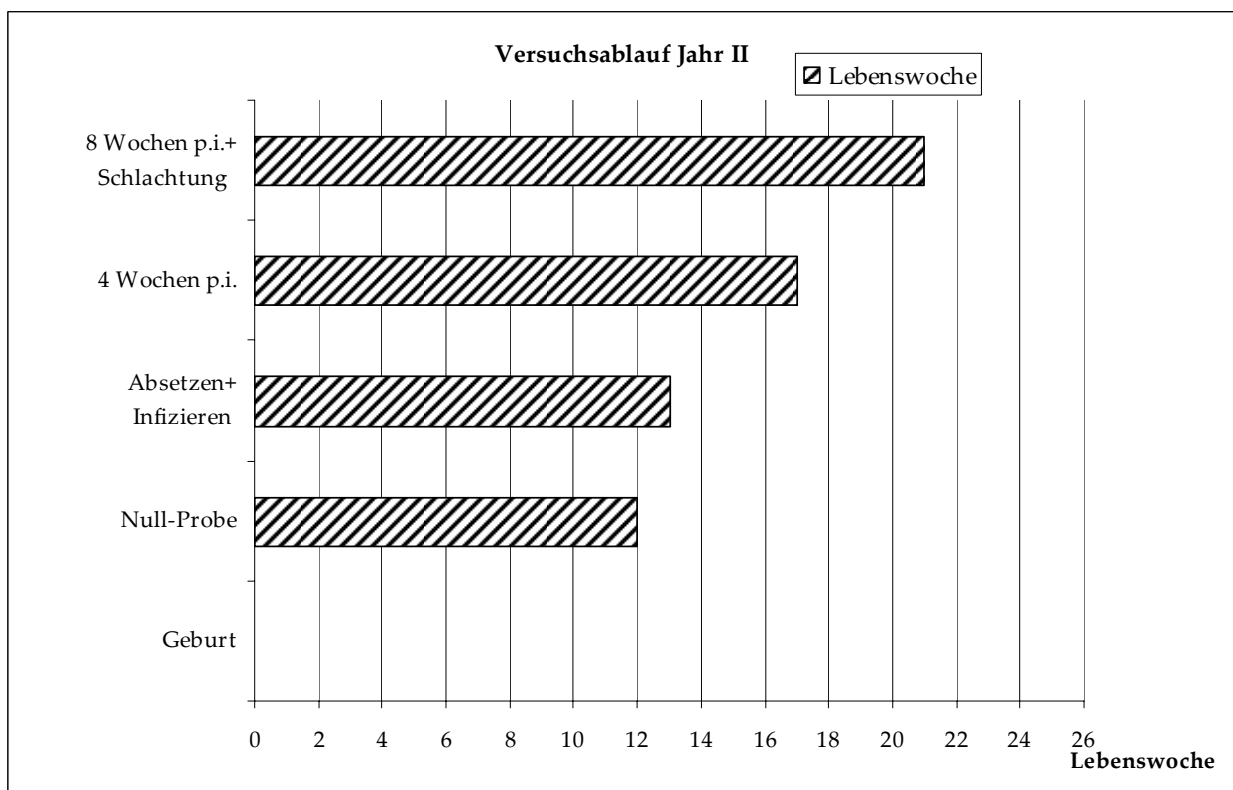


Abbildung 2: Versuchsablauf des zweiten Jahres

3.2 Methoden

3.2.1 Bestimmung der Kot- und Wurmparameter

3.2.1.1 Eizahl pro Gramm Kot

Die Kotproben der einzelnen Tiere wurden mittels des Flotationsverfahrens nach Fülleborn (1920) vorbereitet. Parasitenstadien sedimentieren zuerst in Wasser, anschließend flotieren sie wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts in Salzlösungen mit höherem spezifischem Gewicht. Anschließend wurde die Suspension mittels des modifizierten McMaster-Verfahrens und einer Zählkammer MSD-AGVET, München (Nachweisgrenze 50 Eier pro Gramm Kot) auf Magen-Darm-Nematodeneier untersucht und gezählt (Gordon und Whitlock, 1939; Whitlock, 1948).

3.2.1.2 Wurmanzahl und Wurmlänge

Im Jahr I wurde von allen Lämmern die Wurmanzahl ermittelt. Je Lamm wurde die Länge von einer Stichprobe von 10 männlichen und 10 weiblichen Würmern individuell vermessen. Nach den W.A.A.V.P.-Richtlinien zur Evaluierung des Nutzens von Anthelminthika nach Wood *et al.* (1995) wurden die Würmer gezählt und gemessen. Je Lamm wurden zwei Aliquote mit Labmageninhalt konserviert. Über diese wurde die Gesamtanzahl der im Labmagen befindlichen Würmer hochgerechnet.

Im Versuchsjahr I konnten alle Lämmer für diese Untersuchung herangezogen werden. Im Jahr II wurden je Absetzerguppe jeweils 10 männliche und 10 weibliche Lämmer hinsichtlich dieser Wurmparameter untersucht.

Aus der Wurmanzahl wurde die Etablierungsrate rechnerisch ermittelt. Die Höhe der Etablierungsrate (Anzahl der adulten Würmer, die sich aus einer Dosis von 5000 Larven je Lamm entwickeln konnten) und der Wurmfruchtbarkeit gibt Aufschluss über die Möglichkeit des Parasiten, sich in seinem Wirt einzunisten, zu entwickeln und sich zu reproduzieren.

3.2.2 Bestimmung der Blutparameter

3.2.2.1 Hämatokrit

Zur Bestimmung des Hämatokritwertes wurden Blutproben durch Punktierung der *Vena jugularis* in EDTA-beschichtete Röhrchen gewonnen. Der Hämatokrit wurde direkt am Tag der Blutentnahme mittels Mikrohämatokritverfahren nach Strumia (1974) bestimmt. Dieser Wert wurde im Jahr I für jedes Tier zu den entsprechenden Probeterminen bestimmt, im Jahr II zusätzlich eine Woche vor der Infektion.

3.2.2.2 Methoden zur Bestimmung der Schilddrüsenhormone Thyroxin (T₄) und Trijodthyronin (T₃)

Zur Bestimmung des Gesamtgehalts von T₄ und T₃ im Serum wurden Blutproben durch Punktierung der *Vena jugularis* in ein Serum Röhrchen entnommen. Diese wurden bei 3000 U/min zentrifugiert und das so gewonnene Serum bei -25° C aufbewahrt.

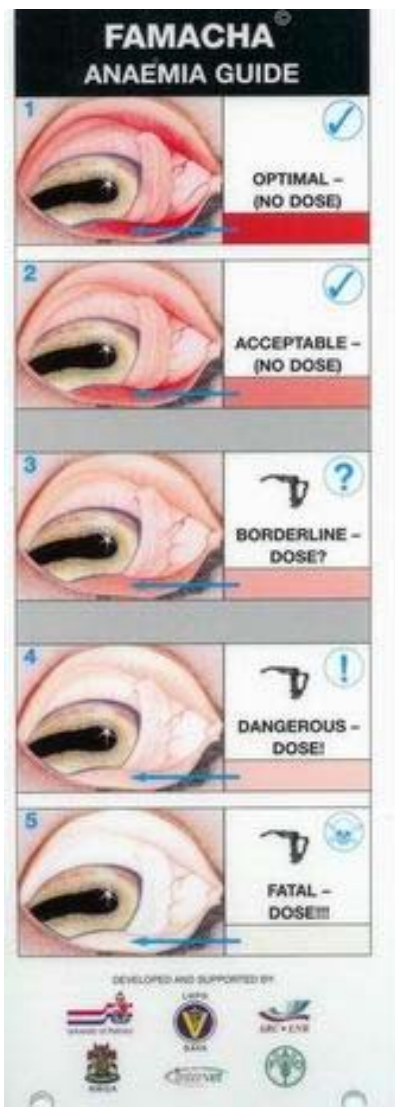
Zur direkten Bestimmung des Gesamtgehalts von Thyroxin und Trijodthyronin wurde ein Radioimmunoassay (J¹²⁵) auf der Grundlage der kompetitiven Proteinbindungsanalyse verwendet (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, USA).

Der Standardbereich bewegte sich für T₄ zwischen 0,5 und 15 µg/dl und für T₃ zwischen 20 und 600 ng/dl.

Die Analysen der Hormone mit radioaktivem Material wurden in der Zentralen Biochemischen Betriebseinheit der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Jede Probe wurde doppelt bestimmt.

3.2.3 Bestimmung der visuellen Parameter

3.2.3.1 FAMACHA®-Score

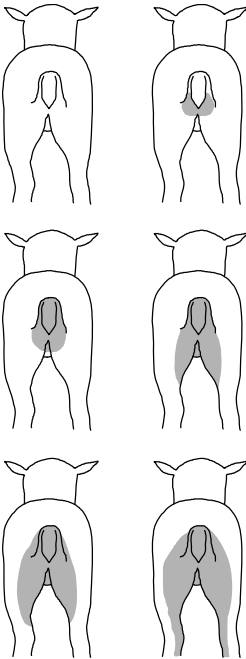


Mittels des FAMACHA®-Score-Systems (©LHPG) wurde die Färbung der Augenschleimhaut entsprechend den verschiedenen Anämie-Stadien quantifiziert (Abbildung 3). Es wurde im Jahr I zu beiden Probeterminen ein Wert pro Tier ermittelt, im Jahr II zusätzlich der Wert zum Infektionszeitpunkt.

Abbildung 3: Farbkarte des FAMACHA®-Score-Systems nach ©LHPG

Score 1 = optimal, keine Entwurmung notwendig, Score 5 = tödlich, Entwurmung notwendig

3.2.3.2 *Dag Score*



Hierbei wurde der Grad der Verschmutzung des Afters und des Hinterteils subjektiv ermittelt. Dazu wurde Abbildung 4 herangezogen, in der die verschiedenen Verschmutzungsstufen dargestellt und in Scores (0–5) eingeteilt sind (Morris *et al.*, 1995; Greeff, 2003, persönliche Mitteilung). Im Jahr I erfolgte die Bestimmung zweimal pro Tier vier und acht Wochen *p.i.*, im Jahr II einmal zusätzlich zum Infektionszeitpunkt.

Abbildung 4: Schema zur Beurteilung des Verschmutzungsgrades (*Dag Score*)

0 = keine Verschmutzung, 5 = Ein Drittel des Hinterteils ist verschmutzt (Pollott *et al.*, 2004)

3.3 Erfassung der Leistungsdaten

3.3.1 Tägliche Zunahmen und Schlachtkörperqualität

Die Tiere wurden bei der Geburt, beim Absetzen sowie nach vier und acht Wochen *p.i.* mit einer Tierwaage gewogen; d.h. mit 19 und 23 Wochen im Jahr I und mit 17 und 21 Wochen im Jahr II. Bei der Waage (Tru Test Wiegesystem Typ EC 2000 der Firma Patura) handelte es sich um einen Käfig mit Wiegefüßen, die mit einer digitalen Anzeige verbunden waren.

Die Schlachtung erfolgte 23 Wochen nach der Geburt im Jahr I, im Jahr II nach 21 Wochen. Die Schlachtkörper wurden direkt im Schlachthof Gießen gewogen und der EUROP- sowie der Fettgewebsklassifizierung durch einen neutralen Sachverständigen unterzogen. Aus den Gewichtsdaten konnte die Nettozunahmen pro Lebenstag ermittelt werden.

3.4 Statistische Auswertungen

Die Datenanalyse erfolgte mit der GLM-Prozedur aus dem Programm SAS 8.1 (2000). Die EpGs wurden mittels des log 10 transformiert, um eine Normalverteilung der Daten zu erhalten.

Phänotypische Korrelationen wurden nach Pearson zwischen den Merkmalen tägliche Zunahme und den einzelnen Parametern der Parasitenresistenz (LogEpG, Hämatokrit, FAMACHA[®]-Score, Dag Score sowie Anzahl, Länge und Fruchtbarkeit der Würmer) sowie der Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ für jeden Genotyp (Merinolandschaf, Rhönschaf, Rh x MI und MI x Rh) für die Probenentnahmen 1 und 2 berechnet.

Zur Analyse der Resistenzparameter sowie der Leistungsparameter wurden in einem linearen Modell als fixe Einflussfaktoren die Rasse, das Geschlecht, der Geburtstyp und das Jahr berücksichtigt. Zusätzlich wurde das Absetzgewicht als Kovariable mit einbezogen.

$$y_{ijklm} = \mu + R_j + S_i + G_k + J_l + A_{gew} + e_{ijklm}$$

Hierbei stellt y_{ijklm} das Merkmal der l -ten Tieres, μ das Populationsmittel, R_j den fixen Effekt der Rasse (Merinolandschaf, Rhönschaf, MI x Rh, Rh x MI), S_i den fixen Effekt des Geschlechtes, G_k den fixen Effekt des Geburtstyps (Einling, Zwilling, Drilling), J_l den fixen Effekt des Jahrs (2003 und 2004), A_{gew} die Kovariable Absetzgewicht und e_{ijklm} den zufälligen Restfehler dar.

Die Heterosis wurde nach Dickerson (1969) als Abweichung der beiden F1-Kreuzungen vom Mittel der beiden Reinzuchtpopulationen mit folgender Formel über lineare Kontraste aus obigem Model berechnet.

$$\text{Prozent Heterosis: } \left[\frac{(F_{11} + F_{12})/2 - (MI + Rh)/2}{(MI + Rh)/2} \right] * 100$$

F₁₁ bzw. F₁₂ = reziproke Kreuzungen (MIxRh bzw. RhxMI)

Material und Methoden

In Tabelle 8 ist die Verteilung der Rassen bzw. Kreuzungen, des Geschlechts der Lämmer sowie die Anzahl der Lämmer je Bock dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die Verteilung nicht gleichverteilt war.

Tabelle 8: Verteilung der Rassen und des Geschlechts der Lämmer der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh zu den Kotprobenahmen 4 und 8 Wochen p.i.

Rasse	Bocknr.	Lämmer 4. Wochen p.i.			Lämmer 8 Wochen p.i.		
		männlich	weiblich	gesamt	männlich	weiblich	gesamt
Merinolandschaf	2700	4	8	12	4	8	12
	103	10	23	33	10	24	34
	F107	1	2	3	1	2	3
	Gesamt	15	33	48	15	34	49
Rhönschaf	El 8	4	9	13	4	9	13
	G 52	7	4	11	7	4	11
	OH 98	15	3	18	15	3	18
	R 3	8	6	14	8	6	14
	W 33	8	4	12	8	4	12
	unbekannt	1	1	2	1	1	2
	Gesamt	43	27	70	43	27	70
Rh x Ml	El 8	17	16	33	17	17	34
	G 52	16	13	29	15	11	26
	OH 98	10	16	26	10	16	26
	R 3	15	16	31	15	16	31
	W 33	10	10	20	10	10	20
	803	8	10	18	9	10	19
	610	5	14	19	5	14	19
	Gesamt	81	95	176	81	94	175
Ml x Rh	772	26	39	65	25	38	63
	5110	7	5	12	8	5	13
	1712	12	5	17	12	6	18
	F 107	4	14	18	4	14	18
	K 823	12	10	22	12	10	22
	OH 267	8	10	18	8	10	18
	2700	0	5	5	0	5	5
	103	0	1	1	0	1	1
	unbekannt	1	0	1	1	0	1
	Gesamt	70	89	159	70	89	159

4 Ergebnisse

4.1 Leistungsparameter

4.1.1 Gewichtszunahme und Schlachtkörpergewichte

Als Parameter des Wachstums werden in Tabelle 9 die LSQ-Mittelwerte der Merkmale Geburtsgewicht, Gewicht bei der Probe vier und acht Wochen *p.i.* sowie die entsprechenden Lebensstageszunahmen beschrieben. Die Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Geburtstyp und Jahr sind der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 9: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen der Gewichte (kg) und der Lebensstageszunahmen (LTZ, g) 4 und 8 Wochen *p.i.* der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		Geburts- gewicht (kg)	Absetz- gewicht	Gewicht (kg) 4 Wochen <i>p.i.</i>	Gewicht (kg) 8 Wochen <i>p.i.</i>	LTZ (g) 4 Wochen <i>p.i.</i>	LTZ (g) 8 Wochen <i>p.i.</i>
Merinoland- schaf	n	69	51	48	49	48	49
	LSQ	4,62	33,87	45,17	51,05	322,76	301,99
	SE	0,105	0,6920	0,853	0,872	6,599	5,544
Rhönschaf	n	93	70	70	70	70	70
	LSQ	3,82	26,71	34,14	39,22	239,96	229,75
	SE	0,095	4,838	0,733	0,733	5,669	4,838
Rh x Ml	n	209	182	175	177	175	177
	LSQ	4,72	32,86	43,67	49,52	310,80	292,46
	SE	0,067	0,4340	0,515	0,531	3,983	3,375
Ml x Rh	n	213	168	158	157	158	157
	LSQ	4,00	29,83	38,90	43,98	276,69	259,73
	SE	0,061	0,4130	0,499	0,516	3,858	3,278
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s.	*	**	*	**	*
genetische Unterschiede zwischen Reinzuchtlämmern		***	***	***	***	***	***
genetische Unterschiede zwischen Kreuzungslämmern		***	***	***	***	***	***
Heterosis %		3,32	3,48	4,11	3,58	4,40	3,85

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 10: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Geburtstyp und Jahr auf die Gewichte (kg) und Lebensstageszunahmen (LTZ, g) 4 und 8 Wochen *p.i.*

	Geburts- gewicht (kg)	Absetz- gewicht (kg)	Gewicht (kg) 4 Wochen <i>p.i.</i>	Gewicht (kg) 8 Wochen <i>p.i.</i>	LTZ (g) 4 Wochen <i>p.i.</i>	LTZ (g) 8 Wochen <i>p.i.</i>
Rasse	***	***	***	***	***	***
Jahr	***	***	***	**	***	***
Geschlecht	***	***	n.s.	***	***	***
Geburstyp	***	***	***	***	***	***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Die Lämmer der Kreuzung Rh x Ml repräsentierten mit 4,7 kg das höchste Geburtsgewicht aller Genotypen. Die Kreuzung Ml x Rh lag mit einem mittleren Geburtsgewicht von 4,0 kg über dem Gewicht der Rhönschafe (3,8 kg), allerdings unter dem der Merinolandschafe (4,6 kg). Durch das intermediäre Geburtsgewicht der Ml x Rh und das hohe Geburtsgewicht der Rh x Ml ergab sich ein Heterosiseffekt von 3,2% für dieses Merkmal. Die Geburtsgewichte zeigten keine signifikanten genetischen Unterschiede zwischen den Reinzuchten und den Kreuzungen. Beim Vergleich der Reinzuchten miteinander wurde jedoch ein höchst signifikanter genetischer Unterschied deutlich, wie auch im Vergleich der Kreuzungen miteinander.

Beim Absetzen in der 12. bzw. 13. Lebenswoche zeigte sich, dass die Rasse Merinolandschaf mit 33,9 kg der schwerste Genotyp war. Bei der Kreuzung Rh x Ml wurde im Durchschnitt ein um 1 kg leichteres Absetzgewicht (32,9 kg) ermittelt als bei den Reinzuchten ihrer mütterlichen Genotypen. Die reziproke Kreuzung Ml x Rh tendierte mit einem Absetzgewicht von 29,8 kg ebenfalls zur Mutterrasse, dem Rhönschaf. Bei den Rhönschaf-Lämmern wurde ein Absetzgewicht von 26,7 kg ermittelt. Die genetischen Differenzen im Absetzgewicht zwischen den Reinzuchten und den Kreuzungen waren im Gegensatz zu den Differenzen im Geburtsgewicht signifikant. Auch zwischen den beiden reinrassigen Genotypen und zwischen den Kreuzungen zeigten sich höchst signifikante Unterschiede. Es ergab sich ein Heterosiseffekt von 3,49% für das Merkmal Absetzgewicht.

Bis zur Probe vier Wochen *p.i.* in der 17. Lebenswoche im Versuchsjahr II bzw. 19. Lebenswoche im Versuchsjahr I erreichten die Gewichte 45,1 kg bei den

Ergebnisse

Merinolandschafen und 34,1 kg bei den Rhönschafen. Die reziproken Kreuzungen lagen mit einem Gewicht von 43,7 kg (Rh x Ml) und 38,9 kg (Ml x Rh) zwischen den Reinzuchten. Im Gegensatz zum Geburtsgewicht waren zu diesem Zeitpunkt die genetischen Unterschiede der Reinzuchten zu den Kreuzungen hoch signifikant ($p < 0,01$). Es zeigte sich ein heterotischer Effekt von 4,11%.

Die Unterschiede der Gewichtsklassen der vier Genotypen waren zum zweiten Probetermin in der 21. bzw. 23. Lebenswoche innerhalb und zwischen den Genotypengruppen signifikant bis höchst signifikant.

Die Gewichte stiegen von der ersten zur zweiten Probe bei den Reinzuchten um 5,9 kg (Merinolandschafe) und 5,1 kg (Rhönschafe) an. In demselben Zeitraum zeigten die Kreuzungen jeweils einen um 100 g geringeren Gewichtszuwachs als die Reinzuchten ihrer Mutterassen. Acht Wochen *p.i.* lagen die Gewichte der Kreuzungen wiederum intermediär zwischen den Reinzuchten, wobei der genetische Unterschied zwischen den Reinzuchten und den Kreuzungen signifikant ($p < 0,05$) war. Der Heterosiseffekt sank im weiteren Wachstum auf 3,85%.

Die Entwicklungsunterschiede, ausgedrückt durch die mittleren täglichen Lebenstageszunahmen (LTZ), waren bis zur Probe 4 Wochen *p.i.* in den Reinzuchten höchst signifikant. Während diese bei den Merinolandschafen 323 g betragen, nahmen die Rhönschafe 240 g in derselben Zeit zu. Die mittlere tägliche Zunahme verringerte sich um 21 g bei den Merinolandschafen bzw. 10 g bei den Rhönschafen bis zum Zeitpunkt acht Wochen *p.i.*, so dass 302 g bei den Merinolandschafen und 223 g bei den Rhönschafen als mittlere tägliche Zunahme vorlag ($p < 0,001$).

Die reziproken Kreuzungen lagen in ihren Zunahmen intermediär zwischen den Elternrassen. Dabei zeigten sich signifikante bis hoch signifikante Unterschiede zwischen den Reinzucht- und den Kreuzungsgenotypen beim ersten und zweiten Probetermin. Die Zunahmen der Gruppe der Rh x Ml betragen 311 g, während die Lämmer der Abstammung Ml x Rh eine signifikant ($p < 0,001$) niedrigere Lebenstageszunahme von 277 g bis zur ersten Probenentnahme erreichten. Auch bei

Ergebnisse

den Kreuzungslämmern war ein geringer Abfall der Zunahme in der weiteren Entwicklung zu beobachten. Vier Wochen später, zum zweiten Probetermin, sank die tägliche Zunahme auf 293 g bei der Kreuzung Rh x MI und auf 260 g bei den Lämmern der Kreuzung MI x Rh.

Bis zur ersten Probe betrug die Heterosis für die Lebenstageszunahmen 4,40% und verringerte sich im weiteren Wachstum bis zur zweiten Probennahme auf 3,85%.

4.1.2 Nettozunahmen, Schlachtkörpergewichte und Klassifizierung des Schlachtkörpers

Die Tabelle 11 gibt einen Überblick über die erfassten Daten und Heterosiseffekte der Nettozunahmen und Schlachtkörpergewichte sowie der Schlachtkörperklassifizierung in den vier Genotypen.

Das Schlachtkörpergewicht der untersuchten Merinolandschaf-Lämmer betrug im Mittel 24,0 kg und lag somit etwa fünf Kilogramm höher als bei den Rhönschaf-Lämmern (19,0 kg). Das Schlachtkörpergewicht der reziproken Kreuzungen Rh x MI und MI x Rh wich um 1,5 kg voneinander ab. Dieser Unterschied war von höchster Signifikanz (s. Tabelle 12). So lagen die Kreuzungen mit 23,3 kg (Rh x MI) und 21,7 kg (MI x Rh) zwischen dem Schlachtkörpergewicht der reinrassigen Genotypen. Demnach gab es sowohl zwischen als auch innerhalb der Reinzucht- und Kreuzungsgruppe im Merkmal Schlachtkörpergewicht signifikante Unterschiede ($p < 0,01$ bzw. $p < 0,001$). Durch die deutlichen Unterschiede zwischen den Genotypen konnte auch ein eindeutiger Heterosiseffekt von 4,72% ermittelt werden (s. Tabelle 11).

Die Lämmer der Rasse Merinolandschaf zeigten die höchste mittlere Nettozunahme mit 157 g, die Rhönschafe die niedrigste mit 124 g. Die Kreuzungen lagen mit 152 g (Rh x MI) und 142 g (MI x Rh) zwischen den elterlichen Genotypen. Die genetischen Unterschiede waren zwischen und innerhalb der Reinzucht- und Kreuzungsgruppe höchst signifikant, so dass sich auch hier ein deutlicher heterotischer Effekt von 4,79% ermitteln ließ.

Ergebnisse

Tabelle 11: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen der Schlachtkörpergewichte (kg) und der Nettozunahmen (g), EUROP-Klassifizierung (1–5) und Fett-Klassifizierung (1–5) der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		Schlachtkörper- gewicht (kg)	Netto- zunahmen (g)	EUROP-Klasse (1 - 5)	Fett-Klasse (1 - 5)
Merinoland- schaf	n	48	48	48	48
	LSQ	24,02	156,6	3,03	3,76
	SE	0,487	3,171	0,035	0,062
Rhönschaf	n	55	55	54	54
	LSQ	19,00	123,9	3,17	3,84
	SE	0,479	3,122	0,035	0,062
Rh x Ml	n	119	119	119	119
	LSQ	23,30	152,3	3,03	3,79
	SE	0,348	2,267	0,025	0,045
Ml x Rh	n	120	120	120	120
	LSQ	21,75	141,6	3,02	3,80
	SE	0,328	2,136	0,024	0,042
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		**	**	**	n.s.
Vergl. Innerhalb der Elternrassen		***	***	**	n.s.
Vergl. Innerhalb der reziproken Kreuzungslämmern		***	***	n.s.	n.s.
Heterosis %		4,72	4,79	-2,40	-0,09

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 12: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Jahr, Schlachtkörpergewicht, Geschlecht und Geburtstyp auf Schlachtkörpergewichte (kg), Nettozunahmen (g), EUROP-Klassifizierung (1–5) und Fett-Klassifizierung (1–5)

	Schlachtkörper- gewicht (kg)	Nettozunahmen (g)	EUROP-Klasse (1-5)	Fett - Klasse (1-5)
Rasse	***	***	**	n.s.
Jahr	***	***	n.s.	**
Schlachtkörpergewicht		n.s.	***	***
Geschlecht	***	***	n.s.	***
Geburtstyp	***	***	n.s.	n.s.

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Die Einteilung der Schlachtkörper hinsichtlich der konvex/konkaven Schlachtkörperprofile mittels der EUROP-Klassifizierung ergab hoch signifikante Heterosiseffekte von -2,40%; d.h., dass die Kreuzungslämmer geringfügig besser klassifiziert wurden als die reinrassigen Lämmer. Im Durchschnitt wurden die Schlachtkörper mit R (= 3 bzw. gut) bewertet. Einige wenige Tiere wurden mit O (= 4 bzw. mittel) bewertet, so dass es zu geringen Unterschieden innerhalb und zwischen der Genotypen kam. Trotz der dicht beieinander liegenden Werte zeigte sich ein deutlicher Unterschied zwischen Reinzuchten und Kreuzungen und zwischen den beiden Reinzuchten.

In der Abbildung 5 sind die Verteilungen der vier Genotypen auf die einzelnen Bewertungsnoten der EUROP-Klassifizierung dargestellt. Wie dort zu entnehmen ist, wurden die Schlachtkörper aller Rassen und Kreuzungen am häufigsten im Bereich der Note 3 bzw. der Klasse R (= gut) bewertet. Die übrigen 20 Tiere wurden mit der Note 4 bzw. Klasse O (= mittel) klassifiziert. Nur ein weibliches Merinolandschaf-Lamm konnte der Qualitätsanforderung der Klasse U (= sehr gut) entsprechen.

Die Werte der Fett-Klassifizierung der Schlachtkörper lagen alle bei ca. 3,8. Dies entspricht einer mittleren bis starken Fettabdeckung auf dem Schlachtkörper. Es konnten keine signifikanten Rasseunterschiede ermittelt werden, so dass sich hier nahezu kein Heterosiseffekt feststellen ließ.

Aus der Abbildung 6 ist zu entnehmen, dass die meisten Lämmer im Bereich der Note 4 für die Fettabdeckung eingestuft wurden. Einviertel der Lämmer wurde mit der Note 3 bewertet. Nur zwei Schlachtkörper der Genotypen Merionlandschaf und MI x Rh erhielten die Note 2.

Ergebnisse

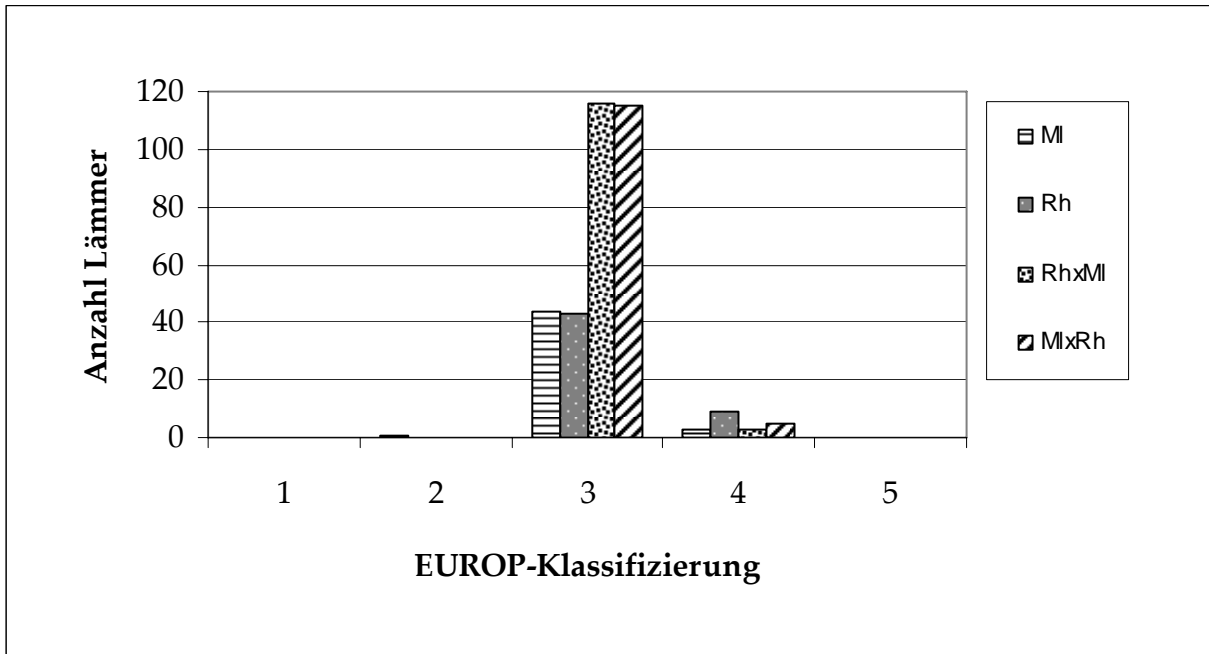


Abbildung 5: Verteilung der Genotypen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen in der EUROP-Klassifizierung (E = 1, P = 5)

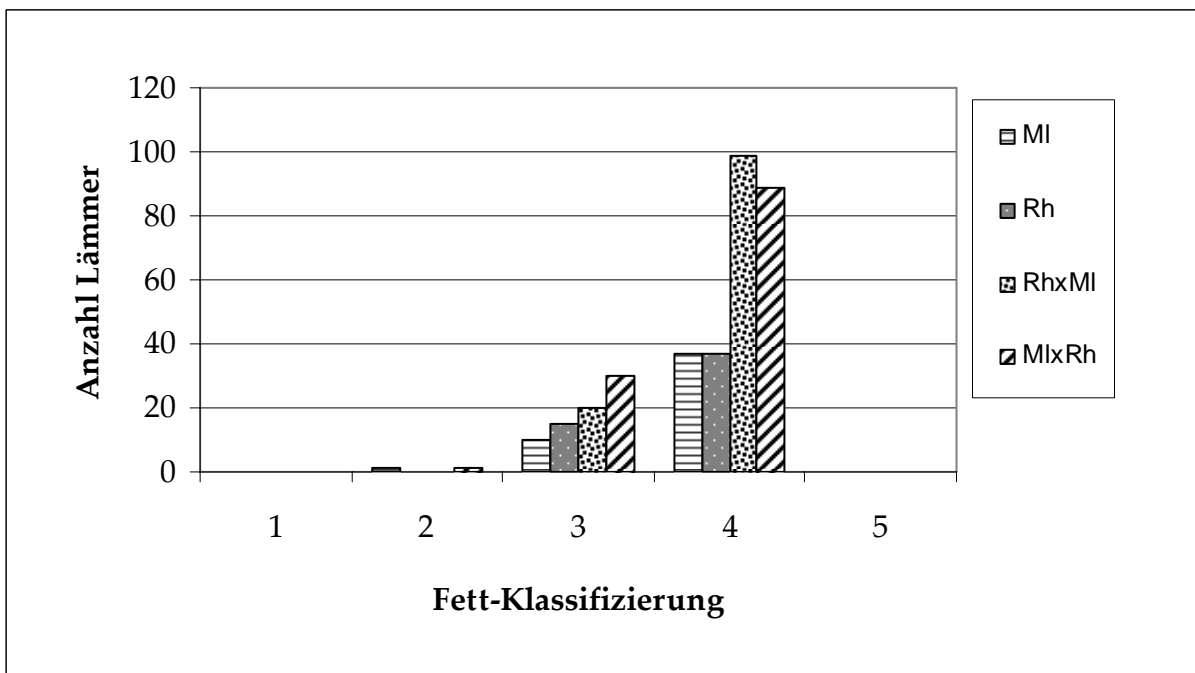


Abbildung 6: Verteilung der Genotypen Merinolandschaf (MI), Rhönschaf (Rh) und deren reziproken Kreuzungen in der Fett-Klassifizierung

4.2 Parameter der Parasitenresistenz

4.2.1 EpG, Hämatokrit, FAMACHA®-Score und Dag Score

Die Ergebnisse für die Probennahme vier und acht Wochen *p.i.* für die Parameter Eizahl pro Gramm Kot (EpG), Hämatokrit sowie die visuellen Parameter FAMACHA®-Score und Dag Score sind in den Tabellen 13, 15, 17 und 19 dargestellt.

