

A. Reza Sharifi

Reproduktives Adaptationsvermögen von Broiler-Muttertieren bei hohen Umwelttemperaturen unter Nutzung spezieller Majorgene

Reproductive adaptability of broiler dams carrying special major genes under high environmental temperatures



Cuvillier Verlag Göttingen

**Reproduktives Adaptationsvermögen von Broiler-Muttertieren bei hohen
Umwelttemperaturen unter Nutzung spezieller Majorgene**

**Reproductive adaptability of broiler dams carrying special major genes
under high environmental temperatures**

D i s s e r t a t i o n

**zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum agriculturarum
(Dr. rer. agr.)**

eingereicht an der

**Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu
Berlin**

von

Dipl.-Ing. Agr. A. Reza Sharifi

**Präsident
der Humboldt-Universität zu Berlin**
Prof. Dr. Jürgen Mlynek

**Dekan
der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät**
Prof. Dr. Uwe Nagel

Gutachter: 1. Prof. Dr. P. Horst
2. Prof. Dr. A. Valle Zarate
3. Prof. Dr. W. Schlote

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 2004

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2004

Zugl.: Berlin, Univ., Diss., 2004

ISBN 3-86537-145-0

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2004

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2004

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 3-86537-145-0

Meiner Ehefrau Reinhild und unserem Sohn gewidmet

1.	Einleitung.....	1
2.	Literaturübersicht.....	5
2.1	Maternale Umwelt.....	5
2.1.1	Legeleistung	5
2.1.1.1	Einfluss von Umwelttemperatur und Fütterungsniveau auf die sexuelle Reife.....	5
2.1.1.2	Einfluss der Umwelttemperatur auf die Legeleistung	6
2.1.1.3	Einfluss von Fütterungsniveau und Körpergewicht auf die Legeleistung	6
2.1.2	Merkmale der Eiqualität.....	7
2.1.2.1	Einfluss der Umwelttemperatur.....	8
2.1.2.2	Einfluss von Körpergewicht und Fütterungsniveau	12
2.1.2.3	Einfluss des Alters der Zuchthennen	13
2.1.3	Merkmalskomplex der Fertilität.....	14
2.1.3.1	Einfluss der Umwelttemperatur.....	17
2.1.3.2	Einfluss des Alters der Zuchthennen	21
2.1.3.3	Auswirkung von Eiquälitätsmerkmalen	23
2.1.3.4	Auswirkung der Legeintensität und der Position des Eies in der Legeserie.....	24
2.1.3.5	Körpergewicht der Hennen und Fütterungsniveau	25
2.1.4	Merkmalskomplex der Embryonalentwicklung und Schlupffähigkeit.....	27
2.1.4.1	Embryonalentwicklung.....	27
2.1.4.1.1	Zeitpunkt der embryonalen Mortalität.....	28
2.1.4.1.2	Embryonale Fehlstellung.....	28
2.1.4.2	Merkmalskomplex der Schlupffähigkeit	31
2.1.4.2.1	Maternale Umwelttemperatur.....	31
2.1.4.2.2	Einfluss des Alters der Zuchthennen	33
2.1.4.2.3	Eigewicht und Eifractionen.....	35
2.1.4.2.4	Körpergewicht der Hennen und Fütterungsniveau	36
2.1.4.2.5	Legeintensität und die Position des Eies in der Legeserie.....	37
2.1.4.2.6	Einfluss der Eischalendurchlässigkeit auf die Respiration und embryonale Stoffwechselaktivität	38
2.1.5	Anzahl Küken je Anfangshenne und Kükengewicht	46
2.1.5.1	Anzahl Küken je Anfangshenne	46
2.1.5.2	Kükengewicht.....	47
2.2	Vorbrut- und Brutumwelt.....	49
2.2.1	Auswirkung der Vorbrutlagerung auf die Schlupffähigkeit.....	49
2.2.2	Einflüsse während der Brut auf den Schlupferfolg	51
2.3	Auswirkung der tropenrelevanten Majorgene	53

2.3.1	Komponenten der Legeleistung	53
2.3.1.1	Zwerggen (dw).....	53
2.3.1.2	Nackthalsgen (Na).....	55
2.3.1.3	Lockengen (F).....	57
2.3.2	Merkmale der Eiqualität.....	58
2.3.2.1	Zwerggen (dw).....	58
2.3.2.2	Nackthalsgen (Na).....	59
2.3.2.3	Lockengen (F).....	61
2.3.3	Fertilität, Schlupffähigkeit, Anzahl Küken je eingestellte Henne und Kükengewicht... 61	
2.3.3.1	Zwerggen (dw).....	61
2.3.3.2	Nackthalsgen (Na).....	64
2.3.3.3	Lockengen (F).....	68
3.	Material und Methoden	70
3.1	Versuchstiere.....	70
3.2	Versuchsplan.....	70
3.3	Haltung und Fütterungsregime.....	74
3.4	Merkmalerfassung.....	76
3.5	Mathematische und statistische Analyseverfahren.....	79
4.	Ergebnisse.....	90
4.1	Mortalität der Broiler-Elternhennen.....	90
4.2	Gewichtsentwicklung.....	93
4.3	Geschlechtsreife	100
4.4	Legeleistung.....	103
4.5	Eigewicht, Eiqualität und Bruteianteil	114
4.6	Fertilität.....	126
4.7	Schlupffähigkeit.....	137
4.8	Embryonale Entwicklung.....	149
4.8.1	Embryonale Stellung im Ei.....	149
4.8.2	Zeitpunkt der embryonalen Mortalität.....	153
4.8.3	Embryonale Stoffwechselaktivität.....	162