Die Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geburtstyp, Jahr, Geschlecht und Gewicht 1 bzw. 2 (Gewicht vier bzw. acht Wochen *p.i.*) auf die Merkmale EpG, Hämatokrit, FAMACHA®-Score und Dag Score sind den Tabellen 14, 16, 18 und 20 zu entnehmen.

4.2.1.1 Eizahl pro Gramm Kot

Wie aus der Tabelle 14 ersichtlich, wurden Unterschiede zwischen den Genotypen durch den Rasseeffekt deutlich, der hoch signifikant im Merkmal LogEpG vorlag. Die in der Tabelle 13 aufgeführten Mittelwerte der logarithmierten Eizahl pro Gramm Kot (LogEpG) der ersten Proben zeigen, dass die Lämmer der Rasse Rhönschaf mit 3,54 und die Kreuzung Ml x Rh mit 3,51 die anfälligsten Genotypen darstellten. Die Kreuzung Rh x Ml lag mit 3,32 unter dem Mittel der Elternrassen und repräsentierte folglich den niedrigsten Wert. Somit waren die Differenzen der Mittelwerte innerhalb der Kreuzungen höchst signifikant. Es ergab sich ein Heterosiseffekt von -2,07% für den Zeitraum vier Wochen nach der Infektion.

Acht Wochen *p.i.* hatten sich die Mittelwerte der LogEpG verändert. Die Eianzahl im Kot der Rhönschafe erhöhte sich gering auf 3,63, während sich bei den Merinolandschafen ein um 0,16 geringerer Wert feststellen ließ als bei der ersten Probe. Die LogEpG der Kreuzung Rh x Ml (3,28) war verringert und lag auf gleichem Niveau mit der Eiausscheidung der Nachkommen der Mutterrasse (3,28). Währenddessen erhöhte sich die Eianzahl pro Gramm Kot in der Kreuzung Ml x Rh auf 3,66. Somit stellte diese Kreuzung zusammen mit den Lämmern ihrer mütterlichen Elternrasse die anfälligste Genotypengruppe dar. Die Unterschiede der Merkmalsausprägung waren

Ergebnisse

sowohl innerhalb der Kreuzungen als auch innerhalb der Reinzuchten höchst signifikant. Zwischen den Ergebnissen der LogEpG der Reinzuchten und der Kreuzungen konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Aufgrund der hohen Eiausscheidung in der Kreuzung MI x Rh in der Probe acht Wochen *p.i.* sank die in der Probe vier Wochen *p.i.* aufgetretene heterotische Erscheinung auf nahezu Null (0,45%).

Tabelle 13: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen verschiedener Resistenzparameter 4 und 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh

		LogEpG 4 Wochen p.i.	LogEpG 8 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	47	48
	LSQ	3,44	3,28
	SE	0,056	0,058
Rhönschaf	n	70	70
	LSQ	3,54	3,63
	SE	0,051	0,053
Rh x MI	n	175	174
	LSQ	3,32	3,28
	SE	0,034	0,036
MI x Rh	n	157	157
	LSQ	3,51	3,66
	SE	0,033	0,034
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern			
		n.s.	n.s.
Vergl. innerhalb der Elternrassen			
		n.s.	***
Vergl. innerhalb der reziproken Kreuzungen			
		***	***
Heterosis %		-2,07	0,45

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 14: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter LogEpG 4 und 8 Wochen p.i.

	LogEpG 4 Wochen p.i.	LogEpG 8 Wochen p.i.
Rasse	**	***
Jahr	*	***
Gewicht 4 bzw. 8 Wochen p.i.	n.s.	n.s.
Absetzgewicht	**	n.s.
Geschlecht	*	***
Geburstyp	n.s.	n.s.

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

4.2.1.2 Hämatokrit

Die Ergebnisse des Resistenzparameters Hämatokritwert sind der Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler (SE), Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameters Hämatokrit 4 und 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		Hämatokrit 4 Wochen p.i.	Hämatokrit 8 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	48	48
	LSQ	0,29	0,29
	SE	0,005	0,006
Rhönschaf	n	70	69
	LSQ	0,28	0,29
	SE	0,005	0,005
Rh x Ml	n	174	176
	LSQ	0,30	0,30
	SE	0,003	0,004
Ml x Rh	n	153	157
	LSQ	0,29	0,29
	SE	0,003	0,003
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s.	n.s.
Vergl. innerhalb der Elternrassen		n.s.	n.s.
Vergl. innerhalb der reziproken Kreuzungen		*	n.s.
Heterosis %		2,08	0,50

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 16: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter Hämatokrit 4 und 8 Wochen *p.i.*

	Hämatokrit 4 Wochen <i>p.i.</i>	Hämatokrit 8 Wochen <i>p.i.</i>
Rasse	*	n.s.
Jahr	***	*
Absetzgewicht	n.s.	n.s.
Gewicht 4 bzw. 8 Wochen <i>p.i.</i>	n.s.	n.s.
Geschlecht	**	*
Geburtstyp	n.s.	n.s.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Die Hämatokritwerte der beteiligten Rassen und Kreuzungen lagen vier Wochen *p.i.* zwischen 0,28 bzw. 28% und 0,30 bzw. 30% (s. Tabelle 15). In dieser Blutprobe zeigte sich für die Merinolandschaf-Lämmer und die Kreuzung $MI \times Rh$ ein Wert von 0,29, während die Rhönschaf-Lämmer einen geringfügig niedrigeren Hämatokrit von 0,28 aufwiesen.

Die Kreuzung $Rh \times MI$ repräsentierte mit 0,30 den höchsten gemessenen Hämatokritwert. Nur die Differenz der Hämatokritwerte zwischen den Kreuzungen zeigte sich als signifikant. Durch die fehlenden signifikanten Differenzen zwischen den Reinzuchten und den Kreuzungen ergab sich aus den Mittelwerten nur ein geringer, positiver Heterosiseffekt von 2,08% für das Merkmal Hämatokrit bei der Probe vier Wochen *p.i.*

Zum zweiten Probetermin, acht Wochen *p.i.*, stieg der Hämatokritwert der Rhönschaf-Lämmer um 0,1 an. Die Kreuzung $MI \times Rh$ und die Merinolandschaf-Lämmer zeigten einen konstanten Wert von der Probe vier auf acht Wochen *p.i.* mit 0,29. Ebenso konstant verhielt sich der Hämatokrit der Kreuzung $Rh \times MI$, indem er bei 0,30 blieb. Die Unterschiede waren statistisch unbedeutend ($p > 0,05$), so dass kein heterotischer Effekt (-0,50%) in Erscheinung trat.

Wie der Tabelle 16 zu entnehmen ist, hatten auf das Merkmal Hämatokrit das Jahr sowie das Geschlecht zu beiden Probezeitpunkten einen bedeutenden Einfluss.

Ergebnisse

4.2.1.3 FAMACHA®-Scores

Die FAMACHA®-Scores vier Wochen *p.i.* lagen bei allen Rassen und Kreuzungen tendenziell im Bereich 2. Demnach konnten unter diesen Bedingungen bei den meisten Tieren subjektiv keine Anämien festgestellt werden. In diesem Merkmal konnten keinerlei signifikante Rasseunterschiede nachgewiesen werden (s. Tabelle 17). So konnte nur ein Heterosiseffekt von -1,87% ermittelt werden.

Zum Probetermin acht Wochen *p.i.* erhöhten sich die Mittelwerte der Scores aller Genotypen geringfügig. Die Scores lagen zwischen 1,6 (bei den Rhönschaf-Lämmern) und 1,9 (bei der Kreuzung Ml x Rh); d.h., dass die Augenkonjunktiva dieser Kreuzung gegenüber den anderen drei Genotypen am blassesten eingestuft wurden. Der Heterosiseffekt entwickelte sich in einen positiven Bereich von 9,37%. Auch bei der Probe acht Wochen *p.i.* konnte kein signifikanter Unterschied zwischen und innerhalb der Genotypen nachweisen werden.

Statistisch konnte hinsichtlich der Einflussfaktoren nur das Jahr und das Gewicht vier Wochen *p.i.* für die Daten der ersten Probe (vier Wochen *p.i.*) abgesichert werden (s. Tabelle 18).

Ergebnisse

Tabelle 17: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler, Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameter FAMACHA[©]-Score 4 und 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		FAMACHA [©] - Score 4 Wochen p.i.	FAMACHA [©] - Score 8 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	47	48
	LSQ	1,941	1,70
	SE	0,122	0,126
Rhönschaf	n	71	70
	LSQ	1,961	1,65
	SE	0,109	0,114
Rh x Ml	n	175	177
	LSQ	1,827	1,76
	SE	0,075	0,077
Ml x Rh	n	159	157
	LSQ	2,002	1,91
	SE	0,071	0,073
genetische Unterschiede zwischen			
Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s.	n.s.
Vergl. innerhalb der Elternrassen			
Vergl. innerhalb der reziproken Kreuzungen		n.s.	n.s.
Heterosis %		-1,87	9,37

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 18: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter FAMACHA[©]-Score 4 und 8 Wochen p.i.

	FAMACHA [©] - Score 4 Wochen p.i.	FAMACHA [©] - Score 8 Wochen p.i.
Rasse	n.s.	n.s.
Jahr	*	n.s.
Absetzgewicht	n.s.	n.s.
Gewicht 4 bzw. 8 Wochen p.i.	***	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.
Geburtstyp	n.s.	n.s.

Ergebnisse

Dag Score

Der Dag Score, als Merkmal für die subjektive Bewertung der Verschmutzung des Afters und Hinterteils durch Kot (0 = keine Verschmutzung bis 5 = starke Verschmutzung an After und Hinterteil bis zu den Sprunggelenken), ergab während der ersten Probennahme (vier Wochen *p.i.*) Werte zwischen 1,8 und 2,3 (s. Tabelle 19). Das Mittel der Scores der Reinzucht Merinolandschaf lag mit 1,8 am niedrigsten; d.h. dass hierbei die geringste Kotverschmutzung vorlag. Die Kreuzung Rh × Ml repräsentierte dagegen die höchste Verschmutzung mit einem Wert von 2,3, lag aber mit der reziproken Kreuzung Ml × Rh (2,1) und den Nachkommen ihres mütterlichen Genotyps (2,2) auf etwa einem Niveau. Es zeigte sich, dass lediglich die genetischen Unterschiede zwischen den Reinzuchten abzusichern waren ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Tabelle 19: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler, Heterosiseffekte und Signifikanzen des Resistenzparameter Dag Score 4 und 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh

		Dag Score 4 Wochen p.i.	Dag Score 8 Wochen p.i.
Merinoland- schaf	n	47	48
	LSQ	1,78	2,12
	SE	0,155	0,166
Rhönschaf	n	71	70
	LSQ	2,23	2,62
	SE	0,132	0,136
Rh x MI	n	175	176
	LSQ	2,29	2,41
	SE	0,090	0,096
MI x Rh	n	159	156
	LSQ	2,08	2,35
	SE	0,086	0,089
genetische			
Unterschiede zwischen		n.s.	n.s.
Reinzucht- und			
Kreuzungslämmern			
Vergl. innerhalb der		*	*
Elternrassen			
Vergl. innerhalb der		n.s.	n.s.
reziproken			
Kreuzungen			
Heterosis %		9,06	0,61

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 20: Signifikanzen der Einflussfaktoren Rasse, Geschlecht, Gewicht, Geburtstyp und Jahr auf den Resistenzparameter Dag Score 4 und 8 Wochen p.i.

	Dag Score 4 Wochen p.i.	Dag Score 8 Wochen p.i.
Rasse	*	n.s.
Jahr	***	***
Absetzgewicht	n.s.	n.s.
Gewicht 4 bzw. 8 Wochen p.i.	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.
Geburtstyp	n.s.	n.s.

Ergebnisse

Der hohe Verschmutzungsgrad der Kreuzung Rh x Ml führte zu einem positiven Heterosiseffekt von 9,06%; d.h. dass die Kreuzungslämmer durchschnittlich einen höheren Verschmutzungsgrad aufwiesen als die Reinzuchten.

Bis zur Probennahme acht Wochen *p.i.* waren die Mittelwerte der Scores aller Genotypen angestiegen, die Verschmutzungen nahmen demnach zu (s. Tabelle 19). Die Mittelwerte lagen dicht beieinander (2,1 bis 2,6), so dass keine statistisch abgesicherten Rasseeffekte ($p > 0,05$) mehr deutlich wurden. Die genetischen Differenzen der Mittelwerte waren nicht signifikant. Nur innerhalb der Reinzuchten zeigte sich, dass die Differenzen der Scores signifikant waren ($p < 0,05$). Dabei sank der Heterosiseffekt auf 0,61%.

Im Hinblick auf die Einflussfaktoren konnte das Jahr zu beiden Probezeitpunkten als höchst signifikant beobachtet werden (s. Tabelle 20).

Ergebnisse

4.2.2 Wurmparameter

Zur Ermittlung der Wurmparameter, die als Indikatoren der Parasitenresistenz herangezogen wurden, wurden die Länge sowie die Anzahl der Würmer nach Geschlechtern getrennt untersucht. Die Ergebnisse sind den Tabelle 21 und 22 zu entnehmen.

Tabelle 21: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte der Längen und Anzahl männlicher und weiblicher Würmer sowie der gesamten Wurmbürde der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Anzahl Würmer gesamt	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer
Merinolandschaf	n	45	45		44	44
	LSQ	859	827	1.685,51	16,28	23,93
	SE	64,649	66,498	128,921	0,173	0,300
Rhönschaf	n	56	56		55	54
	LSQ	844	872	1.716,04	16,28	24,24
	SE	62,657	64,449	124,948	0,168	0,291
Rh x Ml	n	104	104		105	105
	LSQ	719	707	1.425,31	15,92	23,95
	SE	45,200	46,493	90,136	0,126	0,218
Ml x Rh	n	126	125		124	124
	LSQ	992	1014	2.006,21	16,23	24,92
	SE	41,225	42,404	82,210	0,110	0,191
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genetische Unterschiede zwischen Reinzuchtlämmern		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genetische Unterschiede zwischen Kreuzungslämmern		***	***	***	***	***
Heterosis %		0,52	1,24	0,88	-1,25	1,44

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 22: Signifikanzen der Wurmparameter Länge und Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Anzahl der Würmer gesamt

	Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Anzahl Würmer gesamt	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer
Rasse	***	***	***	n.s.	***
Jahr	***	***	***	***	n.s.
Absetzgewicht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Gewicht 8 Wochen p.i.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Geburstyp	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Ein schwacher Heterosiseffekt wurde bei dem Merkmal Anzahl männlicher und weiblicher Würmer ermittelt. Zwischen den Kreuzungen zeigten sich höchst signifikante Unterschiede in der Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer. In der Kreuzung Rh x Ml lag die geringste Anzahl männlicher (718,6) und weiblicher Würmer (706,7) vor, während sich in der reziproken Kreuzung die höchste Anzahl männlicher (992,3) und weiblicher Würmer (1013,9) entwickeln konnten. Die Mittelwerte der Reinzuchten wichen nicht signifikant voneinander ab und befanden sich zwischen den Werten der Kreuzungen.

Wiederum durch die hohen LSQ-Mittelwerte für die Anzahl männlicher und weiblicher Würmer in der Kreuzung Ml x Rh ergab sich kein bzw. nur ein sehr geringer, positiver heterotischer Effekt von 0,52% bzw. 1,24%. Der Einfluss von Rasse- und Jahreseffekten war dennoch bei diesen beiden Merkmalen höchst signifikant (Tabelle 22).

Es zeigte sich, dass die kürzeren männlichen Würmer mit 15,9 mm in der Kreuzung Rh x Ml vorlag. Nicht signifikant längere männliche Würmer wurden sowohl in der Rasse Rhönschaf als auch in den Labmägen der Merinolandschaf-Lämmer mit 16,3 mm nachgewiesen (Tabelle 21). Sowohl die Rasseeffekte (Tabelle 22) als auch die Unterschiede zwischen Rassen und Kreuzungen in diesem Merkmal wiesen keine statistische Relevanz auf. Innerhalb der Kreuzungen zeigte sich jedoch die Differenz der gemessenen Wurmlängen als signifikant ($p < 0,05$), da in der Kreuzung Ml x Rh nahezu gleich lange männliche Würmer gemessen wurden wie in der Reinzucht Merinolandschaf. So ergab sich ein geringer Heterosiseffekt von -1,25%.

Die Länge der weiblichen Würmer wurde zwischen 23,9 mm und 24,9 mm gemessen. Hier wurden die kürzeren Weibchen in der Reinzucht Merinolandschaf und der Kreuzung Rh x Ml gemessen. Die längsten Würmer wurde in der Kreuzung Ml x Rh vorgefunden, so dass es zu einem höchst signifikanten Unterschied zwischen den Kreuzungen kam. Trotz eines höchst signifikanten Rasseeffekts, zeigte sich durch die relativ längeren weiblichen Würmer in der Kreuzung Ml x Rh nur ein sehr geringer positiver heterotischer Effekt von 1,44%.

Ergebnisse

Durch die höchste Wurmbürde (2006) in der Kreuzung MI x Rh und die niedrigste (1425) in der reziproken Kreuzung war der Unterschied der gesamten Wurmbürde innerhalb der Kreuzungen sehr deutlich (s. Tabelle 21). Die Wurmbürden in den reingezüchteten Lämmern lagen zwischen den Kreuzungen. Somit konnten auch für das Merkmal der gesamten etablierten Wurmbürde keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kreuzungen und den Reinzuchten ermittelt werden. Wie aus Tabelle 23 zu ersehen ist, zeigte sich ein geringer positiver Heterosiseffekt von 0,88%. Dabei beeinflussten Rasse- und Jahreseffekte das Merkmal höchst signifikant (s. Tabelle 24).

Tabelle 23: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte der Etablierungsrate (in %) der Würmer, der Fruchtbarkeit der weiblichen Würmer sowie der Relation der männlichen zu den weiblichen Wurmern bei den Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh

		Etablierungsrate (%)	Wurmfruchtbarkeit (Eier/ weibl. Wurm)	Relation männl. Würmer/weibl. Würmer
Merinolandschaf	n	45	45	45
	LSQ	33,71	4,18	1,07
	SE	2,578	0,868	0,036
Rhönschaf	n	56	56	56
	LSQ	34,32	7,57	0,97
	SE	2,499	0,851	0,035
Rh x MI	n	117	117	117
	LSQ	28,51	5,44	1,03
	SE	1,803	0,609	0,025
MI x Rh	n	125	125	125
	LSQ	40,12	6,45	1,01
	SE	1,644	0,557	0,023
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s.	n.s.	n.s.
Vergl. Innerhalb der Elternrassen		n.s.	**	*
Vergl. Innerhalb der reziproken Kreuzungslämmern		***	n.s.	n.s.
Heterosis %		0,88	1,13	-0,47

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 24: Signifikanzen der Wurmparameter Etablierungsrate (%), Wurmfruchtbarkeit und Relation der männlichen und weiblichen Würmer

	Etablierungs- rate (%)	Wurm- fruchtbarkeit	Relation männl./weibl. Würmer
Rasse	***	*	n.s.
Jahr	***	n.s.	n.s.
Absetzgewicht	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	n.s.	n.s.	n.s.
Geburstyp	n.s.	n.s.	n.s.

Die mittlere Etablierungsrate lag zwischen 28,5% und 40,1% (s. Tabelle 23). Die geringste Etablierungsrate wurde in der Kreuzung Rh x MI nachgewiesen, während die Reinzuchten mit 33,7% (MI) und 34,3% (Rh) zwischen den Kreuzungen lagen. In den Lämmern der Kreuzung MI x Rh konnten sich die Larven mit 40,1% am besten entwickeln. Die genetischen Unterschiede waren trotz eines höchst signifikanten Rasseeffektes nicht von statistischer Bedeutung zwischen den reinrassigen Tieren und den Kreuzungslämmern. Die genetische Differenz der Mittelwerte zwischen den Kreuzungen konnte dagegen statistisch abgesichert werden.

Durch die hohen Mittelwerte der Genotypengruppe MI x Rh konnte nur ein sehr geringer positiver Heterosiseffekt (0,87%) in der Etablierungsrate nachgewiesen werden (s. Tabelle 23).

Die Mittelwerte für die Wurmfruchtbarkeit (Anzahl ausgeschiedener Eier pro weiblichem Wurm) ergaben, dass die weiblichen Würmer in den Merinolandschaf-Lämmern mit 4,2 Eiern pro Wurm weniger fruchtbar waren als die Würmer in den übrigen Genotypen (s. Tabelle 23). In der Rasse Rhönschaf dagegen war die Reproduktionsrate der weiblichen Würmer am höchsten (7,6 Eier/Wurm). Die Wurmfruchtbarkeit in den Kreuzungslämmern lag zwischen den Werten der Reinzuchten. Ein genetisch signifikanter Unterschied ließ sich nur innerhalb der Reinzuchten nachweisen ($p < 0,001$).

Da die Unterschiede zwischen den Reinzucht- und Kreuzungsgenotypen nicht signifikant waren, konnte auch keine deutliche Heterosis (1,13%) ermittelt werden.

Ergebnisse

Die Relation von männlichen zu weiblichen Würmern war bei allen Rassen nahezu 1:1 (Tabelle 23).

4.2.3 Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin

Die Werte der Gesamtkonzentration von Thyroxin (T_4) zeigten einen höchst signifikanten Rasse- sowie Geschlechtseffekt (Tabelle 26). Während bei der ersten Probe zwischen den Reinzuchtrassen und den Kreuzungen keine genetisch bedingten Unterschiede ermittelt werden konnten, lagen zwischen beiden Elternrassen und zwischen den Kreuzungen hoch signifikante Unterschiede vor. Bei der Probe acht Wochen *p.i.* konnte nur die Differenz zwischen den Kreuzungsgenotypen statistisch abgesichert werden (Tabelle 25).

Zur Probe vier Wochen *p.i.* zeigten die Merinolandschaf-Lämmer die höchste T_4 -Konzentration mit 5,3 $\mu\text{g}/\text{dl}$, gefolgt von der Kreuzung $\text{Ml} \times \text{Rh}$ (5,0 $\mu\text{g}/\text{dl}$) und der Kreuzung $\text{Rh} \times \text{Ml}$ mit 4,8 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Die niedrigste Konzentration wiesen die Rhönschaf-Lämmern (4,4 $\mu\text{g}/\text{dl}$). auf. Die Ermittlung der Heterosis ergab, dass bei den Kreuzungen vier Wochen *p.i.* im Durchschnitt eine um 1,98% höhere Konzentration über dem Mittel der Elternrassen gemessen wurde.

Acht Wochen *p.i.* erhöhten sich die Werte der Kreuzung $\text{Ml} \times \text{Rh}$ auf 5,6 $\mu\text{g}/\text{dl}$, die der Rhönschafe auf 4,9 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Die Konzentrationen der beiden anderen Genotypen veränderten sich nur unbedeutend. Wie auch bei der T_4 -Konzentration vier Wochen *p.i.* zeigten sich hier wieder höchst signifikante Rasse- und Geschlechtseffekte (Tabelle 26) sowie genetisch bedingte Unterschiede innerhalb der Kreuzungen (Tabelle 25). Durch die Veränderung der Konzentration in den Genotypen Merinolandschaf und $\text{Ml} \times \text{Rh}$ ergab sich ein positiver Heterosiseffekt von 2,08 %.

Im Merkmal Gesamtkonzentration Trijodthyronin (T_3) ließen sich weder vier noch acht Wochen *p.i.* genetische Unterschiede statistisch absichern. Die Konzentrationen lagen im Bereich 157,2 und 164,0 ng/dl vier Wochen *p.i.* und 138,2 bzw. 151,1 ng/dl acht Wochen *p.i.* Statistisch konnten die Unterschiede in den

Ergebnisse

T₃-Konzentrationen der vier Genotypengruppen nicht abgesichert werden. Die ermittelten Heterosiseffekte lagen vier Wochen *p.i.* bei 3,26% und sanken acht Wochen *p.i.* auf 1,51%.

Tabelle 25: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und Heterosiseffekte von Gesamtthyroxin (T₄ in µg/dl) und Gesamttrijodthyronin (T₃ in ng/dl) 4 und 8 Wochen p.i. bei den Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		T ₄	T ₃	T ₄	T ₃
		4 Wochen p.i.	4 Wochen p.i.	8 Wochen p.i.	8 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	48	48	49	48
	LSQ	5,30	157,21	5,23	149,91
	SE	0,134	7,910	0,142	7,920
Rhönschaf	n	71	69	70	70
	LSQ	4,36	160,31	4,93	138,21
	SE	0,119	7,100	0,128	7,052
Rh x Ml	n	183	182	181	180
	LSQ	4,78	163,83	4,80	151,14
	SE	0,078	4,581	0,084	4,613
Ml x Rh	n	160	157	156	157
	LSQ	5,07	164,04	5,58	141,34
	SE	0,077	4,613	0,083	4,576
genetische Unterschiede zwischen Reinzucht- und Kreuzungslämmern		n.s	n.s	n.s	n.s
genetische Unterschiede zwischen Reinzuchtflämmern		**	n.s	n.s	n.s
genetische Unterschiede zwischen Kreuzungslämmern		**	n.s	***	n.s
Heterosis %		1,98	3,26	2,08	1,51

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Tabelle 26: Signifikanzen der Schilddrüsenparameter Thyroxin (T₄) und Trijodthyronin (T₃) 4 und 8 Wochen p.i.

	T ₄	T ₃	T ₄	T ₃
	4 Wochen p.i.	4 Wochen p.i.	8 Wochen p.i.	8 Wochen p.i.
Rasse	***	n.s.	***	n.s.
Jahr	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Absetzgewicht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Gewicht 1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Geschlecht	***	*	***	*
Geburtstyp	*	n.s.	n.s.	n.s.

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

4.3 Phänotypische Korrelationen

4.3.1 Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidungsrate (LogEpG) und Wurmbürde

Die phänotypischen Korrelationen zwischen Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewichte vier und acht Wochen *p.i.* und den Resistenzparametern LogEpG 4 Wochen *p.i.* und 8 Wochen *p.i.* sind den Kapiteln 4.3.1.1 bis 4.3.1.3 (Tabelle 27 bis Tabelle 30) zu entnehmen.

Aus den nachfolgenden Tabellen ist bei allen vier Genotypen einheitlich ein enger Zusammenhang zwischen der LogEpG vier bzw. acht Wochen *p.i.* und der Wurmmzahl gesamt deutlich. Auch die zu den verschiedenen Zeitpunkten ermittelten Gewichte zeigten in allen Genotypen eine starke und hoch bis höchst signifikante Beziehung zueinander.

4.3.1.1 *Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparameter, Eiausscheidung und Wurmbürde beim Merinolandschaf*

Bei der Rasse Merinolandschaf zeigte sich, dass zwischen LogEpG vier Wochen *p.i.* und dem Absetzgewicht sowie den Gewichten vier und acht Wochen *p.i.* eine enge negative Beziehung bestand, die sich im Bereich von $-0,440$ und $-0,456$ bewegte (s. Tabelle 27). Acht Wochen nach der Infektion konnten dagegen keinerlei statistisch abgesicherte Korrelationen ermittelt werden. Auch zwischen dem Indikator „Gesamtanzahl der Würmer“ und den einzelnen Gewichten konnten keine Zusammenhänge festgestellt werden.

Ergebnisse

Tabelle 27: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen p.i., Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht vier und acht Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl Würmer der Rasse Merinolandschaf

	Geburts- gewicht	Absetz- gewicht	Gewicht 4 Wochen p.i.	Gewicht 8 Wochen p.i.	Wurmmzahl gesamt
LogEpG 4 Wochen p.i.	-0,137 n.s.	-0,456 **	-0,440 **	-0,444 **	0,658 ***
N	47	46	46	47	47
LogEpG 8 Wochen p.i.	-0,250 n.s.	-0,232 n.s.	-0,172 n.s.	-0,177 n.s.	0,383 **
N	48	48	47	48	45
Geburts- gewicht		0,578 ***	0,513 ***	0,458 **	-0,189 n.s.
N		51	47	48	45
Absetz- gewicht			0,882 ***	0,838 ***	-0,207 n.s.
N			46	47	45
Gewicht 4 Wochen p.i.				0,951 ***	-0,197 n.s.
N				47	44
Gewicht 8 Wochen p.i.					-0,264 n.s.
N					45

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

4.3.1.2 Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidung und Wurmbürde beim Rhönschaf

Die phänotypischen Korrelationen bei der Rasse Rhönschaf verhielten sich ähnlich wie bei den Merinolandschafen. Zwischen LogEpG vier Wochen *p.i.* und dem Absetzgewicht sowie zu den Gewichten vier und acht Wochen *p.i.* lagen signifikante bis höchst signifikante negative Beziehungen zwischen $-0,255$ und $-0,414$ vor. Acht Wochen *p.i.* konnte nur noch eine statistisch relevante Beziehung zwischen LogEpG und dem Gewicht von $-0,337$ ($p < 0,01$) nachgewiesen werden.

Tabelle 28: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen *p.i.* Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht 4 und 8 Wochen *p.i.* sowie der Gesamtanzahl Würmer der Rasse Rhönschaf

	Geburts- gewicht	Absetz- gewicht	Gewicht 4 Wochen <i>p.i.</i>	Gewicht 8 Wochen <i>p.i.</i>	Wurmfzahl gesamt
LogEpG 4 Wochen <i>p.i.</i>	-0,171	-0,359	-0,255	-0,414	0,617
N	n.s.	**	*	***	***
LogEpG 8 Wochen <i>p.i.</i>	-0,113	-0,199	-0,122	-0,337	0,752
N	n.s.	n.s.	n.s.	**	***
Geburts- gewicht		0,658	0,493	0,569	-0,087
N		***	***	***	n.s.
Absetz- gewicht			0,682	0,777	-0,134
N			***	***	n.s.
Gewicht 4 Wochen <i>p.i.</i>				0,870	-0,033
N				***	n.s.
Gewicht 8 Wochen <i>p.i.</i>					0,221
N					n.s.
N					54

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

4.3.1.3 Phänotypische Korrelationen zwischen Gewichtsparametern, Eiausscheidung und Wurmbürde bei den Kreuzungen Rhönschaf x Merinolandschaf und Merinolandschaf x Rhönschaf

Die Beziehungen zwischen LogEpG vier Wochen *p.i.* und den Gewichten waren in der Kreuzung Rh x Ml schwächer als in den Reinzuchten (s. Tabelle 29). Während das Absetzgewicht mit dem LogEpG vier Wochen *p.i.* noch hoch signifikant (-0,205) korrelierte, konnte mit dem Gewicht vier Wochen nach der Infektion keine signifikante Beziehung mehr festgestellt werden. Dagegen korrelierte LogEpG vier Wochen *p.i.* mit dem Gewicht acht Wochen *p.i.* wiederum schwach, jedoch signifikant miteinander. Die Eiausscheidung acht Wochen *p.i.* zeigte zu den Gewichten zu keinem Zeitpunkt eine gesicherte Beziehung. Zwischen der Gesamtanzahl der Würmer und dem Geburtsgewicht wurde in diesem Genotypen eine signifikante Beziehung von -0,214 ermittelt.

Ergebnisse

Tabelle 29: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen p.i., Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl Würmer der Kreuzung Rh x Ml

	Geburts- gewicht	Absetz- gewicht	Gewicht 4 Wochen p.i.	Gewicht 8 Wochen p.i.	Wurmzahl gesamt
LogEpG 4 Wochen p.i.	-0,141 n.s.	-0,205 **	-0,080 n.s.	-0,183 *	0,598 ***
N	173	173	175	175	116
LogEpG 8 Wochen p.i.	-0,059 n.s.	-0,055 n.s.	-0,044 n.s.	-0,144 n.s.	0,665 ***
N	172	171	172	174	116
Geburts- gewicht		0,550 ***	0,459 ***	0,430 ***	-0,214 *
N		174	173	175	115
Absetz- gewicht			0,890 ***	0,863 ***	-0,173 n.s.
N			173	174	116
Gewicht 4 Wochen p.i.				0,892 ***	0,181 n.s.
N				175	117
Gewicht 8 Wochen p.i.					0,181 n.s.
N					117

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Bei den Kreuzungslämmern der Variante Ml x Rh konnte nur die schwache Beziehung zwischen LogEpG vier Wochen *p.i.* und Gewicht acht Wochen *p.i.* statistisch abgesichert werden (s. Tabelle 30). Alle übrigen Gewichtparameter zeigten keine Korrelationen zu den Resistenzparametern.

Tabelle 30: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG der Proben 4 und 8 Wochen p.i., Geburtsgewicht, Absatzgewicht, Gewicht 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl Würmer der Kreuzung Ml x Rh

	Geburts- gewicht	Absetz- gewicht	Gewicht 4 Wochen p.i.	Gewicht 8 Wochen p.i.	Wurmmzahl gesamt
LogEpG 4 Wochen p.i.	0,092	-0,060	-0,139	-0,164	0,592
N	n.s.	n.s.	n.s.	*	***
LogEpG 8 Wochen p.i.	157	157	157	155	123
N	-0,008	0,000	0,083	-0,025	0,641
N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
Geburts- gewicht	157	156	157	156	123
N		0,573	0,433	0,369	-0,016
Absetz- gewicht		***	***	***	n.s.
N		166	158	157	125
Gewicht 4 Wochen p.i.			0,737	0,668	-0,070
N			***	***	n.s.
Gewicht 8 Wochen p.i.			157	157	125
N				0,841	0,064
N				***	n.s.
N				155	123
N					0,025
N					n.s.
N					124

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

4.3.2 Phänotypische Korrelationen zwischen täglicher Zunahme, LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA[®]-Score, Dag Score sowie Thyroxin- (T₄) und Trijodthyroningehalt (T₃)

Die phänotypischen Korrelationen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahme, LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA[®]-Score , Dag Score, Thyroxin (T₄), Trijodthyronin (T₃) zum Probenzeitpunkt vier und acht Wochen *p.i.* und der Gesamtanzahl der Würmer der Genotypen Merinolandschaf, Rhönschaf, Rh x Ml und Ml x Rh sind in den Tabelle 31 bisTabelle 34 dargestellt.

Die phänotypischen Korrelationen verhielten sich bei den vier Genotypen tendenziell gleich. Im Folgenden werden die phänotypischen Korrelationen für die unterschiedlichen Genotypen getrennt beschrieben.

4.3.2.1 Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale beim Merinolandschaf

In der folgenden Tabelle 31 sind die phänotypischen Beziehungen der Resistenzmerkmale der Rasse Merinolandschaf dargestellt.

Ergebnisse

Tabelle 31: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA[®]-Score, Dag Score, Thyroxin (T₄), Trijodthyronin (T₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Merinolandschaf

	LogEpG	Hämatokritwert	FAMACHA [®] - Score	Dag Score	T ₄	T ₃	Gesamtanzahl Würmer		
Probe 4 Wochen p.i.	LTZ	-0,422 **	0,403 **	-0,317 *	-0,243 n.s.	0,020 n.s.	-0,095 n.s.	-0,279 n.s.	
	n	46	47	46	35	46	46	44	
	LogEpG		-0,618 ***	0,307 *	0,193 n.s.	-0,032 n.s.	0,127 n.s.	0,658 ***	
	n		46	45	34	46	46	44	
	Hämatokritwert			-0,469 ***	-0,265 n.s.	-0,050 n.s.	-0,034 n.s.	-0,494 ***	
	n			47	36	46	46	44	
	FAMACHA[®] - Score				0,388 *	-0,117 n.s.	0,096 n.s.	0,387 **	
	n				36	45	45	44	
	Dag Score					-0,127 n.s.	0,085 n.s.	0,027 n.s.	
	n					34	34	33	
	T₄						0,471 ***	-0,053 n.s.	
	n						47	44	
	T₃							-0,143 n.s.	
	n							44	
	Probe 8 Wochen p.i.	LTZ	-0,268 n.s.	0,333 *	-0,331 *	0,331 n.s.	-0,015 n.s.	-0,200 n.s.	-0,325 *
		n	48	48	47	34	47	47	45
LogEpG			-0,272 n.s.	0,151 n.s.	-0,109 n.s.	0,016 n.s.	0,114 n.s.	0,383 **	
n			48	47	34	47	46	45	
Hämatokritwert				-0,301 *	-0,168 n.s.	0,017 n.s.	0,005 n.s.	-0,250 n.s.	
n				47	34	47	46	45	
FAMACHA[®] - Score					0,441 **	-0,222 n.s.	0,004 n.s.	0,228 n.s.	
n					34	46	45	45	
Dag Score						0,071 n.s.	0,107 n.s.	0,076 n.s.	
n						35	46	32	
T₄							0,399 **	0,060 n.s.	
n							47	45	
T₃								0,091 n.s.	
n								44	

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Bei der Rasse Merinolandschaf wurden höchst signifikante negative Beziehungen zwischen den Merkmalen LogEpG und Hämatokrit bei der Probe vier Wochen *p.i.* beobachtet (-0,618), die sich acht Wochen *p.i.* deutlich verringerten und keine Bedeutung mehr zeigten (-0,272). Zwischen FAMACHA[®]-Score und Hämatokrit lagen negative, höchst signifikante bis signifikante Korrelationen (-0,469 und -0,301) vor.

Eine weitere statistisch abgesicherte Korrelation zeigte sich auch in den Merkmalen LogEpG mit der Gesamtwurmzahl bei der Probennahme vier Wochen *p.i.* Diese hohe Korrelation von 0,658 verringerte sich bis zur Probennahme acht Wochen *p.i.* auf 0,383, blieb jedoch signifikant.

Auch zwischen Hämatokritwert und Gesamtanzahl Würmer wurde vier Wochen *p.i.* eine höchst signifikante Beziehung (-0,494) mit negativem Verlauf deutlich, da sie sich acht Wochen *p.i.* auf -0,250 abschwächte und keine statistische Sicherheit mehr zeigte.

Eine signifikante Korrelation zwischen FAMACHA[®]-Score und Gesamtanzahl Würmer lag vier Wochen *p.i.* bei 0,387, reduzierte sich aber bis zur achten Wochen *p.i.* auf 0,228 und wies keine Signifikanz mehr auf.

Die Merkmale LogEpG und tägliche Zunahmen zeigten vier Wochen *p.i.* eine negative signifikante Beziehung von -0,422 zueinander, die sich zur zweiten Probenahme acht Wochen *p.i.* auf -0,268 (n.s.) verringerte.

Zwischen Hämatokritwert und täglichen Zunahmen wurde eine hoch signifikante Korrelation von 0,403 vier Wochen nach der Infektion und eine signifikante Korrelation von 0,333 in der achten Woche *p.i.* ermittelt.

Die Beziehung zwischen FAMACHA[®]-Score und täglichen Zunahmen war zu beiden Probezeitpunkten signifikant und lag im negativen Bereich von -0,317 (vier Wochen *p.i.*) bis -0,331 (acht Wochen *p.i.*).

Die täglichen Zunahmen und die Gesamtanzahl der Würmer zeigten negative Beziehungen von -0,279 (n.s.) zur Probe vier Wochen *p.i.* bis -0,325 zur Probe acht Wochen *p.i.* ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Dag Score und FAMACHA®-Score korrelierten signifikant und hoch signifikant miteinander (0,388 vier bzw. 0,441 acht Wochen *p.i.*).

Die Merkmale T₄ und T₃ korrelierten zu beiden Probezeitpunkten mit 0,471 und 0,399 höchst und hoch signifikant miteinander. Zu den übrigen Merkmalen wiesen die Schilddrüsenhormone keine bedeutenden Korrelationen auf.

4.3.2.2 Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale beim Rhönschaf

Wie aus der Tabelle 32 zu entnehmen ist, wurde bei der Rasse Rhönschaf zu beiden Probezeitpunkten eine höchst signifikante Beziehung zwischen LogEpG und Hämatokrit deutlich. Diese lagen im negativen Bereich bei -0,526 und -0,481.

Ergebnisse

Tabelle 32: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA®-Score, Dag Score, Thyroxin (T₄), Trijodthyronin (T₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Rhönschaf

	LogEpG	Hämatokritwert	FAMACHA® - Score	Dag Score	T ₄	T ₃	Gesamtanzahl Würmer	
Probe 4 Wochen p.i.	LTZ	-0,348 **	0,275 *	-0,285 *	-0,237 *	-0,137 n.s.	0,109 n.s.	-0,142 n.s.
	n	68	68	69	56	68	66	54
	LogEpG		-0,526 ***	0,490 ***	0,304 *	0,276 *	0,114 n.s.	0,617 ***
	n		68	69	56	67	67	54
	Hämatokritwert			-0,579 ***	-0,459 ***	-0,203 n.s.	0,072 n.s.	-0,530 ***
	n			70	57	68	66	54
	FAMACHA® - Score				0,188 n.s.	0,292 *	-0,086 n.s.	0,281 *
	n				57	69	67	55
	Dag Score					0,246 n.s.	0,232 n.s.	0,415 **
	n					56	54	59
	T₄						0,457 ***	0,287 *
	n						67	55
	T₃							0,071 n.s.
	n							53
Probe 8 Wochen p.i.	LTZ	-0,432 ***	0,277 *	0,084 n.s.	0,306 *	-0,110 n.s.	-0,054 n.s.	-0,331 *
	n	69	68	69	59	68	52	54
	LogEpG		-0,481 ***	0,226 n.s.	0,415 **	0,361 **	-0,078 n.s.	0,752 ***
	n		68	69	59	67	67	54
	Hämatokritwert			-0,220 n.s.	-0,488 ***	-0,067 n.s.	0,190 n.s.	-0,562 ***
	n			68	58	67	67	53
	FAMACHA® - Score				0,097 n.s.	-0,169 n.s.	-0,142 n.s.	0,238 n.s.
	n				59	68	68	54
	Dag Score					0,408 **	-0,089 n.s.	0,595 n.s.
	n					58	55	49
	T₄						0,231 n.s.	0,345 *
	n						68	54
	T₃							-0,139 n.s.
	n							54

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Der FAMACHA®-Score zeigte sowohl zum Hämatokrit ($-0,579$) als auch zum LogEpG ($0,490$) eine sehr deutliche Beziehung ($p < 0,001$) vier Wochen *p.i.*, jedoch sanken die Korrelationen auf $-0,220$ beim Hämatokritwert und $0,226$ beim LogEpG Wert in der zweiten Probe acht Wochen *p.i.* und wiesen dann keine Signifikanz mehr auf.

Die Beziehung von Hämatokrit und Dag Score lag zu beiden Probezeitpunkten in einem negativen, höchst signifikanten Bereich von $-0,459$ und $-0,488$

Ebenfalls von höchster statistischer Bedeutung waren die Beziehungen sowohl zwischen LogEpG als auch Hämatokrit und der Gesamtanzahl Würmer sowohl vier als auch acht Wochen *p.i.* Die relativ hohen Korrelationen betragen $0,617$ (4 Wochen *p.i.*) bzw. $0,752$ (8 Wochen *p.i.*) für den LogEpG und $-0,530$ (4 Wochen *p.i.*) bzw. $-0,562$ (8 Wochen *p.i.*) für den Hämatokrit.

Die täglichen Zunahmen (LTZ) korrelierten deutlich negativ mit dem LogEpG mit $-0,348$ zur ersten Probe vier Wochen *p.i.* und mit $-0,432$ acht Wochen *p.i.*

Von Bedeutung war auch die Beziehung zwischen Dag Score und LogEpG, die bei $0,304$ bzw. $0,415$ zu den beiden Probeterminen *post infectionem* lag. Dag Score und Gesamtanzahl Würmer korrelierten zunächst hoch signifikant mit $0,415$ miteinander, acht Wochen *p.i.* ($0,595$) konnte jedoch keine Signifikanz zwischen den beiden Merkmalen mehr beobachtet werden.

Die Schilddrüsenhormone korrelierten in der ersten Probe vier Wochen *p.i.* höchst signifikant ($0,457$) miteinander. Acht Wochen *p.i.* konnte keine statistisch abgesicherte Beziehung ermittelt werden.

In der Rasse Rhönschaf konnte eine Beziehung zwischen Thyroxin und dem Merkmal LogEpG gezeigt werden. Bei der ersten Probe vier Wochen nach der Infektion war diese schwach ($0,276$), aber signifikant und zeigte acht Wochen *p.i.* sogar eine hohe Signifikanz ($0,361$).

Ein bedeutender Zusammenhang konnte zwischen T_4 und Gesamtwurmzahl mit $0,287$ und $0,345$ in dieser Rasse nachgewiesen werden.

Ergebnisse

Allerdings konnten keinerlei signifikante Beziehungen zwischen den Trijodthyronin-Werten und den weiteren Indikatoren festgestellt werden.

4.3.2.3 Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf

Die Korrelationen zwischen LogEpG und Hämatokrit der Kreuzung Rh x MI erwiesen sich als höchst signifikant und negativ mit $-0,367$ vier Wochen *p.i.* und hoch signifikant mit $-0,266$ acht Wochen *p.i.* (s. Tabelle 33). Die Beziehungen zeigten sich bei diesem Genotypen schwächer als in den Reinzuchten, wobei die Werte zum Probezeitpunkt acht Wochen *p.i.* mit denen der Merinolandschafe vergleichbar waren.

Ergebnisse

Tabelle 33: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA[®]-Score, Dag Score, Thyroxin (T₄), Trijodthyronin (T₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung Rh x Ml

	LogEpG	Hämatokritwert	FAMACHA [®] - Score	Dag Score	T ₄	T ₃	Gesamtanzahl Würmer	
Probe 4 Wochen p.i.	LTZ	-0,099	0,090	-0,090	-0,382	-0,046	-0,154	-0,156
		n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	*	n.s.
	n	175	174	173	152	175	175	116
	LogEpG		-0,367	0,074	0,079	0,206	0,164	0,598
			***	n.s.	n.s.	**	*	***
	n		174	173	152	175	175	116
	Hämatokritwert			-0,266	-0,244	0,036	0,009	-0,496
				***	**	n.s.	n.s.	***
	n			172	151	174	174	115
	FAMACHA [®] - Score				0,081	-0,088	-0,068	0,083
					n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	n				150	173	173	116
	Dag Score					0,043	0,345	0,095
						n.s.	n.s.	n.s.
	n					152	152	104
	T ₄						0,465	0,183
						***	*	
n						176	117	
T ₃							0,081	
							n.s.	
n							117	
Probe 8 Wochen p.i.	LTZ	-0,166	0,051	0,183	-0,487	-0,155	-0,005	-0,184
		*	n.s.	*	***	*	n.s.	*
	n	172	174	175	140	175	174	117
	LogEpG		-0,226	0,183	0,081	0,171	0,028	0,665
			**	*	n.s.	*	n.s.	***
	n		173	174	139	172	171	116
	Hämatokritwert			-0,300	0,131	-0,049	0,252	-0,351
				***	n.s.	n.s.	***	***
	n			176	141	174	173	116
	FAMACHA [®] - Score				0,180	0,044	-0,162	0,222
					*	n.s.	*	*
	n				142	175	174	117
	Dag Score					0,210	0,082	0,091
						*	n.s.	n.s.
	n					140	139	99
	T ₄						0,279	0,209
						***	*	
n						174	117	
T ₃							-0,054	
							n.s.	
n							116	

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Die Merkmale FAMACHA[®]-Score und Hämatokritwert zeigten zueinander höchste Signifikanz bei beiden Probeterminen. Die Werte lagen bei $-0,266$ und $-0,300$ und waren somit zum ersten Probezeitpunkt vier Wochen *p.i.* deutlich niedriger als die Werte der Reinzuchten, während die Werte der zweiten Probe (acht Wochen *p.i.*) in einer engeren Beziehung zueinander lagen. Bei diesem Genotyp war die Beziehung zwischen Dag Score und täglichen Zunahmen (LTZ) höchst signifikant und negativ zu beiden Probeterminen. Die Werte lagen bei $-0,382$ und $-0,487$. Dag Score und Hämatokritwert zeigten vier Wochen *p.i.* mit $-0,244$ eine hoch signifikante Korrelation, die sich vier Wochen später, acht Wochen *p.i.*, auf $0,131$ abschwächte und nicht mehr signifikant war. Auch in diesem Genotyp konnten die Korrelationen zwischen LogEpG und Hämatokrit mit der Gesamtanzahl Würmern als höchst signifikant und hoch nachgewiesen werden. Zum ersten Probezeitpunkt lagen diese bei $0,598$ für LogEpG und Wurmzahl, zur zweiten Probe, acht Wochen *p.i.* bei $0,665$. Der Hämatokrit wies negative Korrelationen mit der Gesamtanzahl Würmer auf, die im Bereich $-0,496$ und $-0,351$ beobachtet werden konnten.

Höchst signifikant zeigte sich auch die Beziehung zwischen Hämatokrit und Trijodthyronin mit $0,252$ acht Wochen nach der Infektion.

Statistisch deutliche, aber schwache Korrelationen konnten für die täglichen Zunahmen (LTZ) mit den Merkmalen LogEpG, FAMACHA[®]-Score, Thyroxin und Gesamtanzahl Würmer nur in der achten Woche nach der Infektion nachgewiesen werden.

Ebenfalls signifikante aber schwache Beziehungen wurden zwischen LogEpG und FAMACHA[®]-Score sowie dem Thyroxingehalt ermittelt. Der FAMACHA[®]-Score korrelierte acht Wochen *p.i.* negativ mit dem Trijodthyroningehalt ($-0,162$; $p < 0,05$) und schwach positiv mit der Gesamtanzahl Würmer ($0,222$; $p < 0,05$). Zu beiden Probeterminen korrelierten die Schilddrüsenparameter T_3 und T_4 höchst signifikant miteinander ($0,465$ bzw. $0,279$). Trijodthyronin und die täglichen Lebendstageszunahmen (LTZ) korrelierten schwach negativ, aber signifikant miteinander ($-0,154$) vier Wochen *p.i.* Mit dem LogEpG korrelierte der

Ergebnisse

Trijodthyroningehalt zum selben Zeitpunkt positiv und schwach signifikant (0,164). Die Gesamtwurmmzahl und T_4 korrelierten schwach signifikant zu den Probeterminen vier und acht Wochen *p.i.* miteinander.

Verglichen mit den Reinzuchten ließen sich in dieser Kreuzung mehrere signifikante Beziehungen mit den Schilddrüsenparametern T_3 und T_4 nachweisen.

4.3.2.4 Phänotypische Korrelationen der Resistenzmerkmale der Kreuzung Merinolandschaf x Rhönschaf

Bei der reziproken Kreuzung Ml x Rh zeigte sich wiederum die Beziehung zwischen den Merkmalen LogEpG und Hämatokrit höchst signifikant und negativ. Diese lag bei $-0,372$ vier und $-0,352$ acht Wochen *p.i.*

Ergebnisse

Tabelle 34: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen tägliche Zunahmen (LTZ), LogEpG, Hämatokritwert, FAMACHA[®]-Score, Dag Score, Thyroxin (T₄), Trijodthyronin (T₃) zum Zeitpunkt der Proben 4 und 8 Wochen p.i. sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung Ml x Rh

	LogEpG	Hämatokritwert	FAMACHA [®] - Score	Dag Score	T ₄	T ₃	Gesamtanzahl Würmer		
Probe 4 Wochen p.i.	LTZ	-0,209 **	0,171 *	-0,257 **	-0,025 n.s.	0,077 n.s.	0,058 n.s.	-0,029 n.s.	
	n	157	153	153	136	157	154	123	
	LogEpG		-0,372 ***	0,057 n.s.	-0,060 n.s.	0,140 n.s.	0,054 n.s.	0,592 ***	
	n		153	156	135	147	154	123	
	Hämatokritwert			-0,351 ***	-0,201 *	0,072 n.s.	0,023 n.s.	-0,440 ***	
	n			152	131	153	150	119	
	FAMACHA[®] - Score				0,072 n.s.	0,037 n.s.	-0,040 n.s.	0,169 n.s.	
	n				138	156	153	123	
	Dag Score					-0,167 n.s.	-0,041 n.s.	-0,007 n.s.	
	n					135	132	112	
	T₄						0,434 ***	0,209 *	
	n						155	123	
	T₃							0,213 *	
	N							120	
	Probe 8 Wochen p.i.	LTZ	-0,138 n.s.	0,116 n.s.	0,028 n.s.	0,182 *	-0,035 n.s.	0,111 n.s.	-0,064 n.s.
		n	156	157	157	143	153	154	124
LogEpG			-0,352 ***	0,162 *	0,253 **	0,200 *	0,010 n.s.	0,641 ***	
n			156	156	142	153	154	123	
Hämatokritwert				-0,392 ***	-0,144 n.s.	-0,052 n.s.	0,095 n.s.	-0,402 ***	
n				157	143	153	154	124	
FAMACHA[®] - Score					0,218 **	-0,065 n.s.	-0,116 n.s.	0,209 *	
n					143	153	154	124	
Dag Score						-0,011 n.s.	-0,052 n.s.	0,003 n.s.	
n						139	140	116	
T₄							0,403 ***	0,207 *	
n							154	120	
T₃								-0,136 n.s.	
n								121	

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Die Beziehung zwischen FAMACHA[®]-Score und Hämatokrit zeigte sich zu beiden Probenahmen höchst signifikant und negativ (-0,351 und -0,392).

Übereinstimmend mit den übrigen Genotypen sind die Korrelationen relativ eng zwischen LogEpG sowie Hämatokrit und der Gesamtanzahl der Würmer ausgefallen. Die Werte der phänotypischen Korrelation zwischen LogEpG und Gesamtanzahl Würmer lagen bei 0,592 vier Wochen *p.i.* und 0,641 acht Wochen *p.i.*, die des Hämatokrits und der Gesamtanzahl Würmer bei -0,440 und -0,402 zu diesen Probezeitpunkten.

Die täglichen Zunahmen korrelierten zunächst hoch signifikant mit dem Merkmal LogEpG (-0,209). Diese Beziehung wies später keine Signifikanz mehr auf (-0,138).

Ähnlich verhielt sich die Beziehung zwischen den täglichen Zunahmen (LTZ) und FAMACHA[®]-Scores. Der deutliche Zusammenhang vier Wochen *p.i.* konnte weitere vier Wochen später nicht mehr nachgewiesen werden.

Der Dag Score korrelierte mit den Merkmalen LogEpG (0,253) und FAMACHA[®]-Score (0,218) hoch signifikant acht Wochen *p.i.*

Vier Wochen nach der Infektion zeigte der Hämatokritwert signifikante Beziehungen zu den täglichen Zunahmen (0,171) und dem Dag Score (-0,201).

Die Beziehungen zwischen LogEpG mit FAMACHA[®]-Score (0,162) und Thyroxin (0,200) waren während der Probennahme acht Wochen *p.i.* schwach, aber signifikant, ebenso wie die Beziehung zwischen FAMACHA[®]-Score und Gesamtanzahl Würmer (0,209).

Wie auch in den übrigen Genotypengruppen ließ sich eine äußerst deutliche Beziehung zwischen T₄ und T₃ zu beiden Probeterminen feststellen. Zwischen der Gesamtwurmmzahl und der T₄-Konzentration zeigte sich eine vergleichbare schwach signifikante Beziehung wie auch in den Genotypen Rhönschaf und Rh x Ml mit 0,209 und 0,207.

Ergebnisse

4.3.3 Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter

4.3.3.1 Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter beim Merinolandschaf

Die Tabelle 35 gibt einen Überblick über die phänotypischen Korrelationen der Wurmparameter bei der Rasse Merinolandschaf.

Tabelle 35: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen p.i., Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Merinolandschaf

	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer	Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Gesamtanzahl Würmer	Fruchtbarkeit weibl. Würmer
LogEpG 4 Wochen p.i.	0,080	0,238	0,659	0,635	0,658	0,190
n	n.s.	n.s.	***	***	***	n.s.
n	43	43	44	44	44	44
LogEpG 8 Wochen p.i.	-0,008	0,200	0,331	0,419	0,383	0,679
n	n.s.	n.s.	*	**	**	***
n	44	44	45	45	45	45
Länge männl. Würmer		0,649	-0,040	0,003	-0,019	0,063
n		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n		44	44	44	44	44
Länge weibl. Würmer			0,124	0,128	0,128	0,236
n			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n			44	44	44	44
Anzahl männl. Würmer				0,931	0,982	-0,122
n				***	***	n.s.
n				45	45	45
Anzahl weibl. Würmer					0,983	-0,100
n					***	n.s.
n					45	45
Gesamtanzahl Würmer						-0,113
n						n.s.
n						45

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; n.s. = nicht signifikant

Bei dieser Rasse korrelierte die Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer signifikant bis höchst signifikant und stark mit dem Merkmal LogEpG zu beiden Probezeitpunkten vier und acht Wochen p.i. Die Korrelationen zwischen der Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl waren konsistent. Es zeigten sich eindeutige, höchst signifikante Beziehungen zueinander.

Ergebnisse

Die Länge der männlichen Würmer korrelierte sehr deutlich mit der Länge der weiblichen Würmer (0,649). Die Beziehung der Länge der männlichen und weiblichen Würmer mit dem Merkmal LogEpG zu beiden Probeterminen und mit der Anzahl der Würmer beider Geschlechter sowie der Gesamtanzahl der Würmer konnte statistisch nicht abgesichert werden.

Auf Grund der Ermittlung der Wurmfruchtbarkeit aus dem Quotienten der Anzahl der EpG acht Wochen *p.i.* und der Anzahl der weiblichen Würmer, zeigte sich demzufolge eine höchst eindeutige Beziehung zwischen Fruchtbarkeit der weiblichen Würmer und der LogEpG von 0,679 zu diesem Zeitpunkt. Dieses Merkmal zeigte eine positive Beziehung zur weiblichen Wurmlänge, jedoch ohne statistische Sicherheit.

Ergebnisse

4.3.3.2 Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter beim Rhönschaf

Bei der Rasse Rhönschaf konnten ähnliche Beziehungen zwischen den Merkmalen Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer mit dem Merkmal LogEpG vier und acht Wochen *p.i.* beobachtet werden wie bei der Rasse Merinolandschaf (s. Tabelle 36).

Tabelle 36: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen p.i., Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Rasse Rhönschaf

	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer	Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Gesamtanzahl Würmer	Fruchtbarkeit weibl. Würmer
LogEpG 4 Wochen p.i.	0,264	0,228	0,642	0,574	0,617	-0,232
n	n.s.	n.s.	***	***	***	n.s.
n	53	53	54	54	54	53
LogEpG 8 Wochen p.i.	0,177	0,217	0,753	0,729	0,752	-0,095
n	n.s.	n.s.	***	***	***	n.s.
n	53	53	54	54	54	54
Länge männl. Würmer		0,502	0,102	0,162	0,135	-0,026
n		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n		54	54	54	54	53
Länge weibl. Würmer			0,146	0,182	0,167	0,046
n			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n			54	54	54	53
Anzahl männl. Würmer				0,935	0,983	-0,338
n				***	***	*
n				55	55	54
Anzahl weibl. Würmer					0,984	-0,361
n					***	**
n					55	54
Gesamtanzahl Würmer						-0,355
n						**
n						54

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Die Länge der männlichen Würmer korreliert auch bei den Rhönschafen mit der Länge der weiblichen Würmer höchst signifikant und positiv (0,502).

Ebenso wie bei der Rasse Merinolandschaf zeigten sich die Beziehungen der Anzahl der männlichen Würmer zu der Anzahl der weiblichen Würmer (0,935) und der Gesamtanzahl der Würmer (0,983) sehr eindeutig, wie auch die Korrelation der Anzahl der weiblichen Würmer mit der Gesamtanzahl der Würmer (0,984).

Ergebnisse

Auch bei dieser Rasse konnten keine weiteren nennenswerten Beziehungen zwischen den übrigen Parametern statistisch abgesichert werden. Auffällig war hier die fehlende Beziehung zwischen der Wurmfruchtbarkeit und der LogEpG acht Wochen *p.i.*

4.3.3.3 Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf und Merinolandschaf x Rhönschaf

Die Tabelle 37 und 38 geben einen Überblick über die phänotypischen Korrelationen der Wurmparameter bei den reziproken Kreuzungen.

Tabelle 37: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen p.i., Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung Rh x Ml

	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer	Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Gesamt- anzahl Würmer	Fruchtbarkeit weibl. Würmer
LogEpG 4 Wochen p.i.	0,065	-0,172	0,588	0,595	0,598	0,004
n	n.s.	n.s.	***	***	***	n.s.
n	103	103	116	116	116	115
LogEpG 8 Wochen p.i.	0,002	-0,051	0,647	0,667	0,665	0,218
n	n.s.	n.s.	***	***	***	*
n	103	103	116	116	116	116
Länge männl. Würmer		0,490	0,002	-0,011	-0,004	0,099
n		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n		104	104	104	104	103
Länge weibl. Würmer			-0,090	-0,085	-0,088	-0,046
n			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n			104	104	104	103
Anzahl männl. Würmer				0,956	0,989	-0,282
n				***	***	**
n				117	117	116
Anzahl weibl. Würmer					0,989	-0,288
n					***	**
n					117	116
Gesamtanzahl Würmer						-0,288
n						**
n						116

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Ergebnisse

Tabelle 38: Phänotypische Korrelationen und Signifikanzen zwischen den Merkmalen LogEpG 4 und 8 Wochen *p.i.*, Länge der männlichen und weiblichen Würmer, Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer sowie der Gesamtanzahl der Würmer der Kreuzung *Ml x Rh*

	Länge männl. Würmer	Länge weibl. Würmer	Anzahl männl. Würmer	Anzahl weibl. Würmer	Gesamtanzahl Würmer	Fruchtbarkeit weibl. Würmer
LogEpG 4 Wochen <i>p.i.</i>	-0,138	-0,274	0,603	0,560	0,592	0,168
	n.s.	**	***	***	***	n.s.
n	122	122	123	123	123	121
LogEpG 8 Wochen <i>p.i.</i>	-0,083	-0,186	0,607	0,651	0,641	0,517
	n.s.	*	***	***	***	***
n	122	122	123	123	123	123
Länge männl. Würmer		0,567	0,033	-0,047	-0,008	-0,064
		***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n		124	123	123	123	121
Länge weibl. Würmer			-0,146	-0,190	-0,172	0,000
			n.s.	*	n.s.	n.s.
n			123	123	123	121
Anzahl männl. Würmer				0,925	0,980	-0,135
				***	***	n.s.
n				125	125	123
Anzahl weibl. Würmer					0,982	-0,155
					***	n.s.
n					125	123
Gesamtanzahl Würmer						-0,148
						n.s.
n						123

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant

Wie aus den Tabelle 37 und 38 zu entnehmen ist, zeigten die Kreuzungen *Rh x Ml* und *Ml x Rh* höchst signifikante Beziehungen zwischen den Merkmalen Anzahl der männlichen bzw. weiblichen Würmer mit dem Merkmal LogEpG vier und acht Wochen *p.i.* Vier Wochen *p.i.* lagen diese Korrelationen im selben Bereich wie bei den Reinzuchten. Weitere vier Wochen später blieben diese Beziehungen bei den Kreuzungen auf gleichem Niveau und ebenfalls höchst signifikant. Auch die Beziehung zwischen der Länge der männlichen und der weiblichen Würmer zeigte sich höchst signifikant.

Die Ermittlung der phänotypischen Korrelation ergab wiederum eine eindeutige Beziehung zwischen der Anzahl der männlichen zu der Anzahl der weiblichen Würmer und der Gesamthöhe der Wurmbürde. Beide Kreuzungsgenotypen zeigten wie die

Ergebnisse

reinrassigen Genotypen eine höchst signifikante Beziehung zwischen der Anzahl der weiblichen Würmer und der Gesamtanzahl Würmer.

Uneinheitlich zeigte sich die Beziehung zwischen der Länge der weiblichen Würmer und dem Merkmal LogEpG während beider Probezeitpunkte vier und acht Wochen *p.i.* Während in der Kreuzung Ml x Rh eine negative, signifikante Korrelation (-0,274 und -0,186) vorlag, konnte in der umgekehrten Kreuzungsvariante keine signifikante Beziehung nachgewiesen werden.

Auch die Beziehung zwischen der Länge der weiblichen Würmer und der Anzahl der weiblichen Würmer zeigte eine schwach negative, signifikante Korrelation (-0,190), die bei keinem anderen der drei Genotypen nachgewiesen werden konnte.

Die Korrelation der Fruchtbarkeit der weiblichen Würmer der Kreuzungsgenotypen mit der LogEpG acht Wochen *p.i.* befand sich im positiven signifikanten Bereich. Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen der Länge der weiblichen Würmer und deren Fruchtbarkeit festgestellt werden.

5 Diskussion

Die Kreuzungszucht stellt in der Schafzucht eine gebräuchliche Methode zur Erlangung eines züchterischen Fortschrittes unter Ausnutzung der Heterosis dar (Waßmuth, 1990). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass bei Kreuzungen ein Heterosiseffekt in der Mastleistung auftritt (Nitter, 1978; Krogmeier, 1989; Fadili und Leroy, 2001). Besonders in den Merkmalen der Vitalität sind heterotische Effekte auf Grund eines gesteigerten Energiebereitstellungsvermögen der Mitochondrien bei Kreuzungslämmern zu erwarten (Krogmeier, 1989; Krogmeier *et al.*, 1990). Somit könnte man auch im Bereich der Immunität gegenüber Parasiten mit einer Steigerung durch Heterosis rechnen. Wenige Studien haben dieses Phänomen im Merkmal Parasitenresistenz bisher untersucht (Amarante *et al.*, 1999a, 1999b; Li *et al.*, 2001; Baker *et al.*, 2003). Für Kreuzungen der Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf konnten bislang hinsichtlich der Heterosiseffekte im Merkmal Parasitenresistenz noch keine Erkenntnisse gewonnen werden.

5.1 Leistungsparameter

Die Ermittlung der Leistungsparameter diene zur Erfassung der ökonomisch relevanten Merkmale, um festzustellen zu können, ob es eine Überlegenheit der Kreuzungen gegenüber den Reinzuchten sowohl vor als auch während einer Parasitenbelastung gab.

Die Heterosiseffekte für die Parameter Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht zum ersten und zweiten Probezeitpunkt sowie für die entsprechenden Lebendtageszunahmen lagen zwischen 3,32% und 4,40%. Die fixen Effekte Rasse, Geschlecht und Geburtstyp zeigten einen hoch signifikanten Einfluss auf diese Parameter.

Der ermittelte Heterosiszuwachs im Geburtsgewicht stimmte mit den Untersuchungen von Nitter (1978) überein. Dagegen zeigte sich bei der Untersuchung von Hiendleder (1987), der ebenfalls die Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproke

Diskussion

Kreuzungen verwendete, ein höherer Heterosiszuwachs von 11,4 bis 11,9% in den Merkmalen Geburts- und Absetzgewicht, bzw. durchschnittliche tägliche Zunahme bis zum Absetzen. Der von Hiendleder (1987) ermittelte Heterosiszuwachs der durchschnittlichen täglichen Gesamtzunahmen von 7,0% lag fast doppelt so hoch wie der hier ermittelte Zuwachs in diesem Gewichtsabschnitt. In einer späteren Untersuchung ermittelte Hiendleder (1989) bei denselben Genotypen einen ebenfalls höheren Heterosiszuwachs von 6,8% im Merkmal Geburtsgewicht. Der Heterosiseffekt von 3,3% für die tägliche Lebenstagszunahme bis zur Schlachtung mit 40–42 kg Lebendmasse liegt in der eigenen Untersuchung auf demselben Niveau.

Andere Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass Kreuzungslämmer verschiedener Rassen im Durchschnitt im Merkmal tägliche Zunahme eine Überlegenheit von 10% aufweisen (Fischer, 2003). Die unterschiedlich hohen Heterosiseffekte lassen sich auf eine Vielzahl verwendeter Kreuzungsgenotypen zurückführen.