4.8.3.1	Embryonaler Sauerstoffverbrauch	162
4.8.3.2	Embryonale Temperaturentwicklung	165
4.9	Anzahl Küken je eingestellte Henne	167
4.10	Kükengewicht.....	172
5.	Diskussion	178
6.	Zusammenfassung und Summary	214
6.1	Zusammenfassung	214
6.2	Summary	217
7.	Verzeichnisse.....	222
7.1	Literaturverzeichnis.....	222
7.2	Abbildungsverzeichnis	248
7.3	Tabellenverzeichnis.....	251
Anhang		255
Danksagung		267

1. Einleitung

Von den standortspezifischen Faktoren wie Haltungsform, Klima, Fütterung und Hygienebedingungen in tropischen und subtropischen Klimaten übt speziell die Umwelttemperatur einen direkten Einfluss auf die produktive und reproduktive Leistung aus. Mit abnehmenden Temperaturgradienten zwischen Huhn (Körper) und Umgebung nimmt die sensible Wärmeabgabe (Radiation, Konvektion, Konduktion) ab. Durch die stark isolierende Wirkung des Federkleides ist die sensible Wärmeabgabe beim Huhn limitiert und findet insbesondere an den unbefiederten Körperteilen wie Ständer, Kamm und Kehllappen statt. Das Gefäßsystem der Füße und Ständer beim Huhn besitzt arteriovenöse Mechanismen mit der Fähigkeit, Wärme durch diese unisolierten Körperflächen abzugeben (Etches et al., 1995). Da das Huhn keine Schweißdrüsen hat, ist der evaporativen Wärmeabgabe durch die Haut keine besondere Bedeutung beizumessen. Mit zunehmender thermischer Belastung, insbesondere über die thermoneutrale Zone hinaus, nimmt die evaporative Wärmeabgabe durch das Einsetzen des Hechelns über die Schleimhäute des Atemtraktes rapide zu.

Ferner sinkt mit steigender Umgebungstemperatur die Futteraufnahme und damit auch die Aufnahme von umsetzbarer Energie (Nichelmann, 1999). Die Reduktion der Futteraufnahme unter Temperaturstress resultiert aus den spezifischen Anpassungsmechanismen des Huhns, um der endogenen Wärmeproduktion entgegenzuwirken. Dieses Phänomen ist auch als wesentliche Ursache für die wärmebedingte Leistungsdepression unter hohen Umwelttemperaturen zu betrachten (Washburn et al., 1980; Männer, 1991).

Eine Verringerung der wärmespezifischen Leistungsdepression kann mittels züchterischer und haltungstechnischer Maßnahmen erzielt werden, wobei die Einführung haltungstechnischer im Gegensatz zu züchterischen Maßnahmen mit Investitionen und dauerhaft anfallenden Kosten verbunden sind, was für extensiv orientierte Systeme kritisch sein kann.

Für die tropenorientierten Züchtungsstrategien stehen Einzelgene zur Verfügung, die deutliche phänotypische Veränderungen mit der Folge einer Verbesserung der Wärmeabgabe bewirken. Speziell zu nennen sind die Gene für Zwergwüchsigkeit (*dw*), für Befiederungsreduktion und Nackthalsigkeit (*Na*), für Lockenfiedrigkeit (*F*) sowie für die langsame Befiederung (*K*), denen eine Erhöhung der sensiblen Wärmeabgabe, eine Absenkung des Basisstoffwechsels sowie eine Erhöhung der oberen kritischen Temperatur zugesprochen werden (Horst, 1998). Sie wirken dominant oder sind an das

Geschlechtschromosom gebunden, was sowohl für Transfer und Konservierung als auch für Züchtungsanwendungen als günstig zu bewerten ist.

Obgleich in extensiven Produktionssystemen am tropischen Standort Hühnerfleisch vorwiegend mit lokalen, an die jeweilige Umwelt angepassten Herkünften erzeugt wird, gewinnt mit zunehmender Intensivierung der Einsatz von importierten, am gemäßigten Standort gezüchteten Genressourcen an Bedeutung. Der Transfer dieses verbesserten Zuchtmaterials ist in der Regel mit Leistungsdepressionen verbunden und erfordert ein hohes Managementniveau. Dort, wo intensive und semi-intensive Produktionssysteme verbunden mit hohen Investitionen und unter dem Einsatz von Hochleistungsrassen entstehen, kann die Nutzung von tropenrelevanten Genen von besonderem Interesse sein. Unter extensiven Haltungsbedingungen steht für eine erfolgreiche genetische Verbesserung des einheimischen Tiermaterials eine gezielte, abgestufte Einkreuzung von Leistungs-Zuchten im Vordergrund. Dabei kann auch hier eine züchterische Verwendung der tropenrelevanten Gene vorteilhaft sein (Horst, 1998).