Die Ursache für die Diskrepanz der Heterosiseffekte der eigenen Untersuchung zu den o. g. Ergebnissen in der Gewichtsentwicklung nach dem Absetzen könnte aus der Infektion mit dem Parasiten entstanden sein. Eine Parasiteninfektion verursacht unter anderem Gewichtsverluste und eine schlechtere Nährstoffverwertung (Lucius und Loos-Frank, 1997). Albers und Gray (1989) beobachteten bei weidenden Merino-Lämmern einen Gewichtsverlust von 38% acht Wochen nach der Infektion mit *Haemonchus contortus*. Im Gegensatz hierzu kam es in der vorliegenden Untersuchung trotz Infektion stets zu einer Steigerung der Gewichte. Dies könnte sowohl durch die geringere Bewegung durch die Haltung im Stall statt auf der Weide als auch durch die Versorgung mit hochenergetischem Futter ad libitum begründet sein.

Die Überlegenheit von 3,3% im Merkmal Geburtsgewicht gegenüber den Reinzuchten kam vor allem durch das hohe Geburtsgewicht der Kreuzung Rh x Ml zustande, welches noch 100 g über dem der reinrassigen Lämmer des mütterlichen Genotyps lag. Es zeigte sich damit auch in der eigenen Untersuchung, dass ein maternaler

Diskussion

Stellungseffekt bei Verwendung der Kreuzung der Rassen Rhön- und Merinolandschaf auftritt. Hierbei könnte die günstigere intrauterine Umwelt der Merinolandschafe eine positive Wirkung auf das Geburtsgewicht gehabt haben (Waßmuth, 1983).

Die überlegene Gewichtsentwicklung der Kreuzung Rh x Ml gegenüber den übrigen Genotypen blieb bis zur 17. bzw. 19. Lebenswoche erhalten, so dass sich vier Wochen *p.i.* ein Heterosiseffekt von 4,11% ermitteln ließ. Dieser verringerte sich jedoch acht Wochen *p.i.* auf 3,58%. Die Lämmer der Kreuzung Rh x Ml waren bereits zur Geburt 720 g schwerer als die reziproke Kreuzung. Daher könnte die Überlegenheit in der Gewichtsentwicklung bis zur Schlachtung auf der Bedeutung des Geburtsgewichts für die späteren täglichen Zunahmen beruhen, besonders im Hinblick auf die Saugaktivität der Lämmer und die Milchleistung der Mutterschafe (Waßmuth, 1983). Auch das Gewicht der Mutterschafe hat einen signifikanten Einfluss auf die Lebendmasseentwicklung der Lämmer (Wojtowski *et al.*, 1990). Beeinflusst durch die schwerere Mutterrasse Merinolandschaf waren die Gewichte der Kreuzungslämmer Rh x Ml höher als die Gewichte der reziproken Kreuzungslämmer mit der leichteren Mutterrasse Rhönschaf.

Ein weiterer Grund für die bessere Gewichtsentwicklung der Kreuzungslämmer könnte die von Krogmeier *et al.* (1990) beobachtete gesteigerte Vitalität gegenüber den Reinzuchten sein. Bei der Geburt schwererer Lämmer wurde eine kürzere Zeitspanne bis zur Kolostrumaufnahme gemessen als bei leichteren Lämmern. Daneben zeigte sich eine erhöhte Saug- und Bewegungsaktivität bei Kreuzungslämmern. Die gesteigerte Vitalität, die das Adaptionsvermögen an Umweltveränderungen, wie z.B. Entwöhnungsstress, positiv beeinflusst (Krogmeier *et al.*, 1990), könnte auch ein Grund für die weitere überlegene Gewichtsentwicklung sein.

Eine dritte Erklärung könnte die Beobachtung von Oroczo (1976) und Barlow (1981) darstellen. Diese Autoren gehen davon aus, dass eine vollständige Ausprägung heterotischer Effekte nur unter suboptimalen Umweltverhältnissen erfolgt. Nach Barlow jedoch bilden die Wachstumsmerkmale beim Wiederkäuer eine Ausnahme; d.h.

Diskussion

dass Wiederkäuer unter optimalen Haltungs- und Fütterungsbedingungen den höchsten Heterosiszuwachs aufweisen. Auch Cunningham (1987) weist daraufhin, dass hinsichtlich der Heterosis-Umwelt-Interaktion unter ungünstigen Umweltbedingungen additiv-genetische Rasseunterschiede relativ vermindert werden, Heterosiseffekte dagegen verstärkt werden können. Durch die Kraftfuttergabe ad libitum mit hohem Proteingehalt, durch die nach Coop und Kyriazakis (2001) sowie Coop und Holmes (1996) die Auswirkungen einer Parasiteninfektion relativiert werden kann, lagen in der eigenen Untersuchung trotz parasitärer Infektion gute Bedingungen vor. Bestätigt wird die Annahme durch die zügige Gewichtsentwicklung auf hohem Niveau (s. Tabelle 9). Krogmeier (1989) ermittelte für Lämmer der Abstammung Merinolandschaf, Schwarzköpfiges Fleischschaf und deren reziproken Kreuzungen eine tägliche Zunahme der Lebendmasse bis zum 120. Tag von durchschnittlich 255 g bei vergleichbaren Fütterungs- und Haltungsbedingungen ohne Parasiteninfektion.

Dies könnte nach Oroczo (1976) und Cunningham (1987) eine Erklärung für die relativ niedrig ausgefallenen Heterosiseffekte im Absetzgewicht sein.

Augenscheinlich hat die Parasitenbelastung unter den gegebenen Umständen (Fütterung und Haltung) die Umweltbedingungen nicht wesentlich beeinträchtigen, da ein Großteil der Lämmer in einer guten Verfassung ohne deutliche Gewichtseinbußen war (s. hierzu auch Kapitel 5.2.1), so dass nur relativ geringe Heterosiseffekte in der Gewichtsentwicklung nach der Infektion beobachtet werden konnten.

Entsprechend den unterschiedlichen Zuchtzielen und der genetischen Veranlagung der Reinzuchten zeigte die Gruppe der Merinolandschafe eine 20–34%ige Überlegenheit gegenüber der Rhönschafgruppe in den Merkmalen Geburtsgewicht, Gewicht vier und acht Wochen *p.i.* sowie in den entsprechenden Lebenstageszunahmen.

Bedingt durch die relativ hohen Werte der Kreuzung Rh x Ml konnte für die Merkmale Ausschlachtgewicht und Nettozunahmen ein hoch signifikanter positiver Heterosiseffekt von 4,72% bzw. 4,79% ermittelt werden. Diese Werte liegen in dem

Diskussion

Bereich anderer Untersuchungen mit anderen Schafrassen (Bourfia und Touchberry, 1993).

Die Klassifizierung der Schlachtkörper hinsichtlich der Konformation ergab einen schwachen, aber signifikanten Heterosiseffekt von $-2,4\%$. Im Durchschnitt wurden die Schlachtkörper mit R (= 3) bewertet, welches nach der Verordnung der Kommission (EWG) der europäischen Gemeinschaft (1993) der Note ‚gut‘ und der Beschreibung ‚Hinterviertel meist flach, Rücken dick, an der Schulter weniger breit, Schulter gut entwickelt, weniger dick‘ entspricht. Nur ein weibliches Merinolandschaf-Lamm konnte den Qualitätsanforderungen der Klasse U (= sehr gut) entsprechen. Einige Schlachtkörper wurden in die Klasse O (= mittel) eingestuft. Die meisten davon stammten aus der Rhönschafgruppe, so dass ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Reinzuchten und den Kreuzungen sowie innerhalb der Reinzuchten zustande kam.

Die von Janßen (2003) ermittelten Werte der Schlachtkörperklassifizierung der Reinzuchten, die unter denselben Bedingungen (einschließlich der Infektion) gehalten wurden, lagen tendenziell im selben Bereich wie die Mittelwerte der Reinzuchten in der vorliegenden Untersuchung. Janßen dokumentierte für männliche, infizierte Merinolandschafe und Rhönschafe im Schlachalter von 20 Wochen die Ergebnisse der Merkmale EUROP- und Fett-Klassifizierung. In dieser Untersuchung betrug der Mittelwert für die EUROP-Klassifizierung 2,95 für die Merinolandschafe und 3,44 für die Rhönschafe.

Für die Fett-Klassifizierung lagen keine signifikanten Heterosiseffekte vor. Alle vier Genotypen wurden im Durchschnitt mit einer Note von ca. 3,8 bewertet, dies entspricht einer mittleren bis starken Fettabdeckung auf dem Schlachtkörper. Eine verstärkte Fettakkumulation bei Kreuzungsnachkommen gilt als generelles Phänomen der Heterosis (Dzapo und Waßmuth, 1984a, 1984b).

Eine Ursache für die nicht vorhandenen Unterschiede in der Fettabdeckung könnte das späte Schlachtdatum hinsichtlich des Alters der Tiere gewesen sein.

Diskussion

Durch die Versuchsdurchführung, die eine Schlachtung erst nach der zweiten Probennahme, d.h. mit 21 bzw. 23 Lebenswochen vorsah, kam es zu einer gewissen Verfettung. Da bis zu einem Lebensalter von 135 Tagen bzw. bis zur 19. Lebenswoche der Rohprotein- und Fettansatz der Lämmer in einem günstigen Bereich liegt und danach ein fast linearer Anstieg der Fetteinlagerung zu beobachten ist (König und Menger, 1990), hätte die Verfettung durch einen früheren Schlachtermin vor der 19. Lebenswoche wahrscheinlich vermieden werden können.

Auch die rasseuntypische Haltung und Fütterung für die Rhönschafe könnten zu dem hohen Verfettungsgrad in dieser Rasse beigetragen haben. Rhönschafe haben nur geringe Futteransprüche und sind als typische Landschaftsrassen an spärliche Vegetation adaptiert (Fischer, 2003). Bei Landschaftsrassen werden Mastendgewichte von 35 kg empfohlen, wenn man eine Verfettung des Schlachtkörpers begrenzen und den nachgesagten wildbretartigen Geschmack des Fleisches erhalten will (Strittmatter, 1994).

Diese Annahme findet Bestätigung durch den Vergleich der Daten von Janßen (2003). Die Schlachtkörper der Merinolandschaf-Lämmer wurden hinsichtlich der Fettabdeckung mit 2,49 bewertet, die der Rhönschafe mit 3,25. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass nur Bock-Lämmer geschlachtet wurden. Baulain und Streit (1997) verweisen darauf, dass weibliche Lämmer deutlich früher verfetten als männliche. Somit erklärt sich auch der hoch signifikante Geschlechtseffekt in der Fett-Klassifizierung in der vorliegenden Untersuchung.

Krogmeier (1989) konnte zeigen, dass Kreuzungseffekte bei Anpaarung der Rassen Merinolandschaf mit Schwarzköpfigem Fleischschaf zu einer heterotisch stimulierten, altersabhängigen Steigerung der Mastleistung führen, die von einer stärkeren Verfettung der Kreuzungslämmer begleitet ist. Dennoch konnte eine tendenziell verbesserte Fleischbeschaffenheit bei den Kreuzungslämmern verbucht werden. Weiterhin beobachtete Krogmeier (1989), dass steigende Lebendtageszunahmen zu

einem geringeren Fleisch-Fett-Verhältnis führen, wobei sich auf sehr hohem Leistungsniveau eine Tendenz zur stärkeren Verfettung andeutete.

Die bereits erwähnten Beziehungen zwischen gesteigerter Vitalität und damit einhergehenden Zusammenhängen können zu einer beschleunigten Gewichtsentwicklung und zu einer, durch eine frühzeitige Geschlechtsreife bedingten, verstärkten Fettakkumulation der Lämmer führen (Krogmeier, 1989).

Physiologische und biochemische Ursachen für das Auftreten heterotischer Effekte in den Leistungsparametern nennt Hiendleder (1987). Er konnte in denselben vier Genotypen zeigen, dass der Heterosiszuwachs in den Mastleistungsparametern von einer gewebespezifischen heterotischen Stimulation verschiedener biochemischer Parameter des mitochondrialen Energiestoffwechsels (Sauerstoffverbrauch, ADP/O-Quotient, RCR-Wert) begleitet ist sowie von einer alters- und parameterabhängigen Stimulation der freien und gebundenen Thyroxinkonzentration im Serum. Da die Heterosiseffekte der eigenen und der Untersuchung von Hiendleder dieselbe Tendenz aufweisen, kann die Aussage von Dzapo *et al.* (1983) als Erklärung dienen, wonach Heterosis auf zellphysiologischer Ebene vor allem auch im Bereich der Mitochondrienmembran in Erscheinung tritt. Indizien dafür liefern vor allem die maternalen Stellungseffekte, da Mitochondrien größtenteils über die mütterliche Gamete vererbt werden (Wagner, 1972).

5.2 Heterosiseffekte der Resistenzparameter

5.2.1 Eizahl pro Gramm Kot (EpG) und Hämatokrit

Ziel der Untersuchung war es, mittels verschiedener Indikatoren zur Ermittlung der Parasitenresistenz die Unterschiede in diesen Merkmalen zwischen den Kreuzungen und Reinzuchten darzustellen. Hierzu dient die Ermittlung von Heterosiseffekten der Indikatoren.

Der Heterosiseffekt zeigte sich gering im Merkmal LogEpG mit $-2,07\%$ vier Wochen *p.i.* Acht Wochen *p.i.* war dieser nahezu aufgehoben ($0,45\%$). Trotz der geringen

Diskussion

heterotischen Erscheinung lagen Unterschiede zwischen den Genotypen vor, die durch einen hoch signifikanten Rasseeffekt deutlich wurden. Die geringste Eiausscheidung mit einer starken Tendenz zu deren mütterlichen Genotyp war in der Kreuzung Rh x Ml zu beobachten. Bei der reziproken Kreuzung Ml x Rh wurde eine ebensolche Tendenz zu deren mütterlichen Genotyp, dem Rhönschaf, deutlich.

Resultierend kann angenommen werden, dass maternale Stellungseffekte eine wichtige Rolle bei der Vererbung einer niedrigeren Eiausscheidung einnehmen.

Um eine definitive Aussage über das Vorliegen einer maternalen Heterosis treffen zu können, müssten Rückkreuzungen dieser Rassen erstellt werden. Hierzu könnte die Untersuchung von Baker *et al.* (2003) einen Hinweis liefern. Sie untersuchten die Resistenz und Toleranz gegenüber gastrointestinalen Nematoden und deren Zusammenhänge mit der Produktivität bei den Rassen Red Maasai, Dorper und deren reziproken Kreuzungen und Rückkreuzungen in den sub-humiden Tropen. Es konnten weder individuelle noch maternale Heterosiseffekte nachwiesen werden. Auch bei der Kreuzung von australischen Merinomutterschafen mit Border-Leicester-Böcken konnten bei den weiblichen F1-Nachkommen keine signifikanten Rasseunterschiede im Merkmal Eizahl im Kot festgestellt werden (Fogarty *et al.*, 2005). Hierbei wurde allerdings keine Heterosis untersucht, sondern lediglich die Leistungen der F1-Tiere verglichen. Mugambi *et al.* (2005) führten eine Rückkreuzung mit Böcken der Abstammung Dorper mit Red Maasai durch und untersuchten nach einer experimentellen Infektion mit 2500 *Haemonchus contortus*-Larven deren Resistenz. Auch in dieser Untersuchung konnten keine signifikanten Rasseunterschiede für das Merkmal LogEpG ermittelt werden. Die Unterschiede zwischen den Genotypengruppen in der Eiausscheidung waren gering. Die $\frac{3}{4}$ Dorper-Kreuzungslämmer waren schwerer, hatten einen höheren Hämatokritwert als die $\frac{3}{4}$ Red-Maasai-Kreuzungslämmer und zeigten einen nicht signifikanten Unterschied von 0,04 im Merkmal LogEpG zu den $\frac{3}{4}$ Red-Maasai-Nachkommen. Im Kreuzungsversuch

Diskussion

der vorliegenden Arbeit konnten jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Rassen im Merkmal LogEpG festgestellt werden.

Amarante *et al.* (1999b) konnten durch Kreuzung von Rambouillet und Florida Native beobachten, dass die geschlechtsreifen F1-Mutterschafe gegenüber *Haemonchus contortus* ebenso resistent waren wie der elterliche Genotyp Florida Native. In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass die Kreuzung Rh x Ml sogar eine höhere Resistenz ausgebildet hat als die Elternrassen und die Kreuzung Ml x Rh. Wieder ist dies ein Hinweis auf das Vorliegen eines positiven maternalen Effektes der Rasse Merinolandschaf.

Li *et al.* (2001) konnten bei F1-Nachkommen der Rassen Suffolk und Gulf Coast Native zu verschiedenen Zeitpunkten hohe Heterosiseffekte zwischen 33,8 und 81,6% für das Merkmal EpG (nicht logarithmiert) und für den Hämatokrit zwischen 0 und 20,7% in Abhängigkeit des Alters nachweisen.

Die großen Unterschiede der Heterosiseffekte in diesen Merkmalen verglichen mit der Untersuchung von Li *et al.* (2001), könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Rasse Gulf Coast Native, bei der eine vergleichsweise hohe Resistenz gegenüber anderen Schafrassen nachgewiesen wurde (Amarante *et al.*, 1999b), mit einer relativ anfälligen Leistungsrasse gekreuzt wurde. Somit könnten die Rasseunterschiede verantwortlich für die unterschiedlich hohen Heterosiseffekte der vorliegenden Studie sowie der von Li *et al.* (2001) sein.

Eine weitere Erklärung dafür könnte in der Differenz der Allelfrequenzen der Reinzuchten zu suchen sein. Nach Falconer und MacKay (1996) fällt der Heterosiseffekt umso höher aus, je größer die Differenz der Allelfrequenzen der Reinzuchten ist. Es ist anzunehmen, dass die Allelfrequenzen der tropischen Rassen und der Leistungsrassen weiter auseinander liegen, als innerhalb der Leistungsrassen. Darin könnte die Ursache für einen hohen Heterosiseffekt durch Kreuzung dieser Rassen begründet sein. Umgekehrt ist es möglich, dass die genetische Distanz der Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf gering ist und aus diesem Grund die Ausbildung des Heterosiseffektes

Diskussion

niedriger ausfällt. Die Differenz von Allelfrequenzen kann über genetische Distanzen ausgedrückt werden. Die Untersuchungen von Peter (2005) liefern Hinweise auf eine relativ weite genetische Distanz der Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf. In der Studie wurden verschiedene Schafrassen Europas und des Nahen Ostens mittels Mikrosateliten molekulargenetisch charakterisiert. Es konnte auf Grundlage genetischer Distanzen gezeigt werden, dass die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf der Gruppe der Schafrassen Westeuropas angehören. Diese Gruppe wurde nochmals in vier Untergruppen aufgeteilt, in der diese beiden Rassen jedoch nicht derselben Untergruppe angehörten. Es zeigte sich, dass die genetische Distanz zwischen den Schafrassen des Nahen Ostens und Westeuropas deutlich höher ist als innerhalb dieser Rassen. Demnach kann angenommen werden, dass eine höhere genetische Distanz zwischen tropischen und europäischen Leistungsrassen vorliegt als innerhalb der europäischen Rassen. Folglich ist beim Kreuzen von Leistungsrassen Europas mit tropischen Rassen mit höheren Differenzen der Allelfrequenzen und stärkeren heterotischen Effekten zu rechnen.

Weiterhin konnte eine erklärende Beobachtung zwischen den Absetzgewichten und der Eiausscheidung gemacht werden. Innerhalb der Kreuzungen war der schwerere Genotyp Rh x Ml auch derjenige, der die niedrigere Eiausscheidung aufzeigte. Das Absetzgewicht hatte als Kovariable einen signifikanten Einfluss auf das Merkmal LogEpG vier Wochen *p.i.* Somit konnte vermutet werden, dass die Interaktion der Larvendosis, die für alle Lämmer gleich hoch war, mit dem Gewicht, welches vor dem Infektionszeitpunkt (Absetzgewicht) signifikante Unterschiede in den Genotypengruppen erkennen ließ, für die geringen Unterschiede in der Eiausscheidungsrate verantwortlich war. Hierfür sprechen auch die beobachteten Werte bei der Rasse Merinolandschaf, die nur ein um 120 g schwereres Absetzgewicht aufwies als die Kreuzung Rh x Ml und in ihrer Resistenzausbildung eine sehr ähnliche Tendenz wie diese Kreuzung zeigte.

Diskussion

Bei einer künstlichen Infektion reduziert sich die Larvenmenge je Kilogramm Körpergewicht bei schweren Tieren im Vergleich zu leichteren Tieren. Unter Bedingungen einer natürlichen Infektion bei Weidehaltung würden Tiere mit einer höheren Lebendmasse mehr Futter aufnehmen und somit auch mehr Larven, als leichtere Tiere mit einem niedrigerem Grundumsatz/Erhaltungsbedarf. Somit wäre die Infektionsdosis pro kg Lebendmasse höher als bei der standardisierten, künstlichen Infektion (Le Jambre, persönliche Mitteilung). Auch die Tatsache, dass schwerere Tiere einen Wurmbefall besser kompensieren als leichte Tiere (Albers *et al.*, 1987), spricht für die Annahme, dass viel mehr der Einfluss des Absetzgewichtes eine Rolle spielte, als dass ein Heterosis-effekt in der genetisch bedingten Resistenz aus diesem Ergebnis abgeleitet werden könnte. Allerdings stehen diese Vermutungen zum Widerspruch mit Mugambi *et al.* (2005), die keinen Zusammenhang zwischen der Dosis und dem durchschnittlichen Lebendgewicht feststellen konnten.

Die Analyse der phänotypischen Korrelation zwischen Absetzgewicht und der gesamten Wurmzahl konnte diese Hypothese nur teilweise bestätigen (s. Tabelle 27 bis Tabelle 30). Zu Beginn der Infektion (vier Wochen *p.i.*) war ein deutlicher Zusammenhang zwischen Eiausscheidungsrate und Absetzgewicht in den Elternrassen und der Kreuzung Rh x MI festzustellen, der sich allerdings in der späteren Verlaufsphase der Infektion aufhob. Demnach konnte die Vermutung bestätigt werden, dass das Absetzgewicht die Höhe der Eiausscheidung vier Wochen *p.i.* durch eine unangepasste Larvendosis an die unterschiedlichen Gewichtsklassen beeinflusst. In der späteren Verlaufsphase der Infektion zeigte das Absetzgewicht allerdings keinerlei Einfluss mehr auf die Entwicklung der Parasiten. Dies spiegelte sich insbesondere durch den fehlenden Zusammenhang der Wurmbürde (Wurmzahl gesamt) mit dem Absetzgewicht wider.

Auch Baker *et al.* (2003) ermittelten für Lämmer der Rassen Red Maasai, Dorper und deren reziproken Kreuzungen höchst signifikante phänotypische Korrelationen zwischen dem Absetzgewicht und der LogEpG von durchschnittlich -0,11.

Diskussion

Der gewählte Versuchsansatz, eine standardisierte Infektionsdosis anzuwenden, beruht auf langjähriger Forschung und einer Vielzahl fundierten Untersuchungen (z.B. Albers *et al.*, 1987; Gray, 1997; Gauly *et al.*, 2002). Die Infektionsdosis individuell auf das Lebendgewicht der zu untersuchenden Lämmer anzupassen wäre ein neuer Ansatz. Es besteht auf diesem Gebiet noch Forschungsbedarf.

Die Zusammenhänge zwischen Rasseeffekten und Art bzw. Höhe der Infektionsdosis der folgenden Untersuchungen könnte eine weitere Erklärung für das Ausbleiben eines repräsentativen Heterosiseffektes sein.

Eine Studie mit Kreuzungslämmern von Woll- und Haarschafassen der Rasse Dorset und Dorper (Dorper aus 50% Dorset, 25% Rambouillet, 25% Finnsheep) und Barbados Blackbelly mit St. Croix sowie Reinzuchten der Rasse Katahdin zeigte, dass Rasseeffekte im Merkmal EpG offensichtlicher waren, wenn der Infektionsgrad höher lag (Vanimisetti *et al.*, 2004). Dies könnte darauf hinweisen, dass unter den gegebenen Bedingungen die veranschlagte Larvendosis des verwendeten *Haemonchus contortus*-Stammes, und damit der Infektionsgrad, zu gering für höhere Heterosiseffekte war.

Dagegen beobachteten Mugambi *et al.* (2005) bei der Infektion von Lämmern mit 2500 *Haemonchus contortus*-Larven im Vergleich mit Lämmern, die nur die Hälfte der Dosis verabreicht bekamen, keine Rasse-Dosisinteraktion.

Yazwinski *et al.* (1979) beobachteten hingegen bei Barbados Blackbelly-Kreuzungen und Reinzuchten, die im Rahmen einer Mischinfektion infiziert wurden, dass diese signifikant niedrigere EpG Werte und höhere Hämatokritwerte aufwiesen als Schafe, die nicht von der Rasse Blackbelly abstammten. Während einer relativ reinen *Haemochus contortus*-Infektion (98%) aber zeigten sich bei Tieren mit Barbados Blackbelly Abstammung verglichen mit anderen Rassen keinerlei signifikante Rasseeffekte.

Der genetische Unterschied in der Resistenzausbildung, ausgedrückt im Merkmal LogEpG, war bei den Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf in der ersten Probe nicht

Diskussion

deutlich, bei der zweiten Probenahme jedoch höchst signifikant. Die LogEpG der Reinzuchten zeigten ein vergleichbares Ergebnis in der Untersuchung von Janßen (2003). Die Merinolandschaf-Lämmer zeigten in der eigenen Untersuchung einen LogEpG-Wert von 3,44 ($\pm 0,056$) vier Wochen *p.i.* und 3,28 ($\pm 0,058$) acht Wochen *p.i.*, während die LogEpG bei den Rhönschaf-Lämmern 3,54 ($\pm 0,051$) und 3,63 ($\pm 0,053$) betragen. Janßen (2003) ermittelte bei der Rasse Merinolandschaf ein LogEpG von 3,59 bzw. 3,52 in der 16. und 20. Lebenswoche, ebenfalls vier und acht Wochen *p.i.* Für die Rasse Rhönschaf ermittelte Janßen (2003) eine LogEpG von 3,69 und 3,62 zu den gleichen Probezeitpunkten. Folglich kann untermauert werden, dass Merinolandschafe eine niedrigere EpG-Anzahl als die Rhönschafe aufwiesen. Nach Waßmuth (1979) wurden Merinolandschafe schon lange Zeit intensiv auf Koppeln gehalten, so dass Janßen (2003) vermutet, dass sie entwicklungsgeschichtlich schon früher einen Mechanismus der Resistenzausbildung „erlernen“ mussten. Somit war diese Rasse einem höheren Infektionsdruck ausgesetzt als das extensiv gehaltene Rhönschaf.

Der Hämatokritwert stellt einen indirekten Indikator zur Ermittlung der Belastung der Schafe durch blutsaugende Parasiten, zu denen z.B. *Haemonchus contortus* zählt, dar (Woolaston und Piper, 1996). Nach Bostedt und Dedié (1996) liegen die physiologischen Normalwerte bei Schaflämmern zwischen 0,28 und 0,41.

Der Heterosiseffekt der Hämatokritwerte äußerte sich vier bzw. acht Wochen *p.i.* mit 2,08% bzw. -0,50%. Es zeigten sich weder signifikanten Rasseeffekte noch genetische Unterschiede zwischen den Genotypengruppen, wodurch sich die nur sehr gering auftretenden heterotischen Erscheinungen erklären lassen.

Die gemessenen Werte lagen zwischen 0,28 und 0,30 und befanden sich demnach am unteren Niveau des physiologischen Normalbereiches. Zu beiden Probezeitpunkten lagen die Hämatokritwerte der vier Genotypen auf gleichem Niveau.

Es ist anzunehmen, dass sich die am unteren Rande des physiologischen Normalbereichs gemessene Hämatokritwerte aus der Parasitenbelastung ergeben haben. Vor der experimentellen Infektion ermittelte Hämatokritwerte zeigten eine

Diskussion

Differenz zu den Hämatokritwerten vier Wochen *p.i.* von 0,04 bis 0,05 und lagen somit im Bereich von 0,33 und 0,34 vor der Infektion (s. Tabelle 43, 44, 45).

Auch Janßen (2003) konnte keine signifikanten Rasseunterschiede im Merkmal Hämatokrit für die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf nach einer Infektion mit 5000 L3-*Haemonchus contortus*-Larven feststellen. Hier wurden ebenfalls Hämatokritwerte zwischen 0,28 und 0,29 zu beiden Probezeitpunkten gemessen.

Dagegen ermittelten Mugambi *et al.* (2005) im Merkmal Hämatokrit einen signifikanten Rasseeffekt. Die $\frac{3}{4}$ Dorper-Kreuzungslämmer zeigten einen höheren Hämatokritwert und waren schwerer als die $\frac{3}{4}$ Red-Maasai-Kreuzungslämmer. Auch auf dieses Merkmal hatte das Gewicht zu beiden Probezeitpunkten einen beträchtlichen Einfluss, so dass ein enger Zusammenhang zwischen Gewicht bzw. Lebensstageszunahmen und Hämatokritwert erwartet werden konnte (s. Kapitel 5.2.11).

Ein weiterer Aspekt zur Klärung der Ergebnisse ist möglicherweise die Fütterung. Die Ad-libitum-Fütterung mit Pellets (ME 11,5 MJ/kg, 19,5% Rohprotein) könnte bei der Kompensation der Parasiteninfektion eine wesentliche Rolle eingenommen haben. Es wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen, dass eine erhöhte Proteinzufuhr die Auswirkungen einer Parasiteninfektion relativieren kann, insbesondere bei wachsenden Lämmern (Coop und Kyriazakis, 2001; Coop und Holmes, 1996). Da sich Heterosiseffekte in den verschiedenen Merkmalen umso ausgeprägter zeigen, je schlechter die Umweltbedingungen sind (s. Kapitel 2.12), kann angenommen werden, dass sich die Fütterung als günstiger Effekt darstellte und somit die heterotische Erscheinung in den Merkmalen LogEpG und Hämatokrit durch die proteinreiche Fütterung nur gering ausgefallen ist.

In den geringen Tierzahlen der Genotypengruppen und der Verteilung der Böcke im Anpaarungsschema könnten weitere Erklärungen für die geringen Unterschiede in den untersuchten Merkmalen begründet sein. Die Anzahl und das Geschlecht der Lämmer je Genotyp, die für den Versuch zur Verfügung standen, waren sehr unterschiedlich verteilt. Auch die Anzahl der Lämmer pro Bock variierte stark. Diese Fakten wurden in

Diskussion

der statistischen Auswertung berücksichtigt, so dass die beiden Versuchsjahre nicht gesondert, sondern zusammengefasst betrachtet wurden. Trotzdem konnten nur geringe Unterschiede zwischen den Genotypengruppen ermittelt werden.

Die tatsächlich erfolgreich durchgeführten Anpaarungen führten nicht in allen Genotypengruppen zum Ziel des aufgestellten Versuchsplanes. So kam es, dass von einem der drei eingesetzten Merinolandschaf-Böcke (F107) nur drei reinrassige Lämmer für beide Proben zur Verfügung standen, während eine deutlich höhere Anzahl Nachkommen dieses Bockes innerhalb der Kreuzung MI x Rh untersucht werden konnte. Ein anderer Merinolandschaf-Bock (N103) zeugte zwar ausreichend viele Reinzuchtlämmer, allerdings konnte letztendlich nur ein Lamm von diesem Bock in der Gruppe der Kreuzungen berücksichtigt werden.

Eine ähnliche Problematik lag in der Kreuzung MI x Rh vor. Hierbei wurden die größte Anzahl Lämmer von Böcken gestellt, von denen jedoch keine Lämmer in der Reinzuchtgruppe Merinolandschaf berücksichtigt werden konnten. Folglich kam es zu ungünstigen Verteilungen der Nachkommen pro Bock und Rasse, so dass keine Vatereffekte ermittelt werden konnten.

5.2.2 Korrelation zwischen LogEpG und Hämatokrit

Da ein Absinken des Hämatokritwertes neben einer Parasiteninfektion noch andere Ursachen haben kann, wie z. B. Mangelernährung (Grace *et al.*, 2007), muss das Merkmal mit der Eizahl pro Gramm Kot in einer nachweisbaren Beziehung stehen (Hansen und Perry, 1990). Aus diesem Grund wurden die phänotypischen Korrelationen dieser beiden Merkmale untersucht.

Die phänotypischen Korrelationen der Merkmale waren in allen Genotypen erwartungsgemäß negativ und hoch bis höchst signifikant. Sie lagen zwischen $-0,618$ und $-0,367$ in der ersten Probe und zwischen $-0,481$ und $-0,226$ ($p < 0,01$) in der zweiten Probe. Somit ist anzunehmen, dass das Absinken des Hämatokritwertes durch die Parasitenbelastung verursacht wurde. Generell wurden in verschiedenen Studien mit

Diskussion

unterschiedlichen Rassen und Kreuzungen höchst signifikante und deutliche Beziehungen zwischen dem Hämatokrit und den LogEpG ermittelt (Woolaston und Piper, 1996; Gauly und Erhardt, 2001; Baker *et al.*, 2003).

Es wurden unterschiedlich enge Beziehungen bei den vier Genotypengruppen deutlich. Zur ersten Probe lagen die Korrelationen innerhalb der Reinzuchten und innerhalb der Kreuzungen auf gleichem Niveau. Die Beziehung zwischen den Merkmalen innerhalb der Reinzuchten zeigte sich in der zweiten Probe etwas stärker als innerhalb der Kreuzungen. Das Absinken des Hämatokritwertes steht demnach in allen vier Genotypen in enger Beziehung zu dem Merkmal LogEpG.

Bei der Ermittlung der phänotypischen Korrelationen dieser beiden Merkmale zeigte sich wieder der Zusammenhang zwischen der Rasse Merinolandschaf und der Kreuzung Rh x Ml. Diese lagen beim zweiten Probezeitpunkt auf einem Niveau. Die Kreuzung Ml x Rh zeigte ebenso eine deutliche Tendenz zu ihrer Mutterrasse.