Das an das Geschlechtschromosom gebundene Gen für Zwergwüchsigkeit, das mit unterschiedlicher Manifestation auftritt, verringert die Körpergröße bzw. Körpermasse um 10 bis 30 %. Wirtschaftlich von Interesse ist das Gen in der Broilerproduktion, da verzweigte Mutterhennen (*dw*- Genotyp), wenn sie mit Normalhähnen (*DwDw*-Genotyp) gepaart werden, normalwüchsige Nachkommen erbringen. Die züchterische Nutzung des *dw*-Gens bei Broilermutterhennen mildert den Antagonismus zwischen Fruchtbarkeit und Mastleistung und führt zu einer deutlichen Verbesserung im Futteraufwand bei der Produktion von Eintagsküken und damit zu höherer wirtschaftlicher Effizienz (Khoo und Hussein, 1982; Horst, 1989; Gowe und Fairfull, 1995). Eine geringere Körpergröße bewirkt eine entscheidende Verbesserung der Fähigkeit zur Akklimatisation und der Überlebensfähigkeit bei Hitzestress. Kleinere Tiere sind aufgrund geringerer Stoffwechselaktivität für Grund- und Proteinumsatz und der damit verminderten endogenen Wärmeleistung an Hitzestress besser angepasst. Ferner kann der Prozess der Wärmeabgabe bzw. die Kontrolle der Wärmebilanz bei kleiner Körpergröße durch das günstigere Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Körpermasse positiv beeinflusst werden. Zwar besagt das Körpergröße-Akklimatisations-Phänomen, dass bei stärkerer Umweltbelastung Tiere mit geringerer Körpergröße hinsichtlich ihrer Fitness überlegen sind, aber es gilt auch die Einschränkung, dass wegen der Nichtlinearität der negativen Beziehung zwischen Körpergröße und Umweltniveau ein

Optimalbereich für die Körpergrößenanpassung an die jeweilige Umweltsituation besteht (Horst, 1994).

Unter dem Blickwinkel der Verbesserung der Wärmetoleranz im Rahmen tropenorientierter Züchtungsstrategien besteht daher bei der züchterischen Nutzung des Verzweigungsgens für Mast-Elterntiere neben dem Vorteil des verminderten Erhaltungsstoffwechsels die Möglichkeit einer Körpergrößen-Optimierung im Sinne der Ausschöpfung des Körpergrößen-Adaptations-Phänomens .

Die Einkreuzung des unvollständig dominanten Nackthalsgens (*Na*) führt in Abhängigkeit von der Genkombination zu einer unterschiedlich starken Reduktion des Gefieders. Im Vergleich zur Normalbefiederung ist die Befiederung (Federgewicht/Körpergewicht) je nach genetischem Hintergrund bei heterozygoten Genotypen um 14 bis 23 % und bei homozygoten Merkmalsträgern um 32 bis 38 % reduziert (Bordas et al., 1978; Zein-El-Dein et al., 1981; Rauen, 1985; Deeb und Cahaner, 1999). Die Befiederungsreduktion wird nicht nur durch die starke Abnahme des Halsgefieders verursacht, sondern auch durch Reduktion der Federfluren (Pterylen) und durch eine Vergrößerung der zwischen den Federfluren gelegenen Bereiche (Apterien) (Rauen, 1985). Die Einzüchtung des ebenfalls unvollständig dominanten Gens für Lockenfiedrigkeit oder Frizzle (*F*) führt in heterozygotem Status zu einer Krümmung des Schaftes von Deckfedern und zu einer Lockung der Äste von Schwung- und Schwanzfedern. Bei den homozygoten Genotypen (*FF*) sind die Federschäfte bei allen Federn stark gekrümmt und die Federäste gelockt, das Daunenkleid ist beim Schlupf reduziert und das Federwachstum setzt allgemein verspätet ein (Hutt, 1949; von Haaren-Kiso, 1991). Nach von Haaren-Kiso (1991) weisen die heterozygoten Hennen im Alter von 72 Wochen sowohl eine direkte als auch eine indirekte Gefiederreduktion durch Federabrieb und Federbruch bezogen auf das metabolische Körpergewicht von 40 % auf. Männer (1991) hat eine Gefiederreduktion von 10 % bei 53 Wochen alten heterozygoten Lockenhennen durch das Lockengen festgestellt.

In vielen Experimenten sind die positiven Effekte des Nackthalsgens auf Wachstum und Entwicklung von Broilern bei hohen Temperaturen sowohl unter Experimental- als auch unter Produktionsbedingungen bereits festgestellt worden (Eberhart und Washburn, 1993; Cahaner et al., 1993; Yalcin et al., 1997; Yunis und Cahaner, 1999; Deeb und Cahaner, 1999), jedoch nicht auf die Reproduktionsleistung der Mast-Elterntiere untersucht worden.

In wenigen Arbeiten wurde auch der positive Effekt des Frizzlegens auf die Mastleistung von Broilern und die Reproduktionsleistung von Legehennen bei hohen Temperaturen nachgewiesen (von Haaren-Kiso, 1991; Männer, 1992; Yunis und Cahaner, 1999).

Da sich Broiler- und Legehennenzuchttypen zum einen in Wachstum und Stoffwechselphysiologie embryonal und postembryonal unterscheiden und zum anderen im Hinblick auf bestehende Majorgen-Genom-Wechselwirkungen unter verschiedenen Umwelttemperaturen auf Reproduktions- und Produktionsmerkmale in unterschiedlichem Ausmass reagieren, ist die Übertragbarkeit der vorhandenen Versuchsergebnisse der Legepopulationen auf Broilerpopulationen problematisch. Darüber hinaus sind Forschungsexperimente im Hinblick auf das Fruchtbarkeitsgeschehen unter Wärmebelastung im Zusammenhang mit einer züchterischen Nutzung von Majorgenen für tropenorientierte Zuchtstrategien bei Broilern bisher kaum durchgeführt worden.

Deshalb sollte in der vorliegenden Arbeit die Wirkung der tropenrelevanten Majorgene auf das Reproduktionsvermögen von typverschiedenen mütterlichen- und väterlichen Mast-Elternlinien bei unterschiedlichen Umwelttemperaturen untersucht werden. Dabei waren insbesondere folgende Punkte zu klären:

- der Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) bei den schweren Typen der väterlichen Masteltern-Zuchtlinie (VZL),
- die direkte und kombinierte Wirkung des *F* - und des *dw* -Gens auf die Legeleistung bei den mittelschweren Typen der mütterlichen Masteltern-Zuchtlinie (MZL) sowie
- die Auswirkung des paternalen und maternalen Befiederungsgenotyps beider Zuchtlinien auf die Reproduktionsmerkmale bei der Haltung der Mastlinien-Zuchthennen unter hohen und gemässigten Umwelttemperaturen.

2. Literaturübersicht

Die Reproduktionsleistung ist definiert als mittlere Anzahl der Nachkommen und abhängig von einer Reihe von Einflussfaktoren, die durch Genotyp und Umwelt bedingt sind. Legeleistung, Eigewicht, Qualität der Eischale, Zusammensetzung des Eis, Spermaqualität und Befruchtung beeinflussen die Reproduktionsleistung und sind genetisch determiniert und züchterisch veränderbar, gleichzeitig jedoch von Umweltfaktoren wie Klima, Fütterung, Gesundheitszustand und Alter der Eltern, Besamungstechnik und -häufigkeit beeinflussbar. Auch die Umweltbedingungen der Bruteier während der Lagerung und Bebrütung beeinflussen die Schlupffähigkeit und somit die reproduktive Leistung (Lake, 1969).

2.1 Maternale Umwelt

2.1.1 Legeleistung

2.1.1.1 Einfluss von Umwelttemperatur und Fütterungsniveau auf die sexuelle Reife

Der Beginn der sexuellen Reife wird durch Körpergewicht, Alter und Körperzusammensetzung (Fett, Protein, Wasser) bestimmt (Dunnington et al., 1983; Chambers, 1990).

Nur wenige Informationen sind über den Einfluss von hohen Temperaturen auf die sexuelle Reife bei schweren Broiler-Elterntieren vorhanden. Bei den leichteren Legehennen führen hohe Umwelttemperaturen während der Aufzuchtperiode zu einer Verzögerung des Legebeginns (Stockland und Blaylock, 1974; Vo et al., 1980; Cowan und Michie, 1983; Kyarisiima und Balnave, 1996). Hohe Dauertemperaturen ab der 15. bzw. 18. Lebenswoche führen jedoch zu einer Vorverlegung der sexuellen Reife (Petersen und Horst, 1978; Ahvar, 1979). Nach Cowan und Michie (1983) verursachen hohe Temperaturen bei gleichzeitiger Anwendung einer Futterrestriktion während der Aufzuchtperiode eine zusätzliche Verzögerung der sexuellen Reife. Eine Futterrestriktion während der Aufzuchtphase bei Broilern führt zu einer Reduktion der Körpergewichte zu Legebeginn und ebenfalls zu einer Verzögerung der sexuellen Reife (Wilson et al., 1983; Katanbaf et al., 1989; Yu et al., 1992).

2.1.1.2 Einfluss der Umwelttemperatur auf die Legeleistung

In einer Vielzahl von Experimenten wurde eine Beeinträchtigung der Legeleistung durch hohe Umwelttemperaturen sowohl bei Legehennen (Mueller, 1961; Clark und Amin, 1965; Smith, 1973; de Andrade, 1977; Petersen und Horst, 1978; El Jack et al., 1979; Ahvar, 1982; Alihussain-Gadhia, 1983; Rauen, 1985; von Haaren-Kiso, 1991; Kyarisima und Balnave, 1996) als auch bei Broilerhennen (Chhum, 1994; McDaniel et al., 1995) nachgewiesen. Nach McDaniel et al. (1995) führte bei Broilerhennen der Herkunft *Arbor Acres* die Hitzebelastung (konstante Temperaturen von 32,2 °C für eine Zeitperiode von 8 Wochen) im Vergleich zur Kontrollgruppe (21,1 °C) zu einer signifikanten Erhöhung der Körperkerntemperatur (rektal) und zu einer signifikanten Reduktion der Eileistung (58,8 vs. 82,9). Muiruri und Harrison (1991) stellten bei dreiwöchiger konstanter Hitzebelastung von 35 °C eine Reduktion der Legeleistung um 9,5 % im Vergleich zu Haltungstemperaturen von 25 °C fest. Die Bereitstellung von mit Wasser (20 °C) gekühlter Sitzstangen bei hitzestressierten Tieren führte zu einer Verbesserung der Legeleistung bei Broiler-Mutterhennen um 16 Prozent. Ebenso wurde durch Zuführung einer kühlen Luftströmung bei wärmebelasteten Broilerhennen (wechselnde Umwelttemperaturen; 27 °C, 36 °C, 27 °C jeweils für 8 h/Tag) eine Verbesserung der Legeleistung von 19 % erreicht (Moore et al., 1982). Mennicken (1995) erzielte ebenfalls eine Verbesserung der Legeleistung bei kommerziellen Broiler-Elternlinien unter den tropischen Bedingungen Malaysias durch die Kühlung von Trinkwasser um 9,7 % und durch erhöhte Luftgeschwindigkeit von 20,7 Prozent. Als Ursache für die wärmebedingte Reduktion der Legeleistung wird sowohl die Reduktion der Futteraufnahme unter hohen Umwelttemperaturen als auch ein indirekter Einfluss der Temperatur über das Wärmeregulationszentrum auf verschiedene Organfunktionen angesehen. Ferner scheint eine geringere Durchblutung des Eileiters, des Darms und der Knochen für die verringerte Legeleistung unter hohen Temperaturen eine Rolle zu spielen (Nichelmann, 1999).