Auch die Wurmbürde korrelierte mit dem Hämatokritwert der vier Genotypen stark negativ, so dass ein infektionsbedingter Abfall des Hämatokrits abgesichert werden kann.

Die Beziehungen zwischen LogEpG und Hämatokrit für die reinrassigen Lämmer (Ml = $-0,618$ und Rh = $-0,526$) waren während der ersten Probe stärker als es von Janßen (2003) beobachtet wurde. Dort wurde für das Merinolandschaf eine höchst signifikante Korrelation von $-0,412$ ermittelt und für das Rhönschaf $-0,214$ ($p < 0,05$). Da der Jahreseffekt signifikant in beiden Merkmalen war, kann angenommen werden, dass die Ergebnisse aus dem ersten Versuchsjahr, in dem Lämmer verwendet wurden, die bei der Infektion und zu den entsprechenden Probeterminen drei Wochen älter waren als bei Janßen (2003), einen Einfluss auf das Gesamtergebnis gehabt haben könnten. Die Divergenz zwischen den Ergebnissen könnte daraus resultiert sein.

Der Wertebereich der Beziehungen in den Reinzuchten wird durch andere Beobachtungen untermauert. Auch Albers *et al.* (1990) ermittelten Korrelationen zwischen LogEpG und Hämatokrit von $-0,58$ in australischen Merinoschafen.

5.2.3 FAMACHA[®]-Score-System

Das FAMACHA[®]-Score-System wurde von Vatta *et al.* (2001) in Südafrika zur einfachen und individuellen Bestimmung des Anämiegrades von Schafen eingeführt.

Die LSQ-Mittelwerte des FAMACHA[®]-Scores lagen in einem Bereich von $1,83 (\pm 0,075)$ und $2,00 (\pm 0,071)$ vier Wochen *p.i.* und acht Wochen *p.i.* auf dem gleichen Niveau mit $1,65 (\pm 0,114)$ bis $1,91 (\pm 0,073)$. Diese Scores repräsentieren eine dunkelrote bis rote Farbe der Augenkonjunktiva und sprechen für einen unbedenklichen Zustand der Lämmer hinsichtlich einer *Haemonchus contortus*-Infektion. Mittels der Scores konnten keine Anämien subjektiv nachgewiesen werden. Diese Beobachtung fand Bestätigung in den gemessenen Hämatokritwerten, die an der unteren Grenze des physiologischen Normalbereiches lagen und den z. T. höchst signifikanten Korrelationen zwischen Hämatokrit und FAMACHA[®]-Scores (s. Anhang Tabelle 39 bis Tabelle 42).

Gauly *et al.* (2004) beobachteten für die Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf nach einer Infektion mit 5000 *Haemonchus contortus* – Larven in der 12. Lebenswoche höhere Mittelwerte für den FAMACHA[®]-Score von $2,58 (\pm 0,06)$ vier Wochen *p.i.* und $2,37 (\pm 0,06)$ acht Wochen *p.i.* Dies bedeutet, dass hier bei den Reinzuchten die Augenkonjunktiva um etwa einen halben Score höher bewertet wurden als in der vorliegenden Untersuchung, aber ebenfalls als nicht behandlungswürdig eingestuft wurden.

Die Unterschiede zwischen den mittleren Scores der Untersuchung von Gauly *et al.* (2004) waren vier Wochen *p.i.* nur $0,6$ höher bei den Reinzuchten. Acht Wochen *p.i.* lagen bei Gauly *et al.* (2004) die Scores im Mittel bei $2,3$ während hier für die Rasse Rhönschaf ein mittlerer Score von $1,6$ und für Merinolandschaf von $1,7$ bestimmt wurde.

Diskussion

Bei derart geringen Unterschieden der FAMACHA®-Scores zwischen den Untersuchungen, kann davon ausgegangen werden, dass diese durch die subjektive Beurteilung zustanden gekommen sind. Dafür sprechen auch die geringen Unterschiede der Hämatokritwerte beim Vergleich der beiden Studien miteinander. Die Hämatokritwerte im Versuch von Gauly *et al.* (2004) sind nur um etwa 0,1–0,2 höher als die Werte der Reinzuchten der vorliegenden Untersuchung. Auch die Tatsache, dass es sich bei beiden Untersuchungen um dieselben Rassen sowie Infektions- und Haltungsbedingungen handelte, bestätigt die Annahme, dass die Unterschiede der Scores auf die Subjektivität des Testes zurückzuführen sind. Eine Rolle könnten dabei die unterschiedlichen Lichtverhältnisse gespielt haben.

Der Heterosiseffekt betrug $-1,87\%$ bzw. $9,37\%$ vier bzw. acht Wochen *p.i.* Die Veränderung des Heterosiseffektes ergab sich aus der Erhöhung des FAMACHA®-Scores in den Reinzuchten während der zweiten Probe. Diese Entwicklung fand auch im Merkmal Hämatokrit statt, der sich um 0,1 in beiden Reinzuchten erhöhte, so dass eine Äquivalenz in beobachtetem und gemessenem Anämiestatus deutlich gemacht werden konnte.

Da die FAMACHA®-Scores mit dem bloßen Auge einer beurteilenden Person ermittelt wurden, sind die geringen Unterschiede zwischen den Genotypen um max. 0,17 und 0,21 vier Wochen und acht Wochen *p.i.* zu vernachlässigen. Der aus diesem Parameter ermittelte Heterosiseffekt ist acht Wochen *p.i.* unverhältnismäßig hoch im Vergleich zu den geringen Unterschieden der Mittelwerte. Somit kann man zu dem Schluss kommen, dass das Ergebnis des Heterosiseffektes die Unterschiede zwischen den Genotypen überbewertet. Die Werte des FAMACHA®-Scores eignen sich demnach nicht einen abgesicherten Heterosiseffekt darzulegen, da es sich um keine statistisch abgesicherten Veränderungen handelte, die sich weder in einem Rasseeffekt noch in genetischen Unterschieden innerhalb und zwischen der Genotypen signifikant nachweisen lassen.

5.2.4 Phänotypische Korrelationen zwischen FAMACHA®-Scores, Hämatokrit und LogEpG

Vier Wochen *p.i.* zeigte sich eine höchst signifikante, negative Beziehung zwischen FAMACHA®-Score und Hämatokrit in allen Genotypengruppen. Dabei waren die Korrelationen von unterschiedlicher Intensität. Bisset *et al.* (2001) berichteten von höheren und höchst signifikanten Korrelationen von $-0,77$ zwischen Hämatokrit und FAMACHA®-Score bei einem starken *Haemonchus contortus*-Befall. Bei einem niedrigeren Befall war diese Beziehung eindeutig schwächer ($r = -0,27$; $p < 0,001$). Auch Kaplan *et al.* (2004) ermittelten bei Schafen für diese Parameter engere Beziehungen ($r = -0,52$).

Die höchst und hoch signifikanten Beziehungen zwischen FAMACHA®-Score und LogEpG in den Reinzuchten vier Wochen *p.i.* verringerten sich acht Wochen *p.i.*, wobei die Korrelation nicht mehr statistisch abgesichert werden konnte. Gauly *et al.* (2004) ermittelten niedrigere Korrelationen von $0,28$ ($p < 0,01$) vier Wochen *p.i.* bei gleicher Infektionsdosis in den Rassen Merinoland- und Rhönschaf in der 16. Lebenswoche. Nach acht Wochen *p.i.* (20. Lebenswoche) lagen die von Gauly *et al.* (2004) ermittelten Korrelationen mit $0,13$ (n.s.) auf demselben Niveau wie die für die Merinolandschafe ermittelten Korrelationen in der vorliegenden Untersuchung. Da hier die Jahreseffekte zu beiden Probezeitpunkten einen signifikanten Einfluss auf das Merkmal hatten, kann angenommen werden, dass die Beziehungen auf Grund der Altersunterschiede zwischen den Lämmern des ersten Versuchsjahres und den Lämmern von Gauly *et al.* (2004) stärker ausgefallen sind. Die Entwicklung hin zu einer schwächeren Beziehung ohne Signifikanz in der zweiten Probe fand bei Gauly *et al.* (2004) ebenso Bestätigung.

Die nicht statistisch abgesicherten Beziehungen zwischen den Merkmalen FAMACHA®-Score und LogEpG bei den F1-Kreuzungen vier Wochen *p.i.* stehen mit der Untersuchung von Bisset *et al.* (2001) im Einklang, die bei einem niedrigeren Befall ebenso nur von einer schwachen, nicht signifikanten Beziehung ($r = 0,04$; $p > 0,05$) berichteten. Sie beobachteten allerdings bei hohem Befall eine wesentlich engere

Diskussion

Beziehung ($r = 0,60$, $p < 0,001$), als es zum Zeitpunkt acht Wochen nach der Infektion der Fall bei den beiden Kreuzungen war, die eine signifikante, wenn auch niedrige Beziehung aufwiesen. Auch Kaplan *et al.* (2004) schätzten höchst signifikante Korrelationen zwischen FAMACHA®-Score und EpG mit 0,21 bei Schafen in verschiedenen Staaten der USA.

Diese Ergebnisse zeigen, dass der FAMACHA®-Score in verschiedenen Genotypen unterschiedlich stark korreliert. Dieses Phänomen könnte in der unterschiedlichen Konjunktivenfärbung der einzelnen Rassen sowie an den wechselnden Lichtverhältnissen an den jeweiligen Probetagen zu erklären sein.

Die phänotypischen Korrelationen zwischen FAMACHA®-Score und der gesamten Wurmbürde ergaben bei den Reinzuchten und Kreuzungen uneinheitliche Ergebnisse. So ließen sich vier Wochen nach der Infektion bei den Reinzuchten signifikante Zusammenhänge zwischen diesen Parametern ermitteln, die sich bei den Kreuzungen erst acht Wochen *p.i.* zeigten.

Insgesamt zeigten die Untersuchungen geringe Korrelationen zwischen FAMACHA®-Score mit Hämatokrit, LogEpG sowie der Wurmbürde (s. Kapitel 4.3). Unter den Bedingungen einer *Haemonchus contortus*-Infektion mit 5000 L3-Larven, die zum Absenken des Hämatokritwertes an die Untergrenze des physiologische Normbereichs führten, ist der Einsatz des FAMACHA®-Score-Systems weniger geeignet. Diese Schlussfolgerung steht mit Gauly *et al.* (2004) im Einklang. Sie weisen darauf hin, dass die Farbskala unter Bedingungen geringerer Infektion differenzierter gestaltet werden müsse. Dies würde allerdings die grundsätzliche Handhabung von Laien einschränken.

Um aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich einer Parasitenresistenz über das FAMACHA®-Score-System als Indikator zu ermitteln, müsste die Infektionsdosis erhöht werden.

5.2.5 Dag Score

Durch den Befall mit *Haemonchus contortus* können Erkrankungen entstehen wie z.B. die parasitäre Gastroenteritis, die sich in starken Durchfällen äußert und eine der häufigsten sowie wirtschaftlich bedeutsamsten Erkrankungen von Weidetieren darstellt (Boch und Supperer, 1983). Andere Autoren beschreiben dagegen, dass der Kot von normaler eher fester Konsistenz ist. Durchfälle treten auch im Zuge der Elimination der *Haemonchus contortus*-Würmer durch das Selbstreinigungsphänomen (self cure and protection) bei Reinfektion auf (Schnieder, 2000).

Verschiedene Studien haben Zusammenhänge der Erscheinung von „dags“ (Kotverschmutzung am Hinterteil) mit Parasitenresistenz untersucht. Hierbei handelte es sich um natürliche Mischinfektionen (z.B. Greeff und Karlsson, 1997). Ergebnisse zur Eignung des Dag Scores als Indikator für die Parasitenresistenz bei einer reinen *Haemonchus contortus*-Infektion liegen bislang nicht vor und wurden in der vorliegenden Arbeit untersucht.

Da die Lämmer im Stall gehalten und mit Raufutter und Pellets gefüttert wurden, ist von Durchfällen, die durch frisches grünes Gras hätten verursacht werden können, abzusehen.

Die Scores, die vor der Infektion vergeben wurden, befanden sich bei allen Genotypen auf einem geringfügig höheren Niveau als nach der Infektion. Allerdings waren die Differenzen der Dag Scores vor und nach der Infektion nicht statistisch abgesichert (s. Anhang Tabelle 44 und Tabelle 45). Zudem könnten auch andere Parasiten (Kokzidien) eine Ursache für die Durchfälle gewesen sein. Demnach blieb unklar, ob der Dag Score tatsächlich die Verschmutzung durch die Abwehrreaktion auf *Haemonchus contortus* widerspiegelte.

Während der Probe vier Wochen *p.i.* zeigten sich hoch signifikante Rasseeffekte. Nur innerhalb der Reinzuchten wurden signifikante genetische Unterschiede deutlich. Durch die höchsten Scores in der Rasse Merinolandschaf ergab sich, dass die

Diskussion

Reinzuchten im Mittel 9,06% weniger Verschmutzung am Hinterteil aufwiesen als die Kreuzungen. Während der zweiten Probe konnten die Rasseeffekte nicht mehr statistisch abgesichert werden.

Die Entwicklung der Mittelwerte bis zur zweiten Probe zeigte, dass sich die Scores erhöhten bzw. verschlechterten. Dabei ist zu beachten, dass die Lämmer nach der Beurteilung des Dag Scores zur Nullprobe und zur ersten Probe nicht am Hinterteil geschoren wurden und somit die Kotzotten nicht beseitigt worden waren. Dadurch stellt die Verschmutzung beim zweiten Probedatum nur eine geringe Verschlechterung der Scores dar.

Die geringste Eiausscheidung lag in der Kreuzung Rh x MI vor, die mit dem höchsten Dag Score einher (nicht statistisch abgesichert), was mit der Studie von Morris *et al.* (1995) und Karlsson und Greeff (2005b) im Einklang steht. Folgende Studien bestätigen diese Entwicklung:

Karlsson *et al.* (1995) beobachtete bei Merino-Lämmern in einer Umwelt mit mediterranem Klima, dass die Durchfälle bei Trichostrongylden-Infektion bei selektierten Niedrigausscheidern heftiger vorkamen als bei unselektierten Lämmern.

Greeff und Karlsson (1997) ermittelten bei einer natürlichen Mischinfektion (80% *Trichostrongylus*), dass die Kotkonsistenz im Lammesalter fester war als im Jährlingsalter. Bei denselben Tieren war aber die Eiausscheidung pro Gramm Kot höher als im Jährlingsalter. Bis zum Jährlingsalter kehrte sich diese Beobachtung um. Je flüssiger der Kot, desto weniger Eier wurden ausgeschieden.

Es bleibt offen, ob die Verschmutzung am Hinterteil durch den Parasiten *Haemonchus contortus* oder durch Kokzidien, die in der parasitologischen Untersuchung ebenfalls bei einigen Tieren festgestellt wurden, verursacht wurden.

Zur Prüfung der Eignung des Dag Scores als Indikator für die Resistenz gegenüber *Haemonchus contortus* konnten die phänotypischen Korrelationen zur EpG herangezogen werden.

5.2.6 Phänotypische Korrelationen zwischen Dag Score, LogEpG und Wurmbürde

Phänotypischen Korrelationen zwischen Dag Score und LogEpG konnten in den Genotypen Rhönschaf und MI x Rh beobachtet werden. Ebenso konnte in der Rasse Rhönschaf eine signifikante Beziehung zwischen Dag Score und Wurmbürde (Wurmzahl gesamt) festgestellt werden. Andere Autoren berichteten ebenfalls von unterschiedlichen phänotypischen Korrelationen zwischen Dag Score und EpG (Larsen *et al.*, 1994; Morris *et al.*, 1995; Pocock *et al.*, 1995). Karlsson *et al.* (1995) berechneten eine hohe negative genetische Korrelation (-0,67) zwischen der Kotkonsistenz nach dem Absetzen und der Wurmausscheidung bei Jährlingen. Der Zusammenhang dieser beiden Merkmale wies zu einem späteren Zeitpunkt (im Jährlingsalter) eine genetische Korrelation von -0,12 auf. Dies führte zur Annahme, dass eine Selektion auf geringe EpG ein Anstieg der Durchfälle im späteren Leben mit sich führen könnte.

Auch die Beziehungen der vorliegenden Untersuchung können nicht als Indiz einer möglicherweise vorhandenen oder nicht vorhandenen signifikanten Assoziation zwischen den Merkmalen LogEpG und Wurmbürde betrachtet werden. Schlussfolgernd kann man nicht davon ausgehen, dass Tiere, die eine hohe Verschmutzung aufweisen, auch unter einer hohen Parasiteninfektion leiden und umgekehrt.

Raadsma *et al.* (1997b) waren der Auffassung, dass der Einsatz des Dag Scores als Indikator für die Parasitenresistenz, ohne Kenntnis über die genetische Korrelation mit diesem Merkmal, unbrauchbar ist.

5.2.7 Thyroxin und Trijodthyronin

Die Ermittlung der Gesamtkonzentration der Schilddrüsenhormone Thyroxin (T₄) und Trijodthyronin (T₃) dient zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Parasitenresistenz und Stoffwechselaktivität. Es gibt Hinweise darauf, dass die Schilddrüsenhormone in engem Zusammenhang mit der Immunantwort stehen (Klecha *et al.*, 2000; Csaba *et al.*, 2004).

Diskussion

Im Merkmal T₄ lagen sowohl vier als auch acht Wochen nach der Infektion höchst signifikante Rasseeffekte vor. Die Konzentrationen lagen bei allen Genotypen zu beiden Probezeitpunkten innerhalb des Referenzbereiches von 3,8 bis 8,0 µg/dl (Kraft und Dürr, 2005).

Die Konzentrationen der T₃-Gehalte lagen vier Wochen *p.i.* bei allen Genotypengruppen etwas über dem Referenzwert (78–150 ng/dl nach Kraft und Dürr, 2005) und acht Wochen *p.i.* innerhalb dieses Bereiches. Hierbei konnten keine nennenswerten genotypischen Unterschiede nachgewiesen werden.

Zu diesem Ergebnis kam auch Fiebrand (1987), die bei Lämmern der Rasse Merinolandschaf einen vergleichbaren Mittelwert für den Gesamt-T₄-Gehalt (5,24 µg/dl) ermittelte. Hiendleder (1987) fand dagegen bei den vier Genotypen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren Kreuzungen im Lammesalter höhere T₄-Konzentrationen.

Da die Höhe der Konzentration von Thyroxin und Trijodthyronin mit der Reaktion der Immunantwort in Zusammenhang steht, konnte vermutet werden, dass eine geringere T₄- und T₃-Konzentration ein Hinweis auf eine niedrigere Resistenz bzw. höhere Anfälligkeit gegenüber *Haemonchus contortus* ist und umgekehrt. Die Ergebnisse lassen eine Schlussfolgerung in dieser Hinsicht nicht eindeutig zu. Bei der gegenüber *H. contortus* anfälligsten Kreuzung Ml x Rh wurden im Vergleich zu den übrigen Genotypen höhere Konzentrationen der Schilddrüsenparameter beobachtet. Umgekehrt ließen sich in der resistenteren Kreuzung Rh x Ml in den T₄-Konzentrationen niedrigere Werte ermitteln. Eine annähernde Übereinstimmung zwischen der Höhe der Eiausscheidung und der Schilddrüsenkonzentration konnte jedoch in der T₃-Konzentration acht Wochen *p.i.* gefunden werden.

Die Untersuchungen von Cremaschi *et al.* (2000) zeigten, dass bei chronischem Stress bei Mäusen die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone sinken. Während die T₃-Werte auf ein signifikant geringeres Niveau sanken, lagen die T₄-Werte nicht signifikant innerhalb des Normbereiches. In der vorliegenden Untersuchung lagen die T₃-Konzentrationen vier Wochen *p.i.* geringfügig über und acht Wochen *p.i.* innerhalb des

Diskussion

Referenzbereiches. Somit scheint die Belastung durch die Parasiten in diesem Falle keinen chronischen Stress ausgelöst zu haben, so dass davon auszugehen ist, dass die Immunantwort hierdurch nicht beeinträchtigt wurde.

Schlussfolgernd kann zugrunde gelegt werden, dass die T₄- und T₃-Konzentration bei einer solchen parasitären Belastung nicht als Indikator für eine Resistenz dienen kann.

Es ergaben sich schwach positive Heterosiseffekt im Merkmal Gesamtthyroxin vier Wochen *p.i.* sowie der geringfügig höhere Effekt acht Wochen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen von Hiendleder (1987) und Fiebrand (1987), bei denen sich im Bereich des Schilddrüsenhormonstoffwechsels positive heterotische Effekte andeuten. Hiendleder (1987) berechnete jedoch einen signifikanten Heterosiseffekt von 13,2% am 74. Lebenstag und 10,5% am Tag vor der Schlachtung (bei 40–42 kg Lebendgewicht). In Abhängigkeit vom Alter variierte die heterotische Erscheinung in diesem Merkmal stark und befand sich bis zum 21. Lebenstag in ähnlich niedrigen Wertebereichen wie die vorliegenden Ergebnisse. Krogmeier (1989) dagegen ermittelte negative Heterosiseffekte für Lämmer der Rassen MI und SF sowie deren reziproken Kreuzungen.

Der höchst signifikante Rasseeffekt findet Bestätigung und Klärung in verschiedenen Studien. Genetische Unterschiede in der Stoffwechselaktivität bei Schafen wurden ebenfalls von Lomb (1984) und Fiebrand (1987) beobachtet.

Fiebrand (1987) konnte nachweisen, dass sich die Selektion auf verschiedene Produktionsschwerpunkte in einer Veränderung des Schilddrüsenhormonstatus manifestiert und mit einer Veränderung der Stoffwechselintensität einhergeht. Dabei stand die Rasse Merinolandschaf in ihrer Stoffwechselaktivität zwischen dem Schwarzköpfigen Fleischschaf, welches durch einen hypothyreoten Schilddrüsenhormonstatus gekennzeichnet war, und dem auf sekretorische Leistung spezialisierten Ostfriesischen Milchschaaf, welches einen tendenziell hyperthyreoten Schilddrüsenhormonstatus innehatte. Krogmeier (1989) bestätigte diese Aussage für die Rassen Merinolandschaf und Schwarzköpfiges Fleischschaf (SF). Offensichtlich können bei Schafen verschiedene

Diskussion

Stoffwechselformen charakterisiert werden, die auch mit verschiedenen Produktionsrichtungen einhergehen können. Somit könnten die signifikanten Rasseunterschiede, die durch die unterschiedliche Stoffwechselaktivität der vier Genotypen zustande kamen, erklärt werden.

Die Merinolandschafe und die Kreuzung $MI \times Rh$ repräsentieren einen höheren Thyroxinstatus als die Rhönschafe und die Kreuzung $Rh \times MI$, so dass sich der von Hiendleder (1987) angenommene maternale Stellungseffekt in diesen Merkmalen nicht bestätigt.

Andererseits lagen Unterschiede zwischen diesen Ergebnissen und denen der Studie von Hiendleder (1987) hinsichtlich der Reihenfolge der Konzentrationshöhe in den entsprechenden Genotypen vor, welche einen Hinweis auf die verschiedenen Stoffwechselformen geben könnten. Hiendleder (1987) ermittelte am 74. Lebenstag in den Genotypen die Reihenfolge der höchsten bis niedrigsten T_4 -Werte wie folgt: $Rh \times MI > MI \times Rh > Rh > MI$. Vor dem Schlachten kehrte sich die Position der Rh- und MI-Lämmer um.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Reihenfolge der abnehmenden T_4 -Werte wie folgt ermittelt: $MI > MI \times Rh > Rh > Rh \times MI$ vier Wochen *p.i.* Acht Wochen *p.i.* kehrte sich die Position der MI mit der Kreuzung $MI \times Rh$ um. So ist, mit Ausnahme der Position der $MI \times Rh$, keine Übereinstimmung der Ergebnisse beider Studien in der Reihenfolge der T_4 -Werte in diesen Genotypen festzustellen. Das Alter der Lämmer bei den Probenahmen war jeweils unterschiedlich, so dass die Ergebnisse der beiden Studien auf Grund der alterabhängigen Entwicklung der Hormonkonzentration unterschiedlich ausgefallen sein könnten. Sowohl Hiendleder (1989) als auch Krogmeier (1989) ermittelten für Lämmer der Rassen MI, SF und deren reziproke Kreuzungen sowie der Rasse Rh und der Kreuzung $MI \times Rh$ einen im wesentlichen übereinstimmenden Verlauf der Schilddrüsenhormonkonzentration. Die Autoren untersuchten fünf bis sieben Proben über den Zeitraum vom siebten Lebenstag bis zur Schlachtung mit 40–42 kg (Hiendleder, 1989) bzw. vom 21. bis zum 120. Lebenstag

(Krogmeier, 1989). Dabei veränderte sich die Rangfolge der Genotypen nach Hormonstatus immer wieder, wobei die genetischen Unterschiede meist nicht abgesichert waren.

Das Auftreten von Geschlechtsunterschieden (s. Tabelle 26), die bei beiden Schilddrüsenhormonen sehr deutlich ($p < 0,01$) vorlagen, findet Bestätigung bei Lomb (1984), der T_4 - und T_3 -Werte bei Mutter-Lämmern der Rassen Merinolandschaf (MI), Milchschaaf (MS), Schwarzköpfiges Fleischschaf sowie Kreuzungen aus MI x MS untersuchte. Ellis (1980) erkannte hingegen keine signifikanten Geschlechtsunterschiede. Bei Heaf *et al.* (1983) hatten Mutterschafe signifikant höhere T_4 -Werte als Bock-Lämmer.

5.2.8 Phänotypische Korrelationen zwischen Schilddrüsenhormone und LogEpG sowie Wurmbürde

Die Ermittlung der phänotypischen Korrelationen zwischen LogEpG-Werten und Schilddrüsenhormongehalten dient zur Überprüfung der aufgestellten Hypothese, dass Zusammenhänge zwischen der Reaktion des Gesamtstoffwechsels und einer Parasiteninfektion bestehen.

Es zeigte sich, dass die Ergebnisse für diese Beziehung zwischen den Genotypen stark variierten (s. Tabelle 31 und Tabelle 34). Zudem konnte durch die nicht vorhandenen bzw. gering positiven Korrelationen zwischen den Merkmalen T_4 und T_3 mit LogEpG und der Gesamtanzahl Würmer kein Rückschluss hinsichtlich einer Beeinträchtigung des Gesamtstoffwechsels durch Parasiteninfektion zu gelassen werden. Tendenzielle zeigte sich, je höher die Konzentrationen der Schilddrüsenhormone um so höher auch die Eiausscheidung. Die Ausprägung einer Resistenz scheint nicht wie im Fall der Leistungsparameter im Zusammenhang mit der Höhe der Konzentration der Stoffwechselfparameter zu stehen.

Die T_4 -Konzentrationen lagen in allen vier Genotypen innerhalb des Referenzbereichs. Demnach hat keine signifikante Beeinträchtigung dieser durch die Parasitenbelastung statt gefunden. Es kann festgehalten werden, dass keine Zusammenhänge zwischen

Gesamtstoffwechsel und Parasiteninfektion bestehen, da keine signifikante Reaktion des Gesamtstoffwechsels durch die Infektion statt gefunden hat.

5.2.9 Wurmparameter

Die Länge der männlichen Würmer betrug in den Reinzuchten jeweils durchschnittlich 16,28 mm. Gauly *et al.* (2002) ermittelten für dieselben Rassen geringfügig niedrigere Werte. Die Länge der weiblichen Würmer beim Merinolandschaf und beim Rhönschaf stimmen mit den Ergebnissen von Gauly *et al.* (2002) überein. In beiden Parametern unterschieden sich die Kreuzungen nicht signifikant von den Elternrassen.

Wesentlich geringer wurde hingegen die Anzahl der männlichen und weiblichen Würmer bei Gauly *et al.* (2002) ermittelt. In der vorliegenden Arbeit wurden für alle vier Genotypen trotz gleicher Infektionsdosis höhere Zahlen der männlichen und weiblichen Würmer ermittelt. Da der Jahreseffekt höchst signifikant vorlag, kann man vermuten, dass wiederum der Altersunterschied der Lämmer in den beiden Studien eine Ursache für die Diskrepanz der Wurmzahlen gewesen sein könnte.

Deutliche Rasseeffekte wurden in der Etablierungsrate sichtbar, insbesondere in der Differenz innerhalb der Kreuzungen. Die höchst signifikanten Unterschiede im Merkmal Etablierungsrate innerhalb der Kreuzungen sind äquivalent mit der Eiausscheidungsrate zu beiden Probezeitpunkten. Die Kreuzung Rh x MI zeigte eine signifikant niedrigere Etablierungsrate (28,5%) als die reziproke Kreuzung MI x Rh (40,1%), in denen sich die meisten Larven, im Vergleich aller vier Genotypen, entwickeln konnten. Dieses Ergebnis spricht für eine verhältnismäßig hohe Anfälligkeit in dem Genotypen MI x Rh während der Larvenentwicklung. Dies könnte die Folge einer relativ schwachen unspezifischen Abwehr gewesen sein, die zu diesem Zeitpunkt den Abwehrmechanismus darstellt.

Die Etablierungsrate der adulten Nematoden unterschied sich in den Reinzuchten Merinolandschaf und Rhönschaf nicht signifikant voneinander. Gauly *et al.* (2002) beobachteten für dieselben Rassen bei gleich hoher Infektionsdosis etwas niedrigere

Diskussion

Werte. Da der Jahreseffekt höchst signifikant war, könnten neben Umweltwirkungen wiederum die Altersunterschiede der Lämmer zwischen den Studien relevant für das Ergebnis gewesen sein. So betrug der Altersunterschied zwischen den Lämmern der vorliegenden Studie mit der von Gaulty *et al.* (2002) drei bzw. eine Woche (Versuchsjahres I bzw. II) zum Infektionszeitpunkt. Gaba *et al.* (2006) wiesen für sieben verschiedene Schafrassen nach, dass das Alter des Wirtstieres einen signifikanten Einfluss auf die Etablierungsrate von *T.circumcincta* hat.

Die Eierproduktion von Nematoden wird zum einen durch die Nematodenanzahl und zum anderen durch deren Fruchtbarkeit beeinflusst. Nach Stear *et al.* (1999a) entwickelt sich die Immunität in zwei Schritten: zunächst unterliegt nur die Wurmfruchtbarkeit der genetischen Kontrolle des Wirtes, anschließend auch die Anzahl der Würmer. Durch den Indikator Wurmfruchtbarkeit könnte auch das Absinken der LogEpG in der Rasse Merinolandschaf und der Kreuzung Rh x Ml von der ersten zur zweiten Probe zu erklären sein. Die angesiedelten Larven aus der künstlichen Infektion konnten sich zunächst im Wirt entwickeln und reproduzieren. Allerdings schien sich bis zur zweiten Probe die Reproduktionsrat bzw. die Fruchtbarkeit der neu entwickelten adulten Würmer verringert zu haben. Durch Ermittlung des zusätzlichen Indikators Wurmfruchtbarkeit ergaben sich folgende Ergebnisse:

Vier Wochen *p.i.* wurden bei den Merinolandschafen 4,2 und bei den Rhönschafen 7,6 ausgeschiedene Eier pro weiblichem Wurm ermittelt. Die Wurmfruchtbarkeit der Kreuzungen lag zwischen den Werten der Elternrassen. Es lag keine signifikante Differenz zwischen Elternrassen und Kreuzungen in der Wurmfruchtbarkeit vor. Es konnte zumindest für die Rasse Merinolandschaf statistisch abgesichert bestätigt werden, dass die signifikant geringere Wurmfruchtbarkeit der Grund des sinkenden LogEpG acht Wochen *p.i.* war.

Da keinerlei bedeutende Unterschiede zwischen den Elternrassen und den Kreuzungen in der Wurmfruchtbarkeit beobachtet werden konnten, betrug der Heterosiseffekt in

dem Merkmal Wurmfruchtbarkeit 1,13%, wobei die Rasseeffekte einen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung hatten.

5.2.10 Phänotypische Korrelationen der Wurmparameter

Stear *et al.* (1999a) kamen zu der Annahme, dass Lämmer ihre Resistenz in der Kontrolle der Länge der Würmer ausdrücken und nicht die Wurmanzahl zu reduzieren vermögen. Sie ermittelten einen negativen Zusammenhang zwischen der Wurmlänge und der Wurmanzahl von $-0,23$ ($p < 0,001$). Diese Beobachtungen konnten bei den untersuchten Genotypen im Versuch nicht bestätigt werden. Bei der Kreuzung Rh x MI, die sich gegenüber den anderen Genotypengruppen als relativ resistent erwies, konnten sowohl die kürzesten Würmer als auch die geringste Anzahl männlicher und weiblicher Würmer ermittelt werden. Durch die phänotypischen Korrelationen wurde aber offensichtlich, dass die Wurmlängen, sowohl weiblicher als auch männlicher Würmer, nicht in einer signifikanten Beziehung mit der Gesamtanzahl der Würmer stehen. Die Beziehung zwischen Wurmlänge und Wurmanzahl zeigte auch in den weiteren Genotypengruppen keine Signifikanz und war äußerst schwach negativ, oder Null. Nur in der Kreuzung MI x Rh konnte eine signifikante, schwache und negative Korrelation ($-0,190$) zwischen der Länge der weiblichen Würmer und deren Anzahl ermittelt werden.

In einer früheren Studie beobachteten Stear *et al.* (1995) eine Korrelation von $0,97$ zwischen der mittleren weiblichen Wurmlänge und der mittleren Anzahl der Eier pro weiblichen Wurm, ausgedrückt in der Fruchtbarkeit. Coyne und Smith (1992) fanden dagegen eine schwächere Korrelation von $r = 0,57$ zwischen Fruchtbarkeit und Länge von weiblichen *Haemonchus contortus*-Wümmern. Mugambi *et al.* (2005) ermittelten bei Rückkreuzungslämmern der Kreuzungen Dorper mit Red Maasai eine Korrelation zwischen eben diesen Parametern von $r = 0,49$ bei der Betrachtung der Beziehungen aller Rassen zueinander. Auch die Korrelation für die einzelnen Genotypen getrennt ermittelt näherten sich diesem Wert an. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stehen mit diesen Beobachtungen nicht im Einklang. Die phänotypischen Korrelationen

Diskussion

zwischen der Wurmfruchtbarkeit und der Länge der weiblichen Würmer konnten in keiner der untersuchten Genotypengruppen statistisch abgesichert nachgewiesen werden.