2.1.1.3 Einfluss von Fütterungsniveau und Körpergewicht auf die Legeleistung

Es besteht eine negative Beziehung zwischen Körpergewicht (juvenilem und adultem) und Legeleistung bei Mast-Elterntieren (McDaniel et al., 1981a; Pym, 1985; Siegel und Dunnington, 1985). Die Bedeutung des Körpergewichtes für die Reproduktionsleistung, insbesondere für die Legeleistung, und die Möglichkeit der Verringerung des Zuwachses

mittels restriktivem Energieangebot bei Broilerhennen wurde von vielen Autoren untersucht. Übereinstimmend führt die Gewichtseinschränkung mittels Futterrestriktion bei Broilerhennen zu einer Verbesserung der Legeleistung (McDaniel, 1981b; McDaniel, 1983; Wilson und Harms, 1986; Katanbaf, 1989; Robinson et al., 1991; Yu et al., 1992).

Yu et al. (1992) untersuchten den Einfluss von Futterrestriktion und ad libitum-Fütterung während der Aufzucht (4.-18. Woche) und während der Legeperiode (18.-62. Woche) auf die Legeleistung von Broiler-Muttertieren. Die Futterrestriktion während der beiden Perioden führte zu einer Verbesserung der Gesamteizahl (177) gegenüber der ad libitum-Fütterung (122), aber auch gegenüber einer restriktiven Fütterung nur während der Aufzucht (133) oder nur während der Legeperiode (163). Nach Robinson et al. (1991) erbrachte die Futterrestriktion während der Legeperiode (26.-62. Woche) eine Verlängerung der Legeserie und damit eine Verbesserung der Eizahl. Ferner wurde beobachtet, dass ad libitum gefütterte Broilerhennen eine unregelmäßige Legetätigkeit (erratic laying), eine abnormale Ovulation, einen erhöhten Anteil von doppeldottrigen Eiern, eine erhöhte Häufigkeit von Legetagen mit mehr als einem Ei und eine Reduktion von brutfähigen Eiern aufweisen (Yu et al., 1992; Hocking, 1993). Eine übermäßige Futterrestriktion führt jedoch zu einer erhöhten Anzahl von Nichtlegern, zu exzessiver Verzögerung der sexuellen Reife sowie zu einer reduzierten Eizahl und somit zu einer Beeinträchtigung der durchschnittlichen Legeleistung (Fattori et al. 1991; Attia et al., 1995). Schließlich ist festzustellen, dass sich die Beziehung zwischen Eileistung und Körpergewicht zumindest bei Legehennen parabelartig verhält (Romanoff, 1972; Horst und Petersen, 1975; Horst und Petersen, 1997). Das bedeutet, dass eine zu starke ebenso wie eine zu geringe Körpergewichtsentwicklung im Hinblick auf die Legeleistung nachteilig ist.

2.1.2 Merkmale der Eiqualität

Die Relevanz des Eigewichtes in der Broilerzucht basiert darauf, dass zum einen für die Ausgeglichenheit der Kükengewichte sowie für die Optimierung der Brutbedingungen eine geringe Eigewichtsvarianz angestrebt wird und zum anderen die positive Auswirkung des Eigewichtes auf die Schlupffähigkeit und das juvenile Wachstum ausgeschöpft werden soll (Stöve-Schimmelpfennig und Flock, 1982). Aus kleinen Eiern schlüpfen kleine Küken mit der Gefahr der verstärkten Austrocknung im Brutschrank und somit der Möglichkeit einer hohen postembryonalen Sterberate. Zudem weisen die kleinen Küken schlechtere Zuwachsraten auf. Andererseits besteht eine parabolische Beziehung zwischen Eigröße und Schlupffähigkeit und

damit ist der Schlupferfolg der extrem großen wie auch kleinen Bruteier verringert.

Neben individuellen Unterschieden innerhalb und zwischen Linien wird das Eigewicht von vielen Faktoren wie Alter, Körpergewicht, Futteraufnahme, Gesundheitsstatus sowie auch durch das Stallklima beeinflusst (Stöve-Schimmelpfennig und Flock, 1982).

2.1.2.1 Einfluss der Umwelttemperatur

In vielen Experimenten wurde eine negative Auswirkung hoher Umwelttemperaturen (konstanter und wechselnder) auf das Eigewicht sowohl bei Legetypen als auch bei Broilern nachgewiesen (Huston et al., 1957; Mueller, 1961; Carmon und Hoston, 1965; Clark und Amin, 1965; Payne, 1966; Miller und Sunde, 1975; Arima, et al., 1976; de Andrade et al., 1977; El Jack und Blum, 1978; Petersen und Horst, 1978; El Jack und de Reviers, 1979; Ahvar et al., 1982; Becker, 1983; Rauen, 1985; Chhum, 1994), was direkt auf Hitzestress per se sowie indirekt auf eine wärmeinduzierte Reduktion der Futteraufnahme zurückzuführen ist (Emery et al., 1984; Sauveur und Picard, 1987).

Der Verlauf der Abnahme des Eigewichtes mit zunehmenden Umwelttemperaturen ist nach Sauveur und Picard (1987) kurvilinear (Abb. 2.1), wobei bei über 25 °C das Eigewicht stärker abnimmt. Unter gemäßigten Umwelttemperaturen erhöht sich das Eigewicht im Laufe der Legeperiode kurvilinear. Eine langfristige Wärmebelastung wirkt diesem altersbedingten Anstieg des Eigewichtes entgegen, so dass die Kurve unter hohen Temperaturen flacher verläuft, konstant bleibt oder gar abnimmt (Carmon und Huston, 1965; Smith und Oliver, 1972; Petersen und Horst, 1978; Bullermann-Hiendl, 1981). Durch haltungstechnische Maßnahmen (gekühltes Trinkwasser und erhöhte Luftgeschwindigkeit zur Reduktion von Wärmestress) erreichte Mennicken (1995) ein signifikant erhöhtes Eigewicht bei kommerziellen Broiler-Elternlinien unter den tropisch-warmfeuchten Bedingungen in Malaysia.

Unter Anwendung verschiedener Meßmethoden zur Beurteilung der Schalenqualität (Tabelle 2.1) wurde von vielen Autoren eine beeinträchtigende Wirkung von hohen Umwelttemperaturen auf die Schalenqualität beschrieben (Wilhelm, 1940; Warren et al., 1940; Romanoff und Romanoff, 1949; Campos et al., 1960; Huston und Carmon, 1961; Miller und Sunde, 1975; de Andrade et al., 1977; Petersen und Horst, 1978; Ahvar, 1979; Al-Saudi und Al-Jebouri, 1979; Rauen, 1985; von Haaren-Kiso, 1991; Kyarisiima und Balnave, 1996).

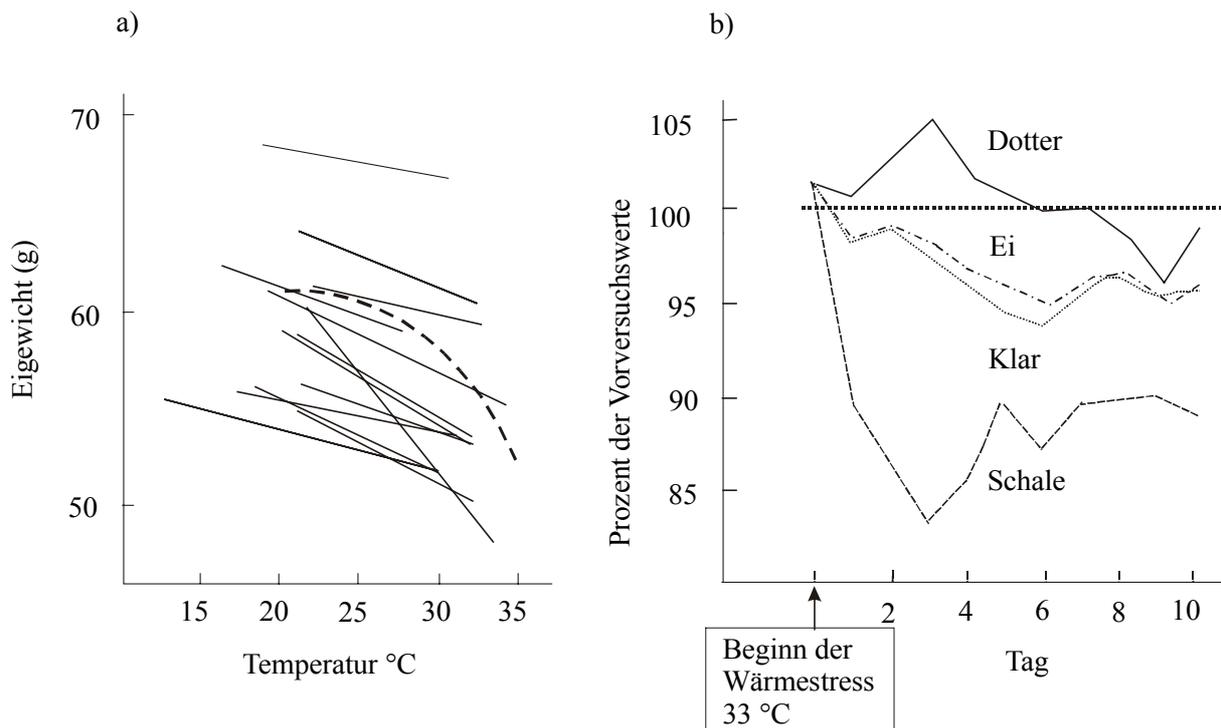


Abb. 2.1 a) Die Auswirkung von hohen Umwelttemperaturen auf das Eigewicht (Ahvar et al., 1982; verändert von Sauveur und Picard, 1987)

The effect of environmental temperatures on egg weight

b) Veränderung von Eigewicht und Eibestandteilen nach 10-tägiger Hitzebelastung von 33 °C (Picard et al., 1984, zitiert in Sauveur and Picard, 1987)

Changes in egg weight and egg components during the first 10 days after exposure to heatstress of 33 °C

Diese wärmebedingte Reduktion der Schalenqualität wird unter erhöhter Luftfeuchtigkeit verstärkt. Mueller (1959) stellte bei einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit von 25 % auf 70 % eine signifikante Verringerung der Schalendicke von 384 μ auf 74 μ (bei Umwelttemperaturen von 29,5 °C) fest. Nach Smith und Oliver (1972) ist die Reduktion des Eischalengewichts unter der Einwirkung von hohen Umwelttemperaturen (zwischen 26,5 - 35 °C) kurvilinear.

Während die Dicke verschiedener Schichten der Schale (Kutikula, Palisaden und Mammillen) durch hohe Temperaturen beeinträchtigt wird, wirken sich hohe Umwelttemperaturen nicht reduzierend auf die Dicke der Schalenmembran aus (El-Boushy et al., 1968).