Die Beziehungen zwischen den LogEpG-Werten vier und acht Wochen *p.i.* korrelieren mit der Wurmbürde höchst signifikant bei allen Genotypengruppen. Differenziert betrachtet korrelieren die LogEpG-Werte mit der Anzahl der adulten männlichen und weiblichen Würmer auf gleichem Signifikanz- und Wertenniveau wie die Gesamtwurmanzahl. Diese Beobachtung findet Bestätigung bei Woolaston und Baker (1996) und Mugambi *et al.* (2005), die eine Beziehung von $r = 0,72$ ermittelten.

Die Reinzuchten verhielten sich hinsichtlich dieser Beziehung in der vorliegenden Arbeit anders als bei Janßen (2003). Während bei Janßen die Rhönschafe eine engere Korrelation zwischen LogEpG vier Wochen *p.i.* mit der Gesamtanzahl Würmer aufwiesen als mit dem LogEpG acht Wochen *p.i.*, wurde in der vorliegenden Untersuchung dieses Phänomen bei der Rasse Merinolandschaf festgestellt. Die Schlussfolgerung von Janßen, dass demnach auch die Rhönschafe die Fruchtbarkeit der Würmer zu unterdrücken vermögen, aber sich diese Immunitätsausbildung später entwickelt als bei den Merinolandschafen, kann nicht bestätigt werden. Hierbei verhält sich der Fall umgekehrt. Die Rasse Rhönschaf zeigte eine engere Korrelation zwischen der Wurmmzahl und der Eianzahl pro Gramm Kot acht Wochen *p.i.* als vier Wochen *p.i.* Dies ließe den Schluss zu, dass bereits vier Wochen nach der Infektion eine Reduzierung der Wurmfruchtbarkeit stattgefunden hat, während die Rasse Merinolandschaf länger für diese Immunitätsausbildung brauchte. Eine ähnliche Tendenz in Richtung der Rasse Merinolandschaf zeigten die beiden Kreuzungsgruppen.

Die Wurmfruchtbarkeit zeigte in allen Genotypen, mit Ausnahme der Rhönschafe, eine signifikante Beziehung mit der Anzahl der ausgeschiedenen Eier acht Wochen *p.i.* Dieses Ergebnis steht tendenziell mit Davies *et al.* (2005) im Einklang, die zwischen der Eizahl im Kot und der Anzahl der Eier *in utero* eine signifikante phänotypische

Korrelation von $r = 0,15$ bei Scottish-Blackface-Lämmern ermittelten. Mugambi *et al.* (2005) konnten eine engere Beziehung von $r = 0,52$ *in utero* feststellen.

5.2.11 Korrelationen zwischen Lebensstageszunahmen und LogEpG, Hämatokrit sowie Wurmbürde

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Lebensstageszunahmen und dem Hämatokritwert, der den Anteil der Blutzellen am Gesamtblutvolumen beschreibt (Janßen, 2003; Mugambi *et al.*, 2005). Der Sauerstofftransport von der Lunge zum Gewebe, der für alle biochemischen Prozesse von Bedeutung ist, wird von der Höhe des Hämatokritwertes reguliert (Scheunert und Trautmann, 1987). Bei niedrigem Hämatokrit kann es bei Minderversorgung aller Gewebe und Organe mit Sauerstoff zu verminderten Lebensstageszunahmen kommen.

Während der ersten Probe wird die enge Beziehung zwischen Hämatokrit und Lebensstageszunahmen in hoch signifikanten phänotypischen Korrelationen deutlich. Die Werte der Reinzuchten finden Bestätigung in der Untersuchung von Janßen (2003).

In den Kreuzungslämmern ist diese Beziehung deutlich niedriger. Die fehlenden Korrelationen zu beiden Probeterminen in der Rasse Rh x Ml könnten die Vermutung zulassen, dass hier eine relative Toleranz gegenüber dem Parasiten vorlag. Bei diesen Lämmern wurde zwar eine eindeutige Parasitenbelastung nachgewiesen, doch spiegelt sich diese nicht in einem signifikanten Zusammenhang zwischen Lebensstageszunahmen und Hämatokrit wider, wie es bei den reinrassigen Genotypen der Fall war.

Die Korrelation verhielt sich bei der Kreuzung Ml x Rh zunächst sehr schwach signifikant, bis zur zweiten Probe aber konnte die schwache Beziehung nicht mehr statistisch abgesichert werden. Auch hier könnte man von einer Kompensation der Infektion ausgehen, die sich allerdings später als in der reziproken Kreuzung entwickelt hat.

Durch den Befall mit *Haemonchus contortus* kommt es zu Schäden, die zu subklinischer Minderung der Futterverwertung und zu Entwicklungsstörungen führen (Boch und

Diskussion

Supperer, 1983). Die Korrelationen zwischen Lebensstageszunahmen und den LogEpG-Werten könnten daher ein Maß für die Auswirkungen des Parasiten auf die Gewichtszunahme und die Entwicklung der Lämmer darstellen. Dieser Zusammenhang dient vielmehr zur Ermittlung der Parasitentoleranz als der Parasitenresistenz (Albers *et al.*, 1987). Bei unbeeinträchtigter Gewichtszunahme trotz hoher Eiausscheidungsrate kann davon ausgegangen werden, dass eine Toleranz gegenüber dem Parasiten vorliegt.

In den Genotypen Merinolandschaf, Rhönschaf und MI x Rh wurde der phänotypische Zusammenhang zwischen dem Resistenzmerkmal LogEpG und dem Leistungsmerkmal Lebensstageszunahmen (LTZ) deutlich. In der Kreuzung Rh x MI konnte kein deutlicher Einfluss der LogEpG auf die täglichen Zunahmen nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis, bei dem der Parasitenbefall keine signifikanten Auswirkungen auf die tägliche Zunahme zeigte, führt nach Albers *et al.* (1987) zu der Annahme, dass die Kreuzung Rh x MI unter den gegebenen Bedingungen die Fähigkeit besitzt, die Parasitenbelastung zu kompensieren. Durch den fehlenden Zusammenhang dieser Parameter zueinander in den Genotypen Merinolandschaf und MI x Rh zum Probetermin acht Wochen *p.i.* scheint es, dass sich eine Kompensationsfähigkeit in diesen Genotypen später entwickelte als bei der Kreuzung Rh x MI. Währenddessen machte sich eine Kompensation in der Rasse Rhönschaf nicht bemerkbar.

Die Ergebnisse der Untersuchung der Rhönschafe zu beiden Probeterminen sowie der Merinolandschafe und der Kreuzung MI x Rh während der ersten Probe werden von Albers *et al.* (1990) bestätigt. Sie beobachteten bei infizierten Merino-Lämmern phänotypische Korrelationen zwischen EpG und Lebensstageszunahmen von $-0,26$. Phänotypische Korrelationen verschiedener anderer Studien zwischen LogEpG und Lebensstageszunahmen von Jährlingen zeigten inkonsistente Ergebnisse. Die Werte verschiedener Autoren lagen zwischen $-0,02$ und $-0,12$ (zitiert nach Morris *et al.*, 1995). Janßen (2003) ermittelte deutlich niedrigere Korrelationen für die Rasse Rhönschaf

Diskussion

(0,109; n.s. Probe 1 und 0,197; $p < 0,05$ Probe 2) und Merinolandschaf (0,125; n.s. Probe 1 und 0,005; n.s. Probe 2).

Die Beziehungen der Wurmbürde zu der täglichen Zunahme waren während der zweiten Probe in den Reinzuchten deutlicher als bei den Kreuzungen. Während die Kreuzung Rh x Ml eine schwach negative Korrelation von $-0,184$ zeigte, lag die Reziproke bei $-0,064$ ohne statistische Bedeutung. Da auch die Wurmbürde offensichtlich keinen Einfluss auf die Gewichtszunahmen der Kreuzungsgenotypen gehabt hat, könnte die Annahme einer Kompensation, z.B. durch die proteinreiche Fütterung ad libitum, untermauert werden.

5.3 Ausblick für die Züchtung auf Parasitenresistenz

Die Arbeit liefert Hinweise auf das Vorliegen von maternalen Stellungseffekten in Merkmalen der Parasitenresistenz sowie in den Produktionsmerkmalen. Weiterer Forschungsbedarf zum Vorliegen einer maternalen Heterosis ist gegeben und kann durch Rückkreuzungsversuche untersucht werden.

Die in der vorliegenden Arbeit erkannten Vorteile der Merinolandschafe als Mutterrasse sollten auch hinsichtlich der Eignung in anderen Kreuzungszuchten, wie z.B. mit Fleischrassen, untersucht werden. Hierdurch könnte eine Verbesserung der Parasitenresistenz durch den Einsatz von Merinolandschaf-Müttern und eine Steigerung der Produktionsmerkmale durch Böcke einer Fleischschaf rasse erzielt werden.

In weiteren Untersuchungen sollte der Einsatz weiblicher Kreuzungstiere der Anpaarung Rh x Ml hinsichtlich ihrer Eignung zur Steigerung der Parasitenresistenz in der folgenden Generation geprüft werden.

Durch den Hinweis auf das Vorliegen von maternalen Stellungseffekten, wäre eine Untersuchung der Eiausscheidung der Mutterschafe während der Laktation (periparturient egg rise) von Interesse. Dies könnte aufschlussreich für den

Diskussion

Zusammenhang zwischen erhöhter bzw. niedriger Resistenz der Lämmer mit erhöhtem bzw. vermindertem Anstieg der Eiausscheidung bei den Müttern sein.

6 Zusammenfassung

Gegenstand der Untersuchung war es zu prüfen, ob eine Steigerung der Parasitenresistenz mittels Kreuzungszucht gegenüber den Rassen Merinolandschaf und Rhönschaf möglich ist. Dafür standen in zwei Versuchsjahren zu den Proben vier und acht Wochen nach der Infektion Lämmer der Elternrassen Merinolandschaf (Ml) (n = 48 bzw. 49) und Rhönschaf (Rh) (n = 70) sowie die reziproken Kreuzungslämmer dieser Rassen (Rh x Ml n = 176 bzw. 175 und Ml x Rh n = 159) zur Verfügung. Die Tiere wurden nach dem Absetzen mit 5000 *Haemonchus contortus*-L3-Larven infiziert und vier bzw. acht Wochen *p.i.* auf die Indikatoren der Parasitenresistenz Eizahl pro Gramm Kot (EpG) und Hämatokrit untersucht. Weiterhin wurden die visuellen Indikatoren FAMACHA®-Score und Dag Score aufgenommen um deren Eignung als praxistaugliche Indikatoren der Parasitenresistenz zu prüfen. Nach dem Schlachten wurden die Wurmparameter und die Schilddrüsenhormone Thyroxin bzw. Trijodthyronin im Blut bestimmt. Neben diesen Parametern wurden die Daten der Schlachtkörpergewichte sowie Qualität nach EUROP- und Fett-Klassifikation erfasst. Die Gewichtsentwicklung vor und nach der Infektion wurde dokumentiert.

Zur Analyse der genannten Parameter wurden in einem linearen Modell als fixe Einflussfaktoren die Rasse, das Geschlecht, der Geburtstyp und das Jahr berücksichtigt. Zusätzlich wurde das Absetzgewicht als Kovariable mit einbezogen.

Die Heterosis wurde nach Dickerson (1969) als Abweichung der beiden F1-Kreuzungen vom Mittel der beiden Reinzuchtpopulationen mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Prozent Heterosis} = \left[\frac{(F11 + F12)/2 - (Ml + Rh)/2}{(Ml + Rh)/2} \right] * 100$$

Dabei stellen F11 bzw. 12 die reziproken Kreuzungen (MlxRh bzw. RhxMl) dar.

Phänotypische Korrelationen wurden nach Pearson berechnet.

Die Heterosiseffekte für die Merkmale der Parasitenresistenz ließen sich – je nach Parameter – nicht oder in geringem Maße nachweisen. Die genetischen Unterschiede

Zusammenfassung

aller Resistenzparameter zeigten keinerlei Signifikanzen zwischen den Elternrassen und den Kreuzungen. Die Ausprägungen der Heterosiseffekte ergaben sich vor allem durch die Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen der Kreuzungen. Die Kreuzung Ml x Rh zeigte in den Parametern LogEpG vier und acht Wochen *p.i.*, Hämatokritwert vier Wochen *p.i.* und den Wurmparametern signifikant bis höchst signifikant stärker belastete Werte als die reziproke Kreuzung Rh x Ml. Hinsichtlich der Wurmanzahl wurden in dem Genotypen Ml x Rh die meisten männlichen und weiblichen Würmer gemessen. Dadurch wurde deutlich, dass sich in dieser Kreuzung im Vergleich zu den übrigen Genotypen, die meisten Würmer entwickeln konnten und somit die geringste Resistenz vorlag.

Die schwachen bis nicht auftretenden Heterosiseffekte in den Merkmalen der Parasitenresistenz machen deutlich, dass sich die Kreuzung Merinolandschaf-Vater mit Rhönschaf-Mutter um kein geeignetes züchterisches Mittel zur Steigerung der Parasitenresistenz erweist. Die reziproke Kreuzung Rh x Ml erwies sich als eine Kombination, die tendenziell mit der Rasse Merinolandschaf auf einem Niveau in den Merkmalen der Parasitenresistenz steht und somit vorteilhaftere Ergebnisse gegenüber der Kreuzung Ml x Rh und der Rassen Rhönschaf zeigte.

Die phänotypischen Korrelationen zwischen dem LogEpG und den Hämatokritwerten zeigten bei allen vier Genotypen mit $-0,618$ und $-0,266$ dieselben negativen Tendenzen.

Bei allen vier Genotypen korrelierte die Länge der männlichen Würmer nicht signifikant mit der Eizahl zu beiden Probeterminen. Die Länge der weiblichen Würmer verhielt sich ebenso mit der Eizahl, nur in der Kreuzung Ml x Rh zeigte sich eine hoch signifikante Korrelation mit $-0,274$ vier Wochen *p.i.* und eine signifikante Beziehung mit $-0,186$ acht Wochen *p.i.*

Zusammenhänge zwischen der Eiausscheidung acht Wochen *p.i.* und der weiblichen Wurmfruchtbarkeit konnten in drei Genotypen, jedoch nicht in der Rasse Rhönschaf, nachgewiesen werden.

Zusammenfassung

Die Heterosiseffekte für die Parameter Geburtsgewicht, Absetzgewicht, Gewicht zum ersten und zweiten Probezeitpunkt sowie für die entsprechenden Lebendtagesszunahmen lagen zwischen 4,40% und 3,20%. Hierbei machte sich der bei den Merkmalen der Parasitenresistenz angenommene maternale Stellungseffekt der Kreuzung Rh x Ml wiederum bemerkbar.

Die phänotypische Korrelationen zwischen FAMACHA[®]-Score mit Hämatokrit, LogEpG sowie der Wurmbürde zeigten sich insgesamt als schwach. Unter den Bedingungen einer *Haemonchus contortus*-Infektion mit 5000 L3-Larven, die zum Absenken des Hämatokritwertes an die Untergrenze des physiologische Normbereichs führten, ist der Einsatz des FAMACHA[®]-Score-Systems weniger geeignet.

Es konnten keine einheitlichen Ergebnisse hinsichtlich der Beziehung zwischen Dag Score und der *Haemonchus contortus*-Infektion gewonnen werden. Die Erfassung des Scores erwies sich als nicht geeignet zur Identifikation einer niedrigen bzw. hohen Eiausscheidung durch *Haemonchus contortus*. Unter den gegebenen Infektionsbedingungen ist der Score nicht für die praktische Schafhaltung als Indikator zu empfehlen.

Durch die Ermittlung der Konzentration der Schilddrüsenhormone ergaben sich nicht vorhandene bzw. gering positive Korrelationen zwischen den Merkmalen T₄ und T₃ mit LogEpG und der Gesamtanzahl Würmer, so dass kein Rückschluss hinsichtlich einer Beeinträchtigung des Gesamtstoffwechsels durch Parasiteninfektion zu gelassen werden konnte.

7 Summary

Title: Heterosis analysis of *Haemonchus contortus* resistance and production traits in Rhoen sheep, Merino Land sheep and crossbred lambs

The primary aim of the study was to proof if there is a possibility to increase the resistance for parasites in crossbreeding the pure breed lines Merinoland sheep and Rhoen sheep.

A crossbreeding program was conducted with animals of the breeds Merinoland sheep (MI) (n = 48 adv. 49) and Rhoen sheep (n = 70) as well as the reciprocal counterparts (Rh x MI n = 176 adv. 175 and MI x Rh n = 159). Each animal was orally infected after weaning with 5000 infective-stage larvae (L3) of the nematode *Haemonchus contortus*. Faecal egg counts (FEC) and haematocrit values of all the lambs were collected four and eight weeks *post infectionem*. FAMACHA[®]-Score and dag score were given at the same time to proof their ability as practicable indicators for parasite resistance. Worm counts were obtained after slaughtering and thyroid adv. thyroxine hormones in the blood were determinated. The dataset of the carcasses were taken. Aside theses parameters the dataset of weight of carcass was taken as well as the quality of the carcass done by the EUROP- and fatness classification. The weights before and after artificial challenge were measured.

For analysing the described parameters a linear model was used with breed, sex, birth type and year as fixed effects. Weaning weight was used as covariable.

The heterosis was calculated by Dickerson (1969) as the deviation of the two F1 cross-breeds from the arithmetic means of the two pure breed populations. The following formula was used:

$$\text{Percent heterosis} = \left[\frac{(F11 + F12)/2 - (MI + Rh)/2}{(MI + Rh)/2} \right] * 100$$

F11 adv. 12 = crossbred counterparts (MIxRh adv. RhxMI)

Phenotypic correlations where calculated by Pearson.

Summary

The effects of heterosis analysis for parameters of parasite resistance were very weak or did not even exist. There were no significant genetic differences of the crossbreeds and the pure breeds in all parameters of resistance. This was caused in the discrepancy between the results within the crossbreeds. The MI x Rh crosses showed significant higher values as the Rh x MI crosses in LogEpG four and eight weeks *p.i.*, haematocrits four weeks *p.i* and worm parameters. The highest number of worms was measured in the MI x Rh crosses. Hence, it was considerably that the most worms could develop in this crossbreed and that these crosses were the less resistant ones.

The crosses which had Merinoland sheep as the ram and Rhoen sheep as the dam were not suitable to make any efforts in breeding for parasite resistance. This was shown by the weak or absence heterotic effects in the indicators of parasite resistance. Because the Rh x MI are on the same level as the pure breed Merinoland sheep they proved to be a suitable crossbred for advantageously results as the reciprocal crosses MI x Rh.

In all three genotypes the phenotypic correlation between the LogEpG and the haematocrit value showed the same negative tendencies with $-0,618$ and $-0,266$.

At both samples the length of the male worms didn't correlate significantly with the egg count. The correlation between the length of the female worms and egg count was similar, but there was a high significant correlation with $-0,274$ in the first sample and a significant relationship in the second sample in the cross breed MI x Rh.

Relationships between the egg count eight weeks *p.i.* and the female worm fecundity were detected in three genotypes, but not in the Rhoen sheep.

The heterosis analysis for birth weight, weaning weight, weight at the first and second sample as well as the accordant live weight gain were between 4,40% and 3,20%. The maternal breeding effects were also considerable in these parameters.

The phenotypic correlation between FAMACHA[®]-Score and haematocrit value, LogEpG and worm number were weak. The FAMACHA[®]-score system is less suitable

Summary

under conditions of an infection with 5000 *Haemonchus contortus* larvae which leads to a reduction of haematocrit value at the limit of the physiological range.

There were no consistent results concerning the relationship between dag score and an infection with *Haemonchus contortus*. Taking the dag scores was unsuitable for detecting high or low resistant lambs. Under these circumstances of artificial infection the dag score is not recommendable as a suitable indicator for sheep farming.

The concentration of the thyroid hormones show any or weak relationships between LogEpG and the number of worms. It was not possible to make any conclusions in respect of interference of the metabolism caused by parasite challenge.

8 Literaturverzeichnis

Albers, G.A.A. and Gray, G.D. (1989): The genetics of parasite resistance in sheep. *Curr. Top. Vet. Med. Anim. Sci.* **52**, 153–159

Albers, G.A.A.; Gray, G.D.; LeJambre, L.F.; Barger, I.A. and Baker, J.S.F. (1990): The effect of *Haemonchus contortus* infection on haematological parameters in young merino sheep and its significance for productivity. *Anim. Prod.* **50**, 99–109

Albers, G.A.A.; Gray, G.D.; Piper, L.; Baker, J.S.F.; LeJambre, L.F. and Barger, I.A. (1987): The genetics of resistance to *Haemonchus contortus* infection in young Merino sheep. *Int. J. Parasitol.* **17**, 1355–1363

Allonby, E.W. and Dargie, J.D. (1973): Ovine haemonchosis. In: G.M. Urquhart and J. Armour (Eds.), *Helminth Diseases of Cattle, Sheep and Horses in Europe*. Robert Maclehose and Co. Ltd., Glasgow, 57–71.

Altaif, K.I. and Dargie, J.D. (1978): Genetic resistance to helminths. The influence of breed and haemoglobin type on the response of sheep to primary infection with *haemonchus contortus*. *Parasitol.* **77**, 161–175

Amarante, A.F.T.; Bricarello, P.A.; Rocha, R.A. and Gennari, S.M. (2004): Resistance of Santa Ines, Suffolk and Ile de France sheep to naturally acquired gastrointestinal nematode infections. *Vet. Parasitol.* **120**, 91–106

Amarante, A.F.T.; Craig, T.M.; Ramsey, W.S.; Davis, S.K. and Bazer, F.W. (1999a): Nematode burdens and cellular responses in the abomasal mucosa and blood of Florida Native, Rambouillet and crossbred lambs. *Vet. Parasitol.* **80**, 311–324

Amarante, A.F.T.; Craig, T.M.; Ramsey, W.S.; El-Sayed, N.M.; Desouki, A.Y. and Bazer, F.W. (1999b): Comparison of naturally acquired parasite burdens among Florida Native, Rambouillet and crossbred lambs. *Vet. Parasitol.* **85**, 61–69

Amour, J. (1980): The epidemiology of helminth disease in farm animals. *Vet. Parasitol.* **6**, 7–46

Anonym (1994): *Nemesis Breeder Worm Control Network Recommendations for breeding sheep for worm resistance*. CSIRO, Armidale, Australia

Baker, R.L.; Nagda, S.; Rodriguez-Zas, S.L.; Southey, B.R.; Audho, J.O.; Aduda, E.O. and Thorpe, W. (2003): Resistant and resilience to gastro-intestinal nematode parasites and relationships with productivity of Red Maasai, Dorper and Red Maasai x Dorper crossbred lambs in the sub-humid tropics. *Anim. Sci.* **76**, 119–136

Literaturverzeichnis

- Barger, I.A. (1993): Influence of sex and reproductive status on susceptibility of ruminants to nematode parasitism. *Int. J. Parasitol.* **23**, 463–469
- Barlow, R. (1981): Experimental evidence for interaction between heterosis and environment in animals. *Anim. Breed. Abstr.* **49**, 715–743
- Bauer, C. (1990): *Praktikum der Veterinärmedizinischen Parasitologie*, 2. Aufl. Ferbersche Universitätsbuchhandlung, Gießen
- Baulain, U. und Streit, E. (1997): Moderne Messmethoden. Fleischanteil und Verfettung am lebenden Lamm messen. *Deutsche Schafzucht* **89**, 451–453
- Beh, K.J. and Maddox, J.F. (1996): Prospects for development of genetic markers for parasite resistance to gastrointestinal parasite infection in sheep. *Int. J. Parasitol.* **26**, 879–897
- Beh, K.J.; Hulme, D.J.; Callaghan, M.J.; Leish, Z.; Lenane, I; Windon, R.G. and Maddox, J.F. (2002): A genome scan for quantitative trait loci affecting resistance to *Trichostrongylus colubriformis* in sheep. *Anim. Genet.* **33**, 97–106
- Benaceraff, B. und McDevitt, H.O (1972): Histocompatibility-linked immune response genes. *Science* **175**, 273
- Benesch, C. (1993): Parasiten des Magen-Darm-Traktes von Schafen in Hessen: eine Sektionsstudie. *Vet. Med. Diss.*, Gießen, Deutschland
- Berenbaum, M.R. (1991): Coumarins. In: Rosenthal, G.A. and Berenbaum, M.R. (Eds.): *Herbivores – their interaction with secondary plant metabolites*, Academic Press, San Diego, CA, 221–249
- Bhuvanakumar, C.K.; Thiagarajan, V. and Krishnamurthy, U.S. (1982): Effect of age on heterosis for body weight in sheep. *Cheiron* **11**, 282–284
- Bishop, S.C. and Stear, M.J. (1999): Genetic and epidemiological relationships between productivity and disease resistance: gastro-intestinal parasite infection in growing lambs. *Anim. Sci.* **69**, 515–524
- Bishop, S.C. and Stear, M.J. (2001): Inheritance of faecal egg counts during early lactation in Scottish Blackface ewes facing mixed, natural nematode infections. *Anim. Sci.* **73**, 389–395
- Bishop, S.C. and Stear, M.J. (2003): Modelling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. *Vet. Parasitol.* **115**, 147–166

Literaturverzeichnis

- Bishop, S.C.; Jackson, F.; Coop, R.L. and Stear, M.J. (2004): Genetic parameters for resistance to nematode infections in Texel lambs and their utility in breeding programmes. *Anim. Sci.* **78**, 185–194
- Bishop, S.C.; Bairden, K.; McKellar, Q.A.; Park, A. and Stear, M.J. (1996): Genetic parameters for faecal egg count following mixed, natural predominantly *Ostertagia circumcincta* infection and relationship with live weight in young lambs. *Anim. Sci.* **63**, 423–428
- Bisset, S.A. and Morris, C.A. (1996): Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. *Int. J. Parasitol.* **26**, 857–868
- Bisset, S.A.; Morris, C.A.; Squire, D.R.; Hickey, D.M. and Wheeler, M. (1994): Genetics of resilience to nematode parasite in Romney sheep. *N.Z. J. Agric. Res.* **37**, 521–534
- Bisset, S.A.; Vlassof, A.; Douch, P.G.C; Jonas, W.E; West, C.J. and Green, R.S. (1996): Nematode burdens and immunological responses following natural challenge in Romney lambs selectively breed for low or high faecal worm egg count. *Vet. Parasitol.* **61**, 249–263
- Bisset, S.A.; Van Wyk, J.A.; Bath, G.F.; Morris, C.A.; Stenson, M.O. and Malan F.S. (2001): Phenotypic and genetic relationship amongst FAMACHA Score, faecal egg count and performance data in Merino sheep exposed to *Haemonchus contortus* infection in South Africa. Proc. 5th International Sheep Veterinary Congr., 22–25 January 2001, Stellenbosch, South Africa.
- Blood, D.C.; Radostits, O.M. and Henderson, J.A. (1983): *Veterinary Medicine*, Pitman Press Ltd, Bath, U.K.
- Boch, J. und Supperer, R. (1983): *Veterinärmedizinische Parasitologie*, 3. Aufl., Verlag Parey, Berlin, Deutschland, 165
- Boettcher, P.J.; Kuhn, M.T. and Freeman, A.E. (1996): Impacts of Cytoplasmatic Inheritance on Genetic Evaluations. *J.Dairy Sci.* **79**, 663–675
- Born, B. und Bauer, C. (2002): Aktuelle Befunde zur Verbreitung anthelminthika-resistenter Trichostrongylidenpopulationen in Schafherden Schleswig-Holsteins. Dtsch. Veterinärmed. Ges. Tagung „Bekämpfung und Epidemiologie von Parasitosen“, Lübeck-Travemünde, 11
- Bostedt, H. und Dedié, K. (1996): *Schaf- und Ziegenkrankheiten*. 2. Aufl., Verlag Ulmer, Stuttgart
- Bouix, J.; Krupinski, J.; Rzepecki, B.; Skrzyzala, I.; Roborzynski, M; Fudalewicz-Niemczyk, W.; Skalska, M. and Malczewski, A. (1998): Genetic resistance to

Literaturverzeichnis

gastrointestinal nematode parasites in Polish long-wool sheep. Intern. J. Parasitol. **28**, 1797–1804

Bourfia, M. and Touchberry, R.W. (1993): Diallel crosses of three Moroccan breeds of sheep. I. Lamb growth and carcass traits. J. Anim. Sci. **71**, 870–881

Buitkamp, J.; Bishop, S.C. and Stear, M.J. (2002): The identification of sheep genetically resistant to the nematode *Teladorsagia circumcincta*. In: Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier, 19–23 August, 2002, INRA, Castanet-Tolosan, France, Communication No. 13-04

Buitkamp, J.; Filmether, P. Stear, M.J. and Epplen, J.T. (1996): Class I and class II major histocompatibility complex alleles are associated with faecal egg counts following natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection. Parasitol. Res. **82**, 693–696

Bürger, H.J. (1992): Helminthen. In: Eckert, J; Kutzer, E.; Rommel, M.; Bürger, H.J. und Körting, W. (Hrsg.): Veterinärmedizinische Parasitologie. 3. Aufl., Verlag Parey, Berlin, Deutschland, 174–314

Burke, J.M. and Miller, J.E. (2002): Relative resistance of Dorper crossbred ewes to gastrointestinal nematode infection compared with St. Croix and Katahdin ewes in the southeastern United States. Vet. Parasitol. **109**, 265–275

Burke, J.M.; Kaplan, R.M.; Miller, J.E.; Terrill, T.H.; Getz, W.R.; Mobini S.; Valencia, E.; Williams, M.J.; Williamson L.H. and Vatta A.F. (2007): Accuracy of the FAMACHA system for on-farm use by sheep and goat producers in the southeastern United States. Vet. Parasitol. **147**, 89–95

Chartier, C., Pors, I., Hubert, J., Rocheteau, D., Benoit, C. and Bernard, N. (1998): Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in western France. Small Rumin. Res. **29**, 33–41

Colditz, I.G.; Watson, D.L.; Gray, G.D. and Eady, S.J. (1996): Some relationship between age, immune responsiveness and resistance to parasite in ruminates. Int. J. Parasitol. **26**, 869–877

Comings, D.E. and MacMurray J.M (2000): Molecular Heterosis: A Review. Mol. Genet. Metab. **71**, 19–31

Connan, R.M. (1971): The seasonal incidence of inhibition of development in *Haemonchus contortus*. Res. Vet. Sci. **12**, 272–274

Connan, R.M. (1975): Inhibited development in *Haemonchus contortus*. Parasitology **71**, 239–246

Literaturverzeichnis

- Coop, R.L. and Holmes, P.H. (1996): Nutrition and parasite interaction. *Int. J. Parasitol.* **26**, 951–962
- Coop, R.L. and Kyriazakis, I. (2001): Influence on host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. *Trends Parasitol.* **17**, 325–330
- Coop, R.L.; Huntley, J.F. and Smith, W.D. (1995): Effect of dietary protein supplementation on the development of immunity to *Ostertagia circumcincta* in growing lambs. *Res. Vet. Sci.* **59**, 24–29
- Cooper, D.W.; Van Oorschot; R.A.H.; Piper, L.R. and Le Jambre, L.F. (1989): No association between the ovine leucocyte antigen (OLA) system in the Australian Merino and susceptibility to *Haemonchus contortus* infection. *Int. J. Parasitol.* **19**, 695–697
- Coyne, M.J. and Smith, G. (1992): The mortality and fecundity of *Haemonchus contortus* in parasite-naive and parasite exposed sheep following single experimental infections. *Int. J. Parasitol.* **22**, 315–325
- Crawford, A.M.; Paterson, K.A.; Dodds K.G.; Tascon, C.D.; Williamson, P.A.; Thomson, M.R.; Bisset, S.A.; Beattie, A.E.; Greer, G.J. Green, R.S.; Wheeler, R.; Shaw, R.J.; Knowler, K.; McEwan, J.C. (2006): Discovery of quantitative trait loci for resistance to parasitic nematode infection in sheep: I. Analysis of outcross pedigrees. *BMC Genomics* **7**, 178
- Cremaschi, G.A.; Gorelik, G.; Klecha, A.J.; Lysionek, A.E. and Genaro, A.M. (2000): Chronic stress influences the immune system through the thyroid axis. *Life Sci.* **67**, 3171–3179
- Crow, J. (1948): Alternative hypothesis of hybrid vigor. *Genetics* **33**, 477–487
- Csaba, G.; Kovács, P. and Pállinger, E. (2004): Immunological demonstrable hormones and hormone-like molecules in rat white blood cells and mast cells. *Cell Biology Internat.* **28**, 487–490
- Cunningham, E.P. (1987): Crossbreeding – The Greek temple model. *J. Anim. Breed. Genet.* **104**, 2–11
- Dargie, J.D. and Allonby, E.W (1975): Pathophysiology of single and challenge infections of *Haemonchus contortus* in Merino sheep: studies on red cell kinetics and the 'self-cure' phenomenon. *Int. J. Parasitol.* **5**, 147–157.
- Datta, F.U.; Nolan, J.V.; Rowe, J.B.; Gray, G.D. and Crook, B.J. (1999): Long-term effects of short-term provision of protein-enriched diets on resistance to nematode infection and live weight gain and wool growth in sheep. *Int. J. Parasitol.* **29**, 479–488