Die Hitzebelastung führt zu einer erhöhten respiratorischen Wärmeabgabe und damit

verbunden zu einer erhöhten pulmonalen Kohlendioxydausscheidung, was eine Erhöhung des Blut-pH-Wertes zur Folge hat (respiratorische Alkalose). Während unter akuten und wechselnden hohen Umwelttemperaturen eine respiratorische Alkalose festgestellt wurde (Kohne und Jones, 1975a; El Jack et al., 1978), konnten die Autoren El Jack et al. (1978) und Kohne und Jones (1975b) keine Erhöhung des Blut-pH-Wertes unter dauerhaft hohen Umwelttemperaturen nachweisen. Teeter et al. (1985) beobachteten jedoch, dass unter konstant hohen Umwelttemperaturen eine Erhöhung der Atmungsfrequenz der hitzestressierten Hennen nur phasenweise auftrat (painting und nonpainting phase). Der pH-Wert des Blutes von hechelnden Hennen war signifikant erhöht gegenüber dem pH-Wert von nicht-hechelnden Tieren. Kein Unterschied wurde zwischen dem pH-Wert der nicht-hechelnden, aber hitzestressierten Tiere und dem pH-Wert der nicht-hitzestressierten Hennen festgestellt. Der Blut-p-CO₂-Wert und der Gehalt an Blut-Bicarbonat der hitzestressierten Hennen war jedoch, unabhängig davon, ob die Tiere hechelten oder nicht, gegenüber den Blutwerten der nicht-hitzestressierten Hennen signifikant reduziert, was eine respiratorische Alkalose bei Hitzebelastung bedeutet.

Eine Erhöhung der Exkretion des Bicarbonat-Anions und eine Reabsorption des Protons durch die Nieren ist die metabolische Reaktion zur Normalisierung des Blut-pH-Wertes. Sie führt zu einer Verminderung der Verfügbarkeit von Bicarbonat in den Schalendrüsen des Eileiters (Konkurrenzsituation zwischen Nieren und Uterus). Da die Eischale zu 95 % aus Kalziumcarbonat besteht, wird die reduzierte Verfügbarkeit von Bicarbonat-Ionen im Uterus als eine mögliche Ursache der beeinträchtigenden Wirkung von hohen Umwelttemperaturen auf die Schalenqualität angenommen (de Andrade et al., 1974; El Jack et al., 1978; Parsons, 1982; Teeter et al., 1985; Sauveur und Picard, 1987; Hughes, 1988; Pech-Waffenschmidt, 1992). Viele Autoren haben eine Reduktion des Blutplasma-Kalziums - eines weiteren Bestandteils der Eischale neben Bicarbonat - unter hohen Umwelttemperaturen beschrieben (Warren und Schnepel, 1940; de Andrade et al., 1974; Kohne und Jones, 1975b; de Andrade et al., 1976; de Andrade et al., 1977; El Jack et al., 1978; Pech-Waffenschmidt, 1992). Nach Odom et al. (1986) kann eine Reduktion des Kalziumgehaltes im Blutserum durch Kalzium-Ionen-Komplex-Verbindungen mit Lactaten und Pyruvaten verursacht sein, deren Gehalt im Blut als Kompensation der Alkalose unter hohen Temperaturen erhöht wird.

Tab. 2.1: Einfluss von hohen Umwelttemperaturen auf die Merkmale der Schalenqualität
Effect of high ambient temperature on traits of egg shell quality

Merkmale der Schalenqualität	Umwelttemperatur (°C)		Schalenqualität		Veränderung %	Autor
	Kontrollstall	hohe Temp.	Kontrollstall	hohe Temp.		
Schalendicke (µm)	12,7	12,7-32*	364	350	-3,85	Mueller, 1961
	12,7	32	364	315	-13,46	Mueller, 1961
	21	32	328	294	-10,37	de Andrade et al., 1976
	21	31	320	280	-12,50	de Andrade et al., 1977
	20	32	372	326	-12,37	Ahvar, 1979
	23,9	15,6-37,7*	350	332	-5,14	Emery et al., 1984
	10-15-20*	25-30-35*	364	356	-2,20	Kyarisiima und Balnave, 1996
Spezifisches Eigewicht	21	32	1,073	1,067	-0,56	de Andrade et al., 1976
	21	31	1,080	1,072	-0,74	de Andrade et al., 1977
Bruchfestigkeit (kp)	24	35	2,9	2,0	-31,03	Arima et al., 1976
	20	33	2,5	1,5	-40,00	Horst und Petersen, 1978
	18-20	32	3,22	2,55	-20,81	von Haaren-Kiso, 1991
	18-20	32	2,89	2,25	-22,15	Bullermann-Hiendl, 1981
Deformation (µm)	18-20	32-35	77,2	89,7	16,19	Chhum, 1994
	10	26-38*	16	23,2	45,00	Miller und Sunde, 1975
	10	32	16	18,1	13,13	Miller und Sunde, 1975
Schalenanteil (%)	12,7	32	9,31	8,57	-7,95	Mueller, 1961
	19	30	10,30	9,30	-9,71	Carmon und Huston, 1965
	21	32	11,10	10,70	-3,60	Smith und Oliver, 1972
	21	32	10,40	9,70	-6,73	Miller und Sunde, 1975
	21	32	8,22	7,75	-5,72	de Andrade et al., 1976
	21	31	8,40	7,72	-8,10	de Andrade et al., 1977
	20	32	9,80	8,90	-9,18	Ahvar, 1979
	20	32	8,93	8,64	-3,25	Rauen, 1985
	18-20	32	9,21	8,98	-2,50	von Haaren-Kiso, 1991
	18-20	32-35	8,77	8,26	-5,82	Chhum, 1994

* *fluktuierende Umwelttemperaturen*

Der Einfluss von hohen Temperaturen auf die Eifractionen wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Während einige Autoren keinen Einfluss von hohen Umwelttemperaturen auf die prozentualen Anteile der Bestandteile des Eies feststellten (Gee et al., 1964; Carmon und Huston, 1965), wiesen andere Autoren eine prozentuale Erhöhung des Klaranteils und eine Verringerung des prozentualen Dotter- und Schalenanteils nach (Miller und Sunde, 1975; El Jack und Blum, 1978; Ahvar et al., 1982; von Haaren-Kiso, 1991; Kyarisiima und Balnave, 1996). Während die depressive Wirkung von hohen Umwelttemperaturen auf die Eischale und das Eiklar sofort vorhanden ist, nimmt das Eidottergewicht erst Tage nach Beginn der Hitzebelastung ab (s. Abb. 2.1).