Literaturverzeichnis

- Davies, G.; Stear, M.J. and Bishop, S.C. (2005): Genetic relationships between indicator traits and nematode parasite infection levels in 6-month-old lambs. *Anim. Sci.* **80**, 143–150
- Davies, G; Stear, M.J.; Benothman, M.; Abuagob O; Kerr A; Mitchell S and Bishop S.C. (2006): Quantitative trait loci associated with parasitic infection in Scottish blackface sheep. *Heredity*, **96**, 252–258
- Dickerson, G.E. (1969): Experimental approaches in utilizing breed resources. *Anim. Breed.* **37**, 191–202
- Döcke, F. (1994): *Veterinärmedizinische Endokrinologie*. 3. Aufl., Fischer Verlag, Jena, Deutschland
- Dorn, H.E. (1997): Untersuchungen zur Resistenz von Magen-Darm-Nematoden des Schafes gegen Anthelminthika auf Levamisol- und Mebendazolbasis., *Vet. Med. Diss.*, München, Deutschland
- Douch, P.G.C.; Harrison, G.B.L.; Buchanan, L.L. and Brunson, R.V. (1984): Relationship of histamine in tissues and antiparasitic substances in gastrointestinal mucus to the development of resistance to trichostrongyle infections in young sheep. *Vet. Parasitol.* **16**, 273-288
- Douch, P.G.C.; Green, R.S.; Morris, C.A.; McEwan, J.C. and Windon, R.G. (1996): Phenotypic markers for selection of nematode-resistant sheep. *Int. J. Parasitol.* **26**, 899–911
- Düwel, D. (1991): Quelle est la fiabilité des tests in vitro dans le diagnostic de la résistance des helminthes des moutons aux benzimidazole? *Rev. Méd. Vét.* **142**, 623–631
- Dzapo, V. und Waßmuth, R. (1982): Mitochondriale Kompletation und reproduktive Kombinationseignung beim Schwein. *Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol.* **99**, 123–138
- Dzapo, V. und Waßmuth, R. (1984a): Mitochondrialer Stoffwechsel und heterotische Effekte beim Schwein. II. Die Aktivitäten der Enzyme der Atmungskette in Leber-, Hoden- und Herzmitochondrien. *Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol.* **100**, 280–295
- Dzapo, V. und Waßmuth, R. (1984b): Mitochondrialer Stoffwechsel und heterotische Effekte beim Schwein. III. Die Aktivitäten der Enzyme der Atmungskette in Leber-, Hoden- und Herzmitochondrien. *Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol.* **101**, 112–130
- Dzapo, V.; Schnarr, W. und Waßmuth, R. (1983): Mitochondrialer Stoffwechsel und heterotische Effekte beim Schwein. I. Reproduktionsleitung, Wachstumsintensität und Schlachtkörperqualität. *Z. Tierzucht. Zuchtungsbiol.* **100**, 109–122

Literaturverzeichnis

- Eady, S.J. (1995): Phenotypic traits associated with resistance to internal parasites. In: Gray, D.G., Woolaston, R.R., Eaton, B. (Eds.): *Breeding for Resistance to Infectious Diseases in Small Ruminants*. Australian Centre of International Agricultural Research. Canberra, Australia
- Eady, S.J.; Woolaston, R.R., Lewer, R.P.; Raadsma, H.W.; Swan, A. A. and Ponzoni, R.W. (1998): Resistance to nematode parasites in Merino sheep: correlation with production traits. *Aust. J. Agric. Sci.* **49**, 1201–1211
- Eckert, J.; Rommel, M. und Kutzer, E. (2000): Erreger von Parasitosen: Systematik, Taxonomie und allgemeine Merkmale. In: Rommel, M.; Eckert, J.; Kuntzer, E.; Körting, W. und Schnieder, T.: *Veterinärmedizinische Parasitologie*. 5. Aufl., Verlag Parey, Berlin, Deutschland, 23
- Ellis, K.J. (1980): Variations in plasma thyroxine concentrations in sheep and the effects of iodine supplementations by an intra-ruminal devise. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* **13**, 209–212
- Enninga, J.; Bauer, C. und Failing, K. (1990): Benzimidazolresistenzen bei Trichostrongyliden in hessischen Schafherden: Verbreitung und Beziehungen zum Betriebsmanagement. *Ber. Dtsch. Veterinärmed. Ges. Tagung „Schaf- und Ziegenkrankheiten“*, Gießen, 46–47
- Fadili El, M. and Leroy, P.L. (2001): Estimation of additive and non-additive genetic parameters for reproduction, growth and survival traits in crosses between the Moroccan D'man and Timahdite sheep breeds. *J. Anim. Breed. Genet.* **118**, 341–353
- Falconer, D.S. and MacKay, T.F.C. (1996): *Introduction to Quantitative traits*. 4. Eds., Chapman and Hall, London
- Festing, M.F.W. and Blackwell, J.M. (1988): Determination of mode of inheritance of host response. In: Wakelin, D.M. and Blackwell, J.M. (Eds.): *Breeding for resistance to bacterial and parasite infection*. Taylor and Francis, Ltd, London, Great Britain
- Fewson, D. (1980): Inzucht und Fremdzucht. In: Comberg, G. (Hrsg.): *Tierzuchtungslehre*. 3. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Fiebrand, G. (1987): *Biochemische Untersuchungen über Merkmalsantagonismen beim Wachstum von Lämmern*. Agrar-Diss, Gießen, Deutschland
- Fischer, A. (2003): Deutsche Schafrassen. In: Strittmatter, K. (Hrsg.): *Schafzucht*. Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland

Literaturverzeichnis

- Fogarty, N; Ingham, V.; McLeod, L.; Morgan, J. and Gaunt, G. (2005): Dynamic dams for lamb production: more \$\$\$s from crossbred ewes with the right genetics. Technical Bulletin 50, NSW Department of Primary Industries, Orange, Australia
- Frank, W. (1976): Parasitologie, Lehrbuch für Studierende der Human- und Veterinärmedizin, der Biologie und der Agrarbiologie. Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Frascaroli, E; Cane, M.A.; Landi, P; Pea, G; Gianfranceschi, L; Villa, M.; Morgante, M. and Pe, M.E. (2007): Classical genetic and QTL analyses of heterosis in a maize hybrid between two elite inbred lines. *Genetics* **176**, 625–644
- Freeman, A.; Nghiema, C.; Li, J.; Ashton, F.T.; Guerrero, J.; Shoop, W.L. and Schad, G.A. (2003): Amphidial structure of ivermectin-resistant and susceptible laboratory and field strains of *Haemonchus contortus*. *Vet. Parasitol.* **110**, 217–226
- Frisch, J.E.; O’Neils, C.J. and Kelly, M.J. (2000): Using genetics to control cattle parasites—the Rockhampton experience. *Int. J. Parasitol.* **30**, 253–264
- Fülleborn, F. (1920): Die Anreicherung der Helmintheneier mit Kochsalzlösung. *Dtsch. Med. Wschr.* **46**, 714
- Gaba, S.; Gruner L. and Cabaret J. (2006): The establishment rate of a sheep nematode: Revisiting classics using a meta-analysis of 87 experiments. *Vet. Parasitol.* **140**, 302–311
- Galvani, A.P. (2003): Immunity, antigenic heterogeneity and aggregation of parasite. *J. Parasitol.*, **110**, 217–226
- Gauly, M. and Erhardt, G. (2001): Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in Rhön sheep following natural infection. *Vet. Parasitol.* **102**, 253–259
- Gauly, M.; Krause, M.; Vervelde, L.; Leeuwen, van, M.A.W. and Erhardt, G. (2002): Estimating genetic differences in natural resistance in Rhön and Merinoland sheep following experimental *Haemonchus contortus* infection. *Vet. Parasitol.* **106**, 55–67
- Gauly, M.; Schackert, M. und Erhardt, G. (2004): Nutzung des FAMACHA®-Scoring-Systems als diagnostisches Hilfsmittel zur Merkmalerfassung in Zuchtprogrammen bei Schaflämmern nach experimenteller Infektion mit *Haemonchus contortus*. *Dtsch Tierärztl Wochenschr.* **111**, 430–433
- Gauly, M.; Schackert, M.; Hoffmann, B. and Erhardt, G. (2006): Influence of sex on the resistance of sheep lambs to an experimental *Haemonchus contortus* infection. *Dtsch Tierärztl Wochenschr.* **113**, 178–181

Literaturverzeichnis

- Gibson, J.P.; Freeman, A.E. and Boettcher, P.J. (1997): Cytoplasmatic and Mitochondrial Inheritance of Economic Traits in Cattle. *Livest. Prod. Sci.* **47**, 115–124
- Gill, H.S. (1991): Genetic control of acquired resistance to haemonchosis in Merino lambs. *Parasite Immunol.* **13**, 617–628
- Gill, H.S.; Gray, G.D. and Watson, D.L. (1991): Mechanism underlying genetic resistance to *Haemonchus contortus* in sheep. In: Gray, G.D. and Woolaston, R.R. (Eds.): *Breeding for Disease Resistance*, Australian Wool Cooperation. Melbourne, Australia
- Gill, H.S.; Husband, A.J. and Watson, D.L. (1992): Localization of immunoglobulin-containing cells in the abomasums of sheep following infection with *Haemonchus contortus*. *Vet. Immunol. Immunopathol.* **31**, 179
- Gill, H.S.; Watson, D.L. and Brandon, M.R. (1993): Monoclonal antibody to CD4+ T cells abrogates genetic resistance to gastrointestinal nematodes in sheep. *Immunology* **78**, 43–49
- Glodek, P. (1969): Zuchtverfahren zur Ausnutzung der Heterosis und ihre Anwendung in der Schweinezucht. *Z. Tierzucht. Zuechtungsbiol.* **86**, 127–135
- Goossens, B.; Osaer, S.; Ndaob, M.; van Wingham J. and Geerts, S. (1999): The susceptibility of Djallonké and Djallonké-Sahelian crossbred sheep to *Trypanosoma congolense* and helminth infection under different diet levels, *Vet. Parasitol.* **85**, 25–41
- Gordon, H. McL. (1948): The epidemiology of parasitic diseases, with special reference to studies with nematode parasites of sheep. *Austr. Vet. J.* **24**, 17–44
- Gordon, H. McL. and Whitlock, J.V. (1939): A new technique for counting nematode eggs in sheep faeces. *J. Counc. Sci. Ind. Res. Austr.* **12**, 50
- Grace, D.; Himstedt, H.; Sidibe I.; Randolph T. and Clausen P.-H. (2007): Comparing FAMACHA® eye color chart and Hemoglobin Color Scale tests for detecting anemia and improving treatment of bovine trypanosomosis in West Africa. *Vet. Parasitol.* **147**, 26–39
- Gray, G.D. (1991): Genetic variation in resistance to parasite. In: Gray, G.D. and Woolaston, R.R. (Eds.): *Breeding for Disease Resistance*, Australian Wool Coop., Melbourne, Australia
- Gray, G.D. (1997): The use of genetically resistant sheep to control nematode parasitism. *Vet. Parasitol.* **72**, 345–366
- Greeff, J.C. and Karlsson, L.J.E. (1997): Genetic relationship between faecal worm egg count and scouring in Merino sheep in a Mediterranean environment. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* **12**, 333–337

Literaturverzeichnis

- Green, R.S.; Douch, P.G.C.; Burr E. and Donaghy M.J. (1995): The influence of *Trichostrongylus colubriformis* challenge dose rate on antiparasite antibody, faecal egg count and production parameters in penned sheep. *N.Z. J. Zool.* **22**, 175–198
- Gruner, L.; Aumont, G.; Getachew, T.; Brunel, J.C.; Pery, C.; Cognié, Y. and Guérin, Y. (2003): Experimental infection of Black Belly and INRA 401 straight and crossbred sheep with trichostrongylus nematode parasites. *Vet. Parasitol.* **116**, 239–249
- Gruner, L.; Bouix, J.; Brunel, J.C. (2004): High genetic correlation between resistance to *Haemonchus contortus* and to *Trichostrongylus colubriformis* in INRA 401 sheep. *Vet Parasitol.* **119**, 51–58
- Gyllensten, U.; Wharton, D.; Josefsson, A. and Wilson, A.C. (1991): Paternal inheritance of mitochondrial DNA in mice, *Nature* **352**, 255–257
- Hansen, J. and Perry, B. (1990): The epidemiology, diagnosis and control of gastrointestinal parasites of ruminants in Africa. ILRAD, Nairobi, Kenya
- Haymann, B.I. (1957): Interaction, heterosis and diallel crosses. *Genetics*, **42**, 336–355
- Heaf, D.J.; Chen, W.Y.J.; Carrol, J.; Davies, D.A.R. and Glover, J. (1983): Seasonal changes in the concentrations of thyroxine and its transport proteins in sheep plasma. *Biochem. Soc. Trans.* **11**, 391–392
- Hertzberg, H. und Bauer, C. (2000): Anthelminthika-Resistenzen bei Magen-Darm-Strongyliden von Schafen und Ziegen: Aktuelles über Verbreitung, Epidemiologie, Vorbeugemaßnahmen und Alternativen zum Anthelminthika-Einsatz. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* **113**, 122–128
- Hiendleder, S. (1987): Heterosis in Mastleistungsparametern, mitochondrialem Energiestoffwechsel und Serumthyroxinkonzentration von Lämmern. Agrar-Diplomarbeit, Gießen, Deutschland
- Hiendleder, S. (1989): Analyse der ovinen mtDNA-Struktur im Hinblick auf den mitochondrialen Energiestoffwechsel und dessen Beziehung zum Thyroidhormonstatus im Wachstumsverlauf. Agrar-Diss, Gießen, Deutschland
- Hoste, H.; Chartier, C. and Le Frileux, Y. (2002): Control of gastrointestinal parasitism with nematodes by treating the host category at risk. *Vet. Res.* **33**, 531–545
- Hull, H.F. (1952): Recurrent Selection and Overdominance. In: Gowen, J.W. (Eds.): Heterosis. Iowa State College Press: Ames, Iowa, USA
- Jackson, F. and Coop, R.L. (2000): The development of anthelmintic resistance in sheep nematodes. *Parasitol.* **120**, 95–107

Literaturverzeichnis

- Janßen, M. (2003): Genetische Untersuchungen zur Resistenz gegen *Haemonchus contortus* Infektionen beim Merinolandschaf und Rhönschaf. Agrar-Diss, Gießen, Deutschland
- Kaplan, R.M.; Burke, J.M.; Terrill, T.H.; Miller, J.E.; Getz, W.R.; Mobini, S.; Valencia, E.; Williams, M.J.; Williamson, L.H.; Larsen, M. and Vatta, A.F. (2004): Validation of the FAMACHA® eye color chart for detecting clinical anemia in sheep and goats on farms in the southern United States. *Vet. Parasitol.* **123**, 105–120
- Karlsson, L.J.E.; Greeff, J.C. and Harris, J.F. (1995): Genetic trends in a selection line for low faecal worm egg count. *Proc. of the 11th Congr. Aust. Ass. Anim. Breed. Genet.* **122**, South Australia
- Karlsson, L.J.E. and Greeff, J.C. (2005a): Parasite resistant sheep and hypersensitivity diarrhoea. Department of Agriculture, Western Australia, Sheep Updates
- Karlsson, L.J.E. and Greeff, J.C. (2005b): Sustainable internal parasite control in Australian Merino sheep. EAAP – 56th Annual Meeting, Uppsala 2005, Session 33
- Klecha, A.J.; Genaro, A.M.; Lysionek, A.E.; Caro, R.A.; Coluccia, A.G. and Cremaschi, G.A. (2000): Experimental evidence pointing to the bidirectional interaction between the immune system and the thyroid axis. *Inter. J. Immunopharmacol.* **22**, 491–500
- König, K.-H. und Menger, H. (1990): Schafzucht. 2. Aufl. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 280
- Kraft, W. und Dürr, U.M. (2005): Klinische Labordiagnostik, 6. Aufl., Verlag Schattauer, Stuttgart, Deutschland
- Krogmeier, D. (1989): Heterosis und Merkmalsantagonismen beim Schaf. Auswirkungen auf die Mastleistung und die Schlachtkörperqualität sowie auf verschiedene Bereiche des Stoffwechsels. Agrar-Diss, Gießen, Deutschland
- Krogmeier, D.; Wenzlaff, O.; Dzapo, V. und Waßmuth, R. (1990): Heterotische Effekte beim Schaf – Zusammenhänge zwischen der Vitalität neugeborener Lämmer und ausgewählten Stoffwechselfparametern – Ergebnisse eines reziproken Kreuzungsversuchs. *Züchtungskunde* **62**, 52–65
- Larsen, J.W.A.; Anderson, N. and Vizard, A.L. (1999): The pathogenesis and control of diarrhoea and breech soiling in adult Merino sheep. *Int. J. Parasitol.* **29**, 893–902
- Larsen, J.W.A.; Anderson, N.; Vizard, A.L.; Anderson, G.A. and Hoste, H. (1994): Diarrhoea in Merino ewes during winter: association with trichostrongylid larvae. *Aust. Vet. J.* **71**, 365–372

Literaturverzeichnis

- Larsen, J.W.A.; Vizard, A.L. and Anderson, N. (1995): Production losses in Merino ewes and financial penalties caused by trichostrongylid infection during winter and spring. *Aust. Vet. J.* **72**, 58–63
- Le Jambre, L.F. (1978): Host genetic factors in helminth control. In: Donald, A.D.; Southcott W.H. & Dineen, J.K. (Eds.): *The Epidemiology and Control of Gastrointestinal Parasites of sheep in Australia*. CSIRO Division of Animal Health, Melbourne, 137–141
- Li, Y.; Miller, J.E. and Franke, D.E. (2001): Epidemiological observations and heterosis analysis of gastrointestinal nematode parasitism in Suffolk, Gulf Coast Native and crossbred lambs. *Vet. Parasitol.* **98**, 273–283
- Liebich, H.G. (1992): *Funktionelle Histologie*. 2. Aufl., Verlag, Schattauer GmbH, Stuttgart, Deutschland
- Lippman, Z.B. and Zamir, D. (2007): Heterosis: revisiting the magic. *Trends in Genetics*, **23**, 2, 60–66
- Lloyd, S. and Soulsby, E.J.L. (1987): Immunobiology of gastro-intestinal nematodes of ruminants. In: Soulsby, E.J.L. (Eds.): *Immune responses in parasitic infections: Immunology, Immunopathology and Immunoprophylaxis*. CRC-Press, Florida, 2–41
- Loeffler, K. (1994): *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. 9. Aufl., Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, Deutschland
- Lomb, C. (1984): Die Konzentration von Thyroxin und Trijodthyronin neugeborener Lämmer und ihrer Mütter sowie ihre Beziehung zu der perinatalen Überlebensfähigkeit des Lammes. *Vet. Med. Diss*, Gießen, Deutschland
- Lucius, R. und Loos-Frank, B. (1997): *Parasitologie. Grundlagen für Biologen, Mediziner und Veterinärmediziner*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, S. 236–237
- Lynch, M. (1991): The genetic interpretation of inbreeding depression and outbreeding depression. *Evolution* **45**, 622–629
- Massey, C.J. (1990): *The Australian Merino*. Viking O'Neil, South Yarra, Melbourne
- McDaniel, R.G. and Sarkissian, I.V. (1966): Heterosis: Complementation by mitochondria. *Science*, **152**, 1640–1642
- McDaniel, R.G. and Sarkissian, I.V. (1968): Mitochondrial Heterosis in maize. *Genetics* **59**, 465–475

Literaturverzeichnis

- McEwan, J.C.; Bisset, S.A. and Morris, C.A. (1997): The selection of sheep for natural resistance to internal parasites. In: Sustainable Control of Internal Parasites in Ruminants. S. 161–182 G. K. Barrell, ed. Lincoln Univ., Canterbury, New Zealand.
- McEwan, J.C.; Dodds, K.G.; Greer, G.J.; Bain, W.E.; Duncan, S.J.; Wheeler, R.; Knowler, K.J.; Reid, P.J.; Green, R.S. and Douch, P.G.C. (1995): Genetic estimates for parasite resistance traits in sheep and their correlations with production traits. N. Z. J. Zool. **22**, 177
- McEwan, J.C.; Mason, P.; Baker, R.L.; Clarke, J.N.; Hickey, S.M. and Turner, K. (1992): Effect of selection for productive traits on internal parasite resistance in sheep. Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod. **52**, 53–56
- McLeod, R.S. (1995): Cost of major parasites to the Australian livestock industries. Int. J. Parasitol. **25**, 1363–1367
- Mehlhorn, H. und Piekarski, G. (1998): Grundriß der Parasitenkunde: Parasiten des Menschen und der Nutztiere. 5. Aufl., Fischer Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Michaelis, P. (1951): Plasmavererbung und Heterosis. Z. Pflanzenzücht. **30**, 250–275
- Michel, J.F. (1985): Strategies for the use of anthelmintics in livestock and their implications for the development of drug resistance. Parasitology **90**, 621–628
- Minvielle, F. (1987): Dominance is not necessary for heterosis: a two-locus model. Genet. Res. Camb. **49**, 245–247
- Moritz, E.; Ganter, M. und von Samson-Himmelstjerna, G. (2003): Vorkommen von Benzimidazol-Resistenzen bei Magen-Darm-Strongyliden aus niedersächsischen Schafbeständen. Proceedings of the 8th Meeting ,Krankheiten der Kleinen Wiederkäuer Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Grub/D, 24–25 Juni, 2003. Tierärztliche Praxis **31**, 68
- Morris, C.A.; Watson, T.G.; Bisset, C.A.; Vlassoff, A. and Douch, P.G.C. (1995): Breeding sheep in New Zealand for resistance or resilience to nematode parasites. In: Gray, D.G., Woolaston, R.R., Eaton, B. (Eds.): Breeding for Resistance to Infectious Diseases in Small Ruminants. Australian Centre of International Agricultural Research. Canberra, Australia
- Mugambi, J.M.; Audho, J.O.; Njomo, S. and Baker, R.L. (2005): Evaluation of the phenotypic performance of Red Maasai and Dorper backcross resource population: indoor trickle challenge with *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. **127**, 263–275
- Nathanielsz, P.W. (1969): Plasma thyroxin levels in young lamb from birth to 61 days. J. Endocr. **45**, 475–476

Literaturverzeichnis

- Nitter G. (1978): Breed utilisation for meat production in sheep. *Anim. Breed. Abstr.* **46**, 131–143
- O'Connor L.J.; Walkden-Brown S.W.; Kahn, L.P. (2006): Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. *Vet. Parasitol.* **142**, 1–15
- Oroczo, F. (1976): Heterosis and genotype - environment interaction: theoretical and experimental aspects. *Bulletin Technique, Département de Génétique Animal, Institut National de la Recherche Agronomique* **24**, 43–52
- Outteridge, P.M.; Windon, R.G. and Dinee, J.K. (1985): An association between a lymphocyte antigen in sheep and the response to vaccination against the parasite *Trichostrongylus colubriformis*. *Int. J. Parasitol.* **15**, 121–127
- Outteridge, P.M.; Windon, R.G. and Dinee, J.K. (1988): An ovine lymphocyte antigen marker for acquired resistance to *Trichostrongylus colubriformis*. *Int. J. Parasitol.* **18**, 853–858
- Outteridge, P.M.; Windon, R.G.; Dinee, J.K. and Smith, E.F. (1986): The relationship between ovine lymphocyte antigens and faecal egg count of sheep selected for responsiveness to vaccination against *Trichostrongylus colubriformis*. *Int. J. Parasitol.* **16**, 369–375
- Pérez, J.; García, P.M.; Hernández, S.; Mozos, E.; Cámara, S. and Martínez-Moreno, A. (2003): Experimental haemonchosis in goats: effects of single and multiple infections in the host response. *Vet. Parasitol.* **111**, 333–242
- Perry, B.D. and Randolph, T.F. (1999): Improving the assessment of the economic impact of parasite diseases and their control in production animals. *Vet. Parasitol.* **84**, 145–168
- Peter, C. (2005): Molekulargenetische Charakterisierung von Schafrassen Europas und des Nahen Ostens auf der Basis von Mikrosatelliten. *Vet. Med. Diss., Gießen, Deutschland*
- Piper, L.R. (1987): Genetic variation in resistance to internal parasites. In: McGuirk, B.J. (Eds.): *Merion improvement Programs in Australia*. Australian Wool Corporation, 351–363
- Pocock, M.J.; Eady, S.J. and Abbott, K.A. (1995): Nemesis in action – breeding for worm resistance. *Austr. Assoc. Anim. Breed. Genet.* **11**, 74–78
- Pollott, G.E. and Greeff, J.C. (2004): Genotype x environment interactions and genetic parameters for faecal egg count and production traits of Merino sheep. *J. Anim. Sci.* **82**, 2840–2851

Literaturverzeichnis

- Pollott, G.E.; Karlsson, L.J.; Eady, S. and Greeff, J.C. (2004): Genetic parameters for indicators of host resistance to parasites from weaning to hogget age in Merino sheep. *J. Anim. Sci.* **82**, 2852–2864
- Presson, B.L.; Gray, G.D. and Burgess, S.K. (1988): The effect of immunosuppression with dexamethsone on *Haemonchus contortus* infections in genetically resistant Merino sheep. *Parasite Immunol.* **10**, 675–680
- Raadsma, H.W.; Gray, D. and Woolaston, R.R. (1997a): Genetics of disease resistance and vaccine response. In: Piper, L. and Ruvinsky, A. (Eds.): *The genetics of sheep*. CAP International, Wallingford, England
- Raadsma, H.W.; Nicholas, F.W. and Egerton, J.R. (1997b): Ultimate disease resistance in sheep - what are the relationships between all major diseases? *Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* **12**, 63–67
- Requejo-Fernandez, J.A.; Martinez, A.; Meana, A.; Rojovazquez, F.A.; Osoro, K. and Ortega Mora, L.M. (1997): Anthelmintic resistance in nematode parasites from goats in Spain. *Vet. Parasitol.* **73**, 83–88
- Rigby, M.C.; Hechinger, R.F. and Stevens, L. (2002): Why should parasite resistance be costly? *Trends Parasitol.* **18**, 116–120
- Rommel, M. (2000): Helminthosen der Wiederkäuer. In: Rommel, M.; Eckert, J.; Kuntzer, E.; Körting, W. und Schnieder, T.: *Veterinärmedizinische Parasitologie*. 5. Aufl., Verlag Parey, Berlin, Deutschland, 241–245
- Roos, M.H. (1997): The role of drugs in the control of parasitic nematode infections: must we do without? *Parasitology* **114**, 137–144
- Rothwell, T.L; Pope, S.E.; Collins, G.H. (1989): *Trixacarus caviae* infection of guinea pigs with genetically determined differences in susceptibility to *Trichostrongylus colubriformis* infection. *Int. J. Parasitol.* **19**, 347–348
- Rottmann, O.; Reinhardt, F. und Pirchner, F. (1983): Einfluss von Inzucht und Kreuzung auf die Gewichtsentwicklung von Lämmern. *Züchtungskunde* **55**, 386–395
- Sangster, N.C. (1999); Anthelmintic resistance: past, present and future. *Int. J. Parasitol.* **1**, 115–124
- SAS Institute Inc. (2000): *SAS/STAT User's Guide*, Version 8.1
- Schallig, H.D.F.H. (2000): Immunological responses of sheep to *Haemonchus contortus*. *Parasitology* **120**, 63–72

Literaturverzeichnis

- Schallig, H.D.F.H.; van der Aar, W.M.; Boersema, J.H. and Cornelissen, A.W.C.A. (2000): The effect of oxfendazole terminated infections with *Haemonchus contortus* on the development of immunity in sheep. *Vet. Parasitol.* **88**, 61–72
- Scheunert, A. und Trautmann, A. (1987): Wittke, G. (Hrsg.): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. 7. Aufl., Parey Verlag, Berlin, Deutschland
- Schnell, F.W. (1961): Heterosis und Inzuchtwirkung. Schriftenreihe Max Planck Institut für Tierzucht u. Tierernährung, Sonderb. 251–272, 291–314
- Schnieder, T. (2000): Helminthosen der Wiederkäuer. In: Rommel, M.; Eckert, J.; Kuntzer, E.; Körting, W. und Schnieder, T.: Veterinärmedizinische Parasitologie. 5. Aufl., Verlag Parey, Berlin, Deutschland, 241–245
- Schwaiger, F.-W.; Gostomski, D.; Stear, M.J.; Duncan, J.L.; McKellar, Q.A. and Buitkamp, J. (1995): An ovine major histocompatibility complex DRB1 allele is associated with low faecal egg counts following natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection. *Int. J. Parasitol.* **25**, 815–822
- Scrivner, L.H. (1967): Genetic resistance to Ostertagiasis and Haemonchosis in lambs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **151**, 1443–1446
- Senft, B. (1994): Adaption und Krankheitsresistenz. In: Kräußlich, H. (Hrsg.): Tierzüchtungslehre. 4. Aufl., Verlag Ulmer, Stuttgart, Deutschland
- Sharma, J.S. (1982): Note on heterosis and maternal effects in body weights of lambs. *Indian. J. Anim. Sci.* **52**, 1110–1112
- Sheridan, A.K. (1981): Crossbreeding and heterosis. *Anim. Breed. Abstr.* **49**, 131–144
- Shull, G.H. (1914): Duplicate genes for capsule-form in *Capsella bursa-pastoris*. *Z. indukt. Abstamm.- u. Vererbungslehre.* **12**, 97–149
- Shull, G.H. (1948): What is „heterosis“? *Genetics* **33**, 439–446
- Silberman, D.M.; Wald, M. and Genaro, A.M. (2002): Effects of chronic mild stress on lymphocyte proliferative response. Participation of serum thyroid hormones and corticosterone. *Int. Immunopharmacol.* **2**, 487–497
- Simm, G.; Conington, J.; Bichop, S.C.; Dwyer, C.M. and Pattinson, S. (1996): Genetic selection for extensive conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **49**, 47–59
- Simon, D. (1991): Mehrfaktorielle Klassifizierung von Zuchtmethoden. 42. Jahrestagung EVT Berlin, Kommission für Tiergenetik, IV, 226

Literaturverzeichnis

- Simon, D. (1994): Angewandte Züchtung. In: Kräusslich, H. (Hrsg.): Tierzuchtungslehre. 4. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland
- Snowders, G.D and Duckett, S.L. (2003): Evaluation of the South African Dorper as a terminal sire breed for growth, carcass, and palatability characteristics. *J. Anim. Sci.* **81**, 368–75.
- Sommer, M. (1986): Mitochondrialer Energiestoffwechsel als zellphysiologischer Indikator der Heterosis in Legeleistungsmerkmalen beim Huhn. Gießener Schriftenreihe Tierzucht und Haustiergenetik, **51**, Parey Verlag, Berlin, Deutschland
- Stear, M. and Bishop, S.C. (1999): The curvilinear relationship between worm length and fecundity from *Teladorsagia circumcincta*. *Int. J. Parasitol.* **29**, 777–780
- Stear, M.J.; Park, M. and Bishop, S.C. (1996): The key components of resistance to *Ostertagia circumcincta* in lambs. *Parasitol. Today* **12**, 438–441
- Stear, M.J.; Strain, S. and Bishop, S.C. (1999a): Mechanisms underlying resistance to nematode infection. *Int. J. Parasitol.* **29**, 51–56
- Stear, M.J.; Strain, S. and Bishop, S.C. (1999b): How lambs control infection with *Ostertagia circumcincta*. *Vet. Immunol. Immunopathol.* **72**, 213–218
- Stear, M.; Bairden, K.; Bishop, S.C.; Buitkamp, J.; Duncan, J.L.; Gettinby, G.; Mckellar, Q.A.; Park, M.; Parkins, J.J.; Reid, S.W.J.; Strain, S. and Murray, M. (1997a): The genetic basis of resistance to *Ostertagia circumcincta* in lambs. *Vet. J.* **154**, 111–119
- Stear, M.J.; Bairden, K.; Duncan, J.L.; Holmes, P.H.; Mckellar, Q.A.; Park, M.; Strain, S.; Murray, M.; Bishop, S. C. and Gettinby, G. (1997b): How hosts control worms. *Nature* **27**, 389
- Stear, M.J.; Bishop, S.C.; Doligalska, M.; Duncan, J.L.; Holmes, P.H.; Irvine, J.; Mccririe, L.; Mckellar, Q.A.; Sinski, E. and Murray, M. (1995): Regulation of egg production, worm burden, worm length and worm fecundity by host responses in sheep infected with *Ostertagia circumcincta*. *Parasite Immunol.* **17**, 643–652
- Stoll, N.R. (1929): Studies with the strongyloid nematode *Haemonchus contortus* I. Acquired resistance of hosts under natural reinfection conditions out of doors. *Am. J. Hyg.* **10**, 384–418
- Strittmatter, K. (1994): Qualitätvolles Lammfleisch – wichtigstes Erzeugnis der Schafhaltung und hochwertiges Nahrungsmittel. *REKASAN-Journal* **1**, 37–38
- Strumia, M.M: Zit. nach Merk, E. (1974): *Klinisches Labor.* 12. Aufl., Darmstadt, Deutschland

Literaturverzeichnis

- Van Houtert, M.F.J.; Barger, I.A.; Steel, J.W.; Windon, R.G. and Emery, D.L. (1995): Effects of dietary protein intake on responses of young sheep to infection with *Trichostrongylus colubriformis*. *Vet. Parasitol.* **56**, 163–180
- Van Wyk, J.A. and Bath, G.F. (2002): The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goat by clinically identifying individual animals for treatment. *Vet. Res.* **33**, 509–529
- Van Wyk, J.A.; Stenson, M.O.; Van der Merwe, J.S.; Vorster, R.J. and Viljoen, P.G. (1999): Anthelmintic resistance in South Africa: surveys indicate an extremely serious situation in sheep and goat farming. *Onderstepoort J. Vet. Res.* **66**, 273–284
- Vanimisetti, H.B.; Greiner, S.P.; Zajac, A.M. and Notter, D.R. (2004): Performance of hair sheep composite breeds: resistance of lambs to *Haemonchus contortus*. *J. Anim. Sci.* **82**, 592–604
- Vatta A.F.; Letty B.A.; van der Linde M.J.; van Wijk E.F.; Hansen J.W. and Krecek R.C. (2001): Testing for clinical anaemia caused by *Haemonchus* spp. In goats farmed under resource-poor conditions in South Africa using an eye colour chart developed for sheep. *Vet. Parasitol.* **99**, 1–14
- Verordnung (EWG) Nr. 461/93 der Kommission vom 26. Februar 1993 mit Bestimmungen zum gemeinschaftlichen Handelsklassenschema für Schlachtkörper von Schafen. *ABl. L 49* vom 27.2.1993, 70–74
- Wagner, R.P. (1972): The role of maternal effects in animal breeding: II. Mitochondria and animal inheritance. *J. Anim. Sci.* **35**, 1280–1286
- Wakelin, D.M. (1991): Model systems on the genetic basis of disease resistance. In: Owen, J.B. and Axford, R.F.E. (Eds.): *Breeding for Disease resistance in Farm Animals*. C.A.B. International, Wallingford, New Zealand
- Wakelin, D.M. and Blackwell, J.M. (1988): *Genetics of Resistance to Bacterial and Parasitic Infection*. Taylor and Francis, London, England
- Waller, P.J. (1997): Anthelmintic resistance. *Vet. Parasitol.* **72**, 391–412
- Waller, P.J. (2005): The problem of anthelmintic resistance in nematode parasites of sheep and goats, and the prospects for non-chemotherapeutic methods of control. *EAAP, 56th Annual Meeting, Uppsala, Schweden, Session 33*
- Waller, P.J. and Thamsborg, S.M. (2004): Nematode control in 'green' nematode production systems. *Trends Parasitol.* **20**, 493–497
- Waller, P.J. and Thomas, R.J. (1975): Field studies on inhibition of *Haemonchus contortus* in sheep. *Parasitology* **71**, 285–291

Literaturverzeichnis

- Waller, P.J. and Thomas, R.J. (1981): The natural regulation of *Trichostrongylus* spp. Populations in young grazing sheep. *Vet. Parasitol.* **9**, 47–55
- Waller, P.J.; Rudby-Martin, L., Ljungström B.L.; Rydzik, A. (2004): The epidemiology of abomasal nematodes of sheep in Sweden, with particular reference to over-winter survival strategies. *Vet. Parasitol.* **122**, 207–220
- Waßmuth, R. (1979): Schafzucht. In: Gravert, H.-O.; Waßmuth, R. und Weigner, J.H.: Einführung in die Züchtung, Fütterung und Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Parey, Berlin, Deutschland
- Waßmuth, R. (1983): Die Bedeutung der Geburtsgewichte für die Schafhaltung. *Deutsche Schafzucht* **2**, 24–26
- Waßmuth, R. (1990): Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Schafzucht. *Züchtungskunde* **62**, 431–440
- Watson, T.G.; Hosking, R.; Hurford, A.P. and Mather, B. (1992): Developments in breeding Perendale sheep for resistance or susceptibility to internal nematode parasites. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **52**, 61–64
- Wenzlaff, O. (1988): Fruchtbarkeit und Vitalität beim Schaf. Vermuteter Merkmalsantagonismus unter besonderer Berücksichtigung von Schilddrüsenfunktion und Gluthationsstoffwechsel. Gießener Schriftenreihe Tierzucht und Haustiergenetik **52**, Parey Verlag, Berlin, Deutschland
- Whitlock, H.V. (1948): Some modification of the McMaster helminth egg-counting technique apparatus. *J. Counc. Sci. Ind. Res.* **21**, 177–180
- Williamson, J.F.; Blair, H.T.; Garrick, D.J.; Pomroy, W.E. and Douch P.G.C. (1994): The relationship between internal parasite burdens, faecal egg count, and mucosal mast cells in fleeceweight-selected and control sheep. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* **54**, 9–14
- Windon, R.G. (1991a): Genetic control of host responses involved in resistance to the gastrointestinal nematodes of sheep. In: Axford, R.F.E. and Owen, J.B. (Eds.): *Breeding for Disease Resistance in Farm Animals*. CAB International, Wallingford, 162–186
- Windon, R.G. (1991b): Resistance mechanism in the *Trichostrongylus* selection flock. In: Gray, G.D and Woolaston, R.R. (Eds.): *Breeding for disease resistance in sheep*. Austral. Wool Cooperation. Melbourne, 77–86
- Windon, R.G. (1996): Genetic control of resistance to helminths in sheep. *Vet. Immunol. Immunopathol.* **54**, 245–254

Literaturverzeichnis

- Wojtowski, J.; Sonnen, A. und Waßmuth, R. (1990): Genetische und nicht genetische Einflüsse auf die Lebendmassenentwicklung von Lämmern der Merinoland- und Rhönschafzuchten. *Züchtungskunde* **62**, 234–240
- Wollny, C. (1985): Untersuchungen über vermutete Merkmalsanalogismen beim Schaf am Beispiel der Beziehung zwischen Milchleistung und Schilddrüsenparametern. *Vet. Med. und Tierzucht Diss*, Gießen, Deutschland
- Wood, I.B.; Amaral, N.K.; Bairden, K.; Duncan, J.L.; Kassai, T.; Malone, J.B., Jr.; Panakavich, J.A.; Reinecke, R.K.; Slocombe, O.; Taylor, S.M. and Vercruyse, J. (1995): World Association for the Advancement of Vet. Parasitol. (W.A.A.V.P) second edition of guidelines for evaluation the efficiency of anthelmintics in ruminants (bovine, ovine, caprine). *Vet. Parasitol.* **58**, 181–213
- Woolaston, R.R. and Baker, R.L. (1996): Prospects of Breeding Small Ruminates for Resistance to Internal Parasites. *Int. J. Parasitol.* **26**, 845–855
- Woolaston, R.R. and Eady, S.J. (1995): Australian research on genetic resistance to nematode parasites. In: Gray, D.G.; Woolaston, R.; Eaton, B. (Eds.): *Breeding for Resistance to Infectious Diseases in Small Ruminates*. Australian Centre of International Agricultural Research. Canberra, Australia, 1–12
- Woolaston, R.R. and Piper, L.R. (1996): Selection of Merino sheep for resistance to *Haemonchus contortus*: genetic variation. *Anim. Sci.* **62**, 451–456
- Woolaston, R.R.; Barger, I.A. and Piper, L.R. (1990): Response to Helminth infection of sheep selected for resistance to *Haemonchus contortus*. *Int. J. Parasitol.* **20**, 1015–1018
- Yazwinski, A.T.; Goode, L.; Moncol, D.J.; Morgan, G.W. and Linnerud, A.C. (1979): Parasite resistance in straight bred and crossbred Barbados Blackbelly sheep. *J. Anim. Sci.* **49**, 919–926

9 Anhang

Tabelle 39: Korrelationen des FAMACHA[®]-Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen p.i. bei der Rasse Rhönschaf

Parameter	FAMACHA [®] - Score		FAMACHA [®] - Score	
	(4 Wochen p.i.)		(8 Wochen p.i.)	
LogEpG (4 Wochen p.i.)	0,49	***	0,30	*
LogEpG (8 Wochen p.i.)	0,26	*	0,23	n.s.
gesamt Wurmzahl	0,28	*	0,24	n.s.
Hämatokrit (4 Wochen p.i.)	-0,58	***	-0,29	*
Hämatokrit (8 Wochen p.i.)	-0,29	*	-0,22	n.s.
Gewicht (19./17. Lebenswoche)	-0,22	n.s.	-0,16	n.s.
Gewicht (23./21. Lebenswoche)	0,32	**	-0,09	n.s.
Dag Score (4 Wochen p.i.)	0,19	n.s.	0,16	n.s.
Dag Score (8 Wochen p.i.)	0,25	n.s.	0,10	n.s.
FAMACHA [®] -Score (4 Wochen p.i.)			0,32	**

Tabelle 40: Korrelationen des FAMACHA[®]-Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen p.i. bei der Rasse Merinolandschaf

Parameter	FAMACHA [®] - Score		FAMACHA [®] - Score	
	(4 Wochen p.i.)		(8 Wochen p.i.)	
LogEpG (4 Wochen p.i.)	0,31	*	0,16	n.s.
LogEpG (8 Wochen p.i.)	0,27	n.s.	0,15	n.s.
gesamt Wurmzahl	0,39	**	0,23	n.s.
Hämatokrit (4 Wochen p.i.)	-0,47	***	-0,34	*
Hämatokrit (8 Wochen p.i.)	-0,37	*	-0,30	*
Gewicht (19./17. Lebenswoche)	-0,21	n.s.	-0,23	n.s.
Gewicht (23./21. Lebenswoche)	-0,30	*	-0,26	n.s.
Dag Score (4 Wochen p.i.)	0,39	*	0,24	n.s.
Dag Score (8 Wochen p.i.)	0,64	***	0,44	**
FAMACHA [®] -Score (4 Wochen p.i.)			0,57	***

Anhang

Tabelle 41: Korrelationen des FAMACHA[®]-Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen p.i. bei der Kreuzung Rhönschaf x Merinolandschaf (Rh x Ml)

Parameter	FAMACHA [®] - Score		FAMACHA [®] - Score	
	(4 Wochen p.i.)		(8 Wochen p.i.)	
LogEpG (4 Wochen p.i.)	0,07	n.s.	0,18	*
LogEpG (8 Wochen p.i.)	0,08	n.s.	0,18	*
gesamt Wurmzahl	0,08	n.s.	0,22	*
Hämatokrit (4 Wochen p.i.)	-0,27	***	-0,27	***
Hämatokrit (8 Wochen p.i.)	-0,12	n.s.	-0,30	***
Gewicht (19./17. Lebenswoche)	-0,07	n.s.	-0,12	n.s.
Gewicht (23./21. Lebenswoche)	-0,10	n.s.	-0,14	n.s.
Dag Score (4 Wochen p.i.)	0,08	n.s.	0,13	n.s.
Dag Score (8 Wochen p.i.)	0,15	n.s.	0,18	*
FAMACHA [®] -Score (4 Wochen p.i.)			0,24	**

Tabelle 42: Korrelationen des FAMACHA[®]-Scores mit Parametern der Parasitenresistenz 4 und 8 Wochen p.i. bei der Kreuzung Merinolandschaf x Rhönschaf (Ml x Rh)

Parameter	FAMACHA [®] - Score		FAMACHA [®] - Score	
	(4 Wochen p.i.)		(8 Wochen p.i.)	
LogEpG (4 Wochen p.i.)	0,06	n.s.	0,14	n.s.
LogEpG (8 Wochen p.i.)	0,05	n.s.	0,16	*
gesamt Wurmzahl	0,17	n.s.	0,21	*
Hämatokrit (4 Wochen p.i.)	-0,35	***	-0,28	***
Hämatokrit (8 Wochen p.i.)	-0,16	*	-0,39	***
Gewicht (19./17. Lebenswoche)	-0,19	*	-0,02	n.s.
Gewicht (23./21. Lebenswoche)	-0,24	**	-0,01	n.s.
Dag Score (4 Wochen p.i.)	0,07	n.s.	0,19	*
Dag Score (8 Wochen p.i.)	0,16	n.s.	0,22	**
FAMACHA [®] -Score (4 Wochen p.i.)			0,20	*

Anhang

Tabelle 43: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler von Hämatokrit, FAMACHA®-Score und Dag Score beim Absetzen der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x Ml bzw. Ml x Rh

		FAMACHA®		
		Hämatokrit	- Score	Dag Score
Merinolandschaf	n	25	25	16
	LSQ	0,35	1,04	1,56
	SE	0,019	0,200	0,512
Rhönschaf	n	37	37	27
	LSQ	0,34	1,05	1,41
	SE	0,029	0,229	0,572
RhxMl	n	132	136	106
	LSQ	0,35	1,15	1,44
	SE	0,034	0,383	0,570
MlxRh	n	80	80	58
	LSQ	0,35	1,16	1,47
	SE	0,023	0,404	0,627

Anhang

Tabelle 44: Differenzen der Parameter Hämatokrit, FAMACHA©-Score, und Dag Score zu den Proben 4 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh

		Hämatokrit Differenz 4 Wochen p.i.	FAMACHA© - Score Differenz 4 Wochen p.i.	Dag Score Differenz 4 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	24	24	13
	LSQ	-0,05	0,50	0,11
	SE	0,009	0,183	0,165
Rhönschaf	n	37	37	22
	LSQ	-0,05	0,86	0,21
	SE	0,007	0,157	0,137
Rh x MI	n	132	134	101
	LSQ	-0,04	0,57	-0,01
	SE	0,004	0,087	0,073
MI x Rh	n	79	80	54
	LSQ	-0,05	0,75	0,08
	SE	0,005	0,103	0,088
genetische Unterschiede		n.s.	n.s.	n.s.
Vergl. Innerhalb der Elternrassen		n.s.	n.s.	n.s.
Vergl. Innerhalb der reziproken Kreuzungslämmern		n.s.	n.s.	n.s.
Signifikanz			n.s.	

Anhang

Tabelle 45: Differenzen der Parameter Hämatokrit, FAMACHA®-Score und Dag Score zu den Proben 8 Wochen p.i. der Rassen Merinolandschaf, Rhönschaf und deren reziproken Kreuzungen Rh x MI bzw. MI x Rh

		Hämatokrit Differenz 8 Wochen p.i.	FAMACHA® - Score Differenz 8 Wochen p.i.	Dag Score Differenz 8 Wochen p.i.
Merinolandschaf	n	24	24	13
	LSQ	-0,05	0,22	0,12
	SE	0,009	0,179	0,232
Rhönschaf	n	24	24	13
	LSQ	-0,04	0,84	0,50
	SE	0,008	0,153	0,170
Rh x MI	n	37	37	32
	LSQ	-0,05	0,41	-0,02
	SE	0,004	0,085	0,102
MI x Rh	n	132	134	101
	LSQ	-0,06	0,76	0,25
	SE	0,005	0,101	0,113
genetische Unterschiede		n.s.	n.s.	n.s.
Vergl. Innerhalb der Elternrassen		n.s.	**	n.s.
Vergl. Innerhalb der reziproken Kreuzungslämmern		n.s.	**	*
Signifikanz		Rasse*	Rasse**	Rasse*

Anhang

Tabelle 46: Verpaarung der Rasse Merinolandschaf mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer und deren Geburtsdatum

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
1119	103	w 686	13.02.2003
1142	103	w 696	15.02.2003
208	103	w 697	15.02.2003
208	103	w 698	15.02.2003
075	103	w 701	15.02.2003
1149	103	w 706	15.02.2003
265	103	w 720	17.02.2003
0112	103	w 724	17.02.2003
0112	103	w 725	17.02.2003
1144	103	w 730	18.02.2003
1144	103	w 731	18.02.2003
1117	103	w 732	18.02.2003
1117	103	w 733	18.02.2003
1101	103	w 740	18.02.2003
0126	103	w 744	18.02.2003
1124	103	w 746	19.02.2003
1141	103	w 747	19.02.2003
0145	103	w 753	19.02.2003
1124	103	w 756	19.02.2003
0132	103	w 3	24.02.2003
1149	103	w 707	15.02.2003
1102	103	w 20	03.03.2003
0149	103	w 40	08.03.2003
1134	103	r 380	21.02.2004
313	103	r 388	23.02.2004
313	103	r 389	23.02.2004
2137	103	r 403	24.02.2004
0164	103	r 405	24.02.2004
2103	103	r 431	27.02.2004
2103	103	r 432	27.02.2004
0145	103	r 435	27.02.2004
0163	103	r 437	28.02.2004
0163	103	r 438	28.02.2004
8108	F107	r 454	09.03.2004
8108	F107	r 455	09.03.2004
0107	F107	r 322	18.02.2004
0174	2700	r 54	02.01.2004
1105	2700	r 78	05.01.2004
1105	2700	r 79	05.01.2004
0112	2700	r 87	07.01.2004
0127	2700	r 122	12.01.2004
1126	2700	r 135	14.01.2004
0147	2700	r 155	17.01.2004
0147	2700	r 156	17.01.2004
1148	2700	r 185	23.01.2004
0142	2700	r 232	12.02.2004
1117	2700	r 337	19.02.2004
1117	2700	r 338	19.02.2004

Anhang

Tabelle 47: Verpaarung der Rasse Rhönschaf mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer und deren Geburtsdatum

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
140	EL8	r 208	31.01.2004
140	EL8	r 209	31.01.2004
726	EL8	r 239	13.02.2004
726	EL8	r 240	13.02.2004
110	EL8	r 257	13.02.2004
110	EL8	r 258	13.02.2004
02	EL8	r 243	14.02.2004
02	EL8	r 244	14.02.2004
209	EL8	r 253	15.02.2004
05	EL8	r 340	19.02.2004
120	EL8	r 344	19.02.2004
719	EL8	r 382	21.02.2004
524	EL8	r 384	22.02.2004
731	EL8	r 391	23.02.2004
131	EL8	r 394	23.02.2004
832	G52	w 722	17.02.2003
832	G52	w 723	17.02.2003
1115	G52	w 790	23.02.2003
137	G52	w 9	27.03.2003
06	G52	w 797	24.02.2003
104	G52	w 30	07.03.2003
212	G52	r 213	10.02.2004
108	G52	r 235	12.02.2004
108	G52	r 236	12.02.2004
929	G52	r 272	16.02.2004
929	G52	r 273	16.02.2004
227	G52	r 321	18.02.2004
804	G52	r 329	18.02.2004
722	G52	r 354	20.02.2004
722	G52	r 355	20.02.2004
018	G52	r 390	23.02.2004
06	G52	r 402	23.02.2004
022	OH98	w 702	15.02.2003
122	OH98	w 712	16.02.2003
1116	OH98	w 737	18.02.2003
1116	OH98	w 738	18.02.2003
123	OH98	w 750	19.02.2003
142	OH98	w 755	19.02.2003
833	OH98	w 711	16.02.2003
015	OH98	w 768	20.02.2003
839	OH98	w 795	24.02.2003
002	OH98	w 5	25.02.2003
933	OH98	w 787	22.02.2003
113	OH98	w 49	10.03.2003
113	OH98	w 50	10.03.2003

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
123	OH98	r 219	10.02.2004
123	OH98	r 220	10.02.2004
019	OH98	r 341	19.02.2004
019	OH98		19.02.2004
934	OH98	r 392	23.02.2004
934	OH98	r 393	23.02.2004
8101	R3	w 729	18.02.2003
023	R3	w 741	18.02.2003
702	R3	w 742	18.02.2003
838	R3	w 715	17.02.2003
715	R3	w 25	04.03.2003
720	R3	w 41	09.03.2003
720	R3	w 42	09.03.2003
502	R3	r 327	16.02.2004
502	R3	r 328	16.02.2004
026	R3	r 292	17.02.2004
026	R3	r 293	17.02.2004
028	R3	r 367	21.02.2004
028	R3	r 368	21.02.2004
023	R3	r 386	22.02.2004
2147	unbek.	r 420	26.02.2004
103	W33	w 703	15.02.2003
103	W33	w 704	15.02.2003
819	W33	w 713	16.02.2003
001	W33	w 749	19.02.2003
021	W33	w 716	17.02.2003
021	W33	w 717	17.02.2003
003	W33	w 791	23.02.2003
102	W33	w 45	09.03.2003
102	W33	w 46	09.03.2003
605	W33	w 48	09.03.2003
834	W33	r 280	17.02.2004
834	W33	r 281	17.02.2004
021	W33	r 351	20.02.2004
505		r 212	09.02.2004

Anhang

Tabelle 48: Verpaarung der Rassen Rhönschaf (Bock) und Merinolandschaf (Mutter) mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer (RhxMI) und deren Geburtsdatum

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
2136	EL8	r 45	01.01.2004
2134	EL8	r 46	01.01.2004
2134	EL8	r 47	01.01.2004
0159	EL8	r 50	02.01.2004
2105	EL8	r 61	03.01.2004
2105	EL8	r 62	03.01.2004
0113	EL8	r 76	05.01.2004
0113	EL8	r 77	05.01.2004
1115	EL8	r 80	05.01.2004
1115	EL8	r 81	05.01.2004
2126	EL8	r 82	05.01.2004
2126	EL8	r 83	05.01.2004
2127	EL8	r 94	07.01.2004
2127	EL8	r 95	07.01.2004
2141	EL8	r 111	09.01.2004
2141	EL8	r 112	09.01.2004
0114	EL8	r 116	10.01.2004
0114	EL8	r 117	10.01.2004
1144	EL8	r 132	13.01.2004
1144	EL8	r 133	13.01.2004
1144	EL8	r 134	13.01.2004
1132	EL8	r 136	14.01.2004
1132	EL8	r 137	14.01.2004
2120	EL8	r 145	15.01.2004
2144	EL8	r 153	17.01.2004
2144	EL8	r 154	17.01.2004
1133	EL8	r 177	21.01.2004
1133	EL8	r 178	21.01.2004
0172	EL8	r 181	23.01.2004
1162	EL8	r 183	23.01.2004
1162	EL8	r 184	23.01.2004
2135	EL8	r 188	24.01.2004
2119	EL8	r 203	31.01.2004
2119	EL8	r 204	31.01.2004
2107	G52	r 48	02.01.2004
2102	G52	r 57	03.01.2004
0153	G52	r 65	04.01.2004
0149	G52	r 68	04.01.2004
0149	G52	r 69	04.01.2004
1124	G52	r 98	08.01.2004
0118	G52	r 123	12.01.2004
0118	G52	r 124	12.01.2004
1153	G52	r 127	12.01.2004
1153	G52	r 129	12.01.2004
2114	G52	r 131	13.01.2004

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
0187	G52	r 158	17.01.2004
0187	G52	r 159	17.01.2004
0126	G52	r 161	19.01.2004
0126	G52	r 162	19.01.2004
2149	G52	r 165	20.01.2004
2109	G52	r 166	20.01.2004
2109	G52	r 167	20.01.2004
1127	G52	r 168	20.01.2004
1127	G52	r 169	20.01.2004
1127	G52	r 170	20.01.2004
0186	G52	r 179	22.01.2004
2147	G52	r 190	24.01.2004
2147	G52	r 191	24.01.2004
1160	G52	r 205	31.01.2004
1160	G52	r 206	31.01.2004
0186	G52	r 180	22.01.2004
2131	G52	r 96	08.01.2004
1154	OH98	w 28	06.03.2003
1118	OH98	r 58	03.01.2004
1118	OH98	r 59	03.01.2004
1167	OH98	r 60	03.01.2004
6106	OH98	r 72	05.01.2004
1110	OH98	r 74	05.01.2004
1110	OH98	r 75	05.01.2004
0169	OH98	r 88	07.01.2004
0169	OH98	r 89	07.01.2004
1140	OH98	r 90	07.01.2004
1140	OH98	r 91	07.01.2004
1152	OH98	r 97	08.01.2004
2145	OH98	r 106	08.01.2004
2145	OH98	r 107	08.01.2004
1159	OH98	r 141	15.01.2004
1159	OH98	r 142	15.01.2004
0152	OH98	r 149	16.01.2004
0152	OH98	r 150	16.01.2004
0143	OH98	r 171	21.01.2004
0143	OH98	r 172	21.01.2004
0143	OH98	r 173	21.01.2004
6105	OH98	r 186	23.01.2004
6105	OH98	r 187	23.01.2004
0134	OH98	r 193	25.01.2004
0134	OH98	r 194	25.01.2004
0140	OH98	r 200	29.01.2004
0109	R3	r 51	02.01.2004
0109	R3	r 52	02.01.2004

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
0120	R3	r 56	03.01.2004
2146	R3	r 63	04.01.2004
2146	R3	r 64	04.01.2004
0132	R3	r 66	04.01.2004
0132	R3	r 67	04.01.2004
0115	R3	r 84	06.01.2004
0170	R3	r 92	07.01.2004
0170	R3	r 93	07.01.2004
2148	R3	r 99	08.01.2004
2148	R3	r 100	08.01.2004
2128	R3	r 102	08.01.2004
2125	R3	r 104	08.01.2004
2125	R3	r 105	08.01.2004
1102	R3	r 108	08.01.2004
1102	R3	r 109	08.01.2004
1102	R3	r 110	08.01.2004
2116	R3	r 118	10.01.2004
2116	R3	r 119	10.01.2004
1143	R3	r 120	11.01.2004
1143	R3	r 121	11.01.2004
1128	R3	r 163	19.01.2004
1120	R3	r 192	25.01.2004
2110	R3	r 195	27.01.2004
2110	R3	r 196	27.01.2004
1149	R3	r 199	28.01.2004
1142	R3	r 202	31.01.2004
662	610	w 76	15.04.2003
662	610	w 77	15.04.2003
114	610	w 78	15.04.2003
114	610	w 79	15.04.2003
508	610	w 81	15.04.2003
933	610	w 82	17.04.2003
181	610	w 83	17.04.2003
151	610	w 85	17.04.2003
0167	610	w 86	21.04.2003
0167	610	w 87	21.04.2003
752	610	w 88	23.04.2003
752	610	w 89	23.04.2003
634	610	w 90	26.04.2003
702	610	w 94	02.05.2003
702	610	w 95	02.05.2003
2133	610	w 96	02.05.2003
2133	610	w 97	02.05.2003
2144	610	w 99	11.05.2003
2144	610	w 100	11.05.2003

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
1128	803	w 7	26.03.2003
1128	803	w 8	26.03.2003
1139	803	w 770	21.02.2003
261	803	w 786	22.02.2003
1140	803	w 793	23.02.2003
0171	803	w 14	26.03.2003
0148	803	w 43	09.03.2003
237	803	w 57	12.03.2003
077	803	w 58	15.03.2003
112	803	w 61	17.03.2003
2126	803	w 62	18.03.2003
252	803	w 65	22.03.2003
252	803	w 66	22.03.2003
243	803	w 67	26.03.2003
966	803	w 69	11.04.2003
158	803	w 70	11.04.2003
709	803	w 71	11.04.2003
709	803	w 72	11.04.2003
083	803	w 73	11.04.2003
0111	W33	r 70	04.01.2004
0111	W33	r 71	04.01.2004
1141	W33	r 103	08.01.2004
1125	W33	r 125	12.01.2004
1125	W33	r 126	12.01.2004
1108	W33	r 143	15.01.2004
1108	W33	r 144	15.01.2004
1109	W33	r 147	16.01.2004
1109	W33	r 148	16.01.2004
1103	W33	r 151	16.01.2004
1103	W33	r 152	16.01.2004
0161	W33	r 160	19.01.2004
1125	W33	r 174	21.01.2004
1125	W33	r 175	21.01.2004
1125	W33	r 176	21.01.2004
2139	W33	r 197	28.01.2004
2139	W33	r 198	28.01.2004
0150	W33	r 207	01.02.2004
1103	W33	r 372	21.02.2004
1103	W33	r 373	21.02.2004
0155		r 139	15.01.2004

Anhang

Tabelle 49: Verpaarung der Rassen Rhönschaf (Bock) und Merinolandschaf (Mutter) mit Tieridentifikationsnummer der Mutterschafe, der Böcke sowie der Lämmer (RhxMI) und deren Geburtsdatum

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
8112	103	r 469	26.03.2004
0126	1712	r 214	10.02.2004
0126	1712	r 215	10.02.2004
8114	1712	r 228	12.02.2004
8114	1712	r 229	12.02.2004
6103	1712	r 261	16.02.2004
9102	1712	r 271	16.02.2004
9102	1712	r 279	16.02.2004
1114	1712	r 285	17.02.2004
0128	1712	r 319	18.02.2004
0128	1712	r 320	18.02.2004
9117	1712	r 345	20.02.2004
9117	1712	r 346	20.02.2004
555	1712	r 369	21.02.2004
555	1712	r 370	21.02.2004
8126	1712	r 381	21.02.2004
8125	1712	r 401	23.02.2004
1110	1712	r 416	26.02.2004
1110	1712	r 417	26.02.2004
8118	1712	r 427	27.02.2004
8118	1712	r 428	27.02.2004
0104	2700	r 217	10.02.2004
0104	2700	r 218	10.02.2004
1123	2700	r 263	16.02.2004
8116	2700	r 286	17.02.2004
8116	2700	r 287	17.02.2004
1120	F107	r 216	10.02.2004
9101	F107	r 223	10.02.2004
1101	F107	r 226	11.02.2004
1101	F107	r 227	11.02.2004
0107	F107	r 259	13.02.2004
0107	F107	r 260	13.02.2004
1119	F107	r 262	16.02.2004
1112	F107	r 302	18.02.2004
1112	F107	r 303	18.02.2004
9116	F107	r 307	18.02.2004
9116	F107	r 308	18.02.2004
8111	F107	r 333	19.02.2004
8111	F107	r 334	19.02.2004
9114	F107	r 376	21.02.2004
1113	F107	r 445	29.02.2004
6106	F107	r 463	17.03.2004
7104	F107	r 466	18.03.2004
7104	F107	r 467	18.03.2004
0101	K823	r 237	13.02.2004
0105	K823	r 238	13.02.2004

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
0120	K823	r 245	14.02.2004
0133	K823	r 288	17.02.2004
0133	K823	r 289	17.02.2004
8106	K823	r 297	17.02.2004
8113	K823	r 301	18.02.2004
6104	K823	r 304	18.02.2004
6104	K823	r 306	18.02.2004
2102	K823	r 314	18.02.2004
2102	K823	r 315	18.02.2004
9132	K823	r 316	18.02.2004
0121	K823	r 336	19.02.2004
0119	K823	r 347	20.02.2004
0119	K823	r 348	20.02.2004
0134	K823	r 363	21.02.2004
0134	K823	r 364	21.02.2004
1125	K823	r 398	23.02.2004
1125	K823	r 399	23.02.2004
9105	K823	r 436	28.02.2004
9129	K823	r 456	10.03.2004
0140	K823	r 464	17.03.2004
7104	5110	w 18	01.03.2003
7104	5110	w 19	01.03.2003
0129	5110	w 21	03.03.2003
0129	5110	w 22	03.03.2003
0131	5110	w 27	05.03.2003
555	5110	w 31	07.03.2003
9105	5110	w 32	07.03.2003
9105	5110	w 33	07.03.2003
505	5110	w 39	08.03.2003
1123	5110	w 51	11.03.2003
1123	5110	w 52	11.03.2003
6106	5110	w 53	11.03.2003
6106	5110	w 54	11.03.2003
9101	772	w 651	06.02.2003
0133	772	w 652	06.02.2003
0133	772	w 653	06.02.2003
0112	772	w 654	07.02.2003
0112	772	w 655	07.02.2003
9114	772	w 656	07.02.2003
9121	772	w 657	08.02.2003
104	772	w 658	08.02.2003
0113	772	w 659	08.02.2003
8118	772	w 661	08.02.2003
7112	772	w 662	08.02.2003

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
7112	772	w 663	08.02.2003
9117	772	w 664	09.02.2003
9117	772	w 665	09.02.2003
9109	772	w 666	10.02.2003
9121	772	w 668	10.02.2003
0107	772	w 669	10.02.2003
0107	772	w 670	10.02.2003
0134	772	w 671	11.02.2003
8116	772	w 672	11.02.2003
8116	772	w 673	11.02.2003
9124	772	w 674	11.02.2003
9124	772	w 676	11.02.2003
9116	772	w 678	12.02.2003
9116	772	w 679	12.02.2003
9116	772	w 680	12.02.2003
8120	772	w 681	12.02.2003
8120	772	w 682	12.02.2003
0127	772	w 683	12.02.2003
0121	772	w 684	13.02.2003
0121	772	w 685	13.02.2003
0117	772	w 688	14.02.2003
0117	772	w 689	14.02.2003
6104	772	w 691	14.02.2003
8106	772	w 700	15.02.2003
6103	772	w 726	17.02.2003
8108	772	w 735	18.02.2003
8114	772	w 1	24.02.2003
8114	772	w 2	24.02.2003
614	772	w 4	24.02.2003
504	772	w 6	25.02.2003
0128	772	w 11	26.02.2003
1103	772	w 12	26.02.2003
1103	772	w 13	26.02.2003
6105	772	w 758	20.02.2003
1125	772	w 759	20.02.2003
0123	772	w 760	20.02.2003
0123	772	w 761	20.02.2003
0118	772	w 762	20.02.2003
0118	772	w 763	20.02.2003
8111	772	w 765	20.02.2003
8126	772	w 766	20.02.2003
8126	772	w 767	20.02.2003
603	772	w 774	21.02.2003
0126	772	w 777	21.02.2003
0126	772	w 778	21.02.2003

Anhang

Tiernr. Mutter	Tiernr. Bock	Tiernr. Lamm	Geburtsdatum
6103	772	w 784	22.02.2003
1122	772	w 788	22.02.2003
0102	772	w 796	24.02.2003
8105	772	w 799	24.02.2003
8105	772	w 800	24.02.2003
9108	772	w 16	01.03.2003
9108	772	w 17	01.03.2003
0119	772	w 34	07.03.2003
0119	772	w 35	07.03.2003
1101	772	w 36	07.03.2003
0102	OH267	r 256	14.02.2004
9104	OH267	r 267	16.02.2004
9104	OH267	r 268	16.02.2004
1122	OH267	r 274	16.02.2004
0113	OH267	r 298	17.02.2004
0117	OH267	r 330	19.02.2004
0117	OH267	r 331	19.02.2004
8101	OH267	r 352	20.02.2004
7106	OH267	r 356	20.02.2004
7106	OH267	r 357	20.02.2004
2101	OH267	r 358	20.02.2004
8108	OH267	r 359	20.02.2004
1118	OH267	r 421	27.02.2004
1118	OH267	r 422	27.02.2004
1111	OH267	r 447	03.03.2004
1111	OH267	r 448	03.03.2004
6101	OH267	r 458	12.03.2004
9121	OH267	r 461	15.03.2004
6010	unbek.	r 360	20.02.2004

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. G. Erhardt für die Überlassung des Themas und für die konstruktive Kritik bei der Durchsicht des Manuskripts.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Gauly für die Betreuung der Arbeit sowie seine großartige Hilfsbereitschaft.

Herrn PD. Dr. H. Brandt danke ich für die statistische Auswertung der Daten und die Beantwortung vieler (statistischer) Fragen.

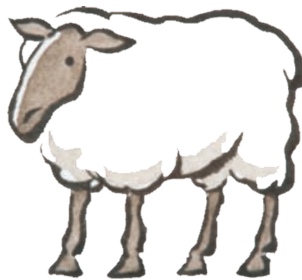
Für die wesentliche Unterstützung bei der Versuchsdurchführung möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Tierzucht und Haustiergenetik auf dem Oberen Hardthof bedanken: Therese Bauer, Anja Scheuermann und Stefan Mandler.

Nicht zu letzt seien Herrn Winfried Wöhle und Herrn Klaus Pöschel sowie meinem Vater, Horst Hielscher für die redaktionelle Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

Dank auch meiner Mutter und meinen Freunden, die nicht müde wurden, mir Kraft und Aufmunterung zu schenken sowie meinem Mann Bernd, der darüber hinaus unzählige Stunden auf mich verzichten musste.

Die Untersuchung wurde aus den Mitteln des SFB 299 der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ durchgeführt und finanziert.

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN 3-8359-5383-4