Nach Pech-Waffenschmidt (1992) wird die wärmebedingte Reduktion der Futteraufnahme und somit auch die der Kalziumaufnahme während der Dauer der Hitzebelastung als eine Ursache des verminderten Kalziumgehaltes im Blutserum und für eine verminderte Verfügbarkeit von Kalzium (zur Schalenbildung) im Uterus angesehen. Nach Mahmoud et al. (1996) ist jedoch die Kalziumaufnahme durch duodenale Epithelzellen von hitzestressen Hennen signifikant reduziert, so dass möglicherweise die verminderte Fähigkeit des Kalzium-Ionen-Transports der duodenalen Zellen zu einer Reduktion der Schalenqualität führt.

Die Ursachen für die temperaturbedingte Verringerung des Dottergewichtes liegen in der verminderten Syntheserate der Lipoproteide in der Leber und in der verringerten Follikeldurchblutung. Die Abnahme des Eiklars wird durch eine verringerte Durchblutung des Magnums und das verminderte Energie- und Aminosäurenangebot aufgrund reduzierter Futteraufnahme unter hohen Temperaturen verursacht (Nichelmann, 1999).

2.1.2.2 Einfluss von Körpergewicht und Fütterungsniveau

Mehrere Autoren haben eine positive Beziehung zwischen Körpergewicht und Eiggröße festgestellt (Maloney et al., 1963; McDaniel et al., 1981a und b; Marks, 1985). Die ad libitum-Fütterung bei den Broilerhennen führte im Vergleich zur restriktiven Fütterung zu erhöhten Körpergewichten und zu einer Erhöhung der Eigewichte (McDaniel et al., 1981b; Ousterhout, 1982; Wilson und Harms, 1986). Robbins et al. (1988) konnten keine Auswirkung der ad libitum-Fütterung während der Legeperiode auf die Eigewichte feststellen, wenn die Broilerhennen während der Aufzuchtphase einer restriktiven Fütterung unterworfen waren. Katanbaf et al. (1989) stellten fest, dass das Ersteigewicht von Broilerhennen bei ad libitum-Fütterung im Vergleich zur restriktiven Fütterung reduziert ist. Jedoch waren die Eigewichte der ad libitum gefütterten Hennen im Alter von 39 Wochen signifikant höher. Im Alter von 52 und 60 Wochen wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Fütterungsmethoden im Eigewicht festgestellt.

Es besteht eine signifikante negative Korrelation zwischen Hennengewicht und spezifischem Eigewicht (McDaniel et al., 1981a) bzw. sinkt das spezifische Eigewicht signifikant mit zunehmender Bereitstellung von Futterenergie bei Broilerhennen (McDaniel et al., 1981b; Ousterhout, 1982; Wilson et al., 1983; Wilson und Harms, 1986). Nach Yu et al. (1992) führt die ad libitum-Fütterung gegenüber Restriktivfütterung zu einem signifikant erhöhten Anteil weichschaliger und schalenloser Eier.

2.1.2.3 Einfluss des Alters der Zuchthennen

Viele Autoren haben eine beeinträchtigende Wirkung des Alters der Legehennen auf die Eiqualität beschrieben. Mit zunehmendem Alter nimmt das Eigewicht zu (Horst et al., 1972; Flock und Petersen, 1973; O'Sullivan et al., 1991; Peebles et al., 2000), während das Schalengewicht sich über die Legeperiode kaum verändert (Horst et al., 1972; Flock und Petersen, 1973; Hurnik et al., 1977; Anderson et al., 1978), so dass der Schalenanteil (Horst et al., 1972; Flock und Petersen, 1973; Britton, 1977; Hamilton, 1978; Bullermann-Hiendl, 1981; Akbar et al., 1983) und die Bruchfestigkeit abnehmen (Horst et al., 1972; Flock und Petersen, 1973; Bullermann-Hiendl, 1981) und die Nachgiebigkeit der Schale bei Gewichtsbelastung (Deformation) zunimmt (Horst et al., 1972; Flock und Petersen, 1973; Hurnik et al., 1977; Belyavin et al., 1987). Mit zunehmendem Alter nehmen ausserdem die Schalendicke (Britton, 1977; Ahvar, 1979; Al-Batshan et al., 1994; Oguike, 2000), das spezifische Gewicht (Flock und Petersen, 1973; Hamilton, 1978; Oguike, 2000), und das Schalengewicht je cm^2 Eioberfläche (Hamilton, 1978) und die Porosität (Oguike, 2000) ab.

Nach Peebles und Brake (1987) nahm das Eigewicht bei Broilerhennen ähnlich wie bei Legehennen mit zunehmendem Alter zu, wobei die Zunahmerate des Schalengewichtes mit zunehmendem Alter im Vergleich zum Eigewicht stärker verzögert war. Mit zunehmendem Alter wurde ein negativer Trend der Porenkonzentration und Wasserdampfdurchlässigkeit festgestellt, jedoch kein eindeutiger Trend bei der Schalendicke und beim spezifischen Gewicht. Die Autoren Yannakopoulos und Tserveni-Gousi (1987) sowie O'Sullivan et al. (1991) fanden ebenfalls keinen signifikanten Einfluss des Alters auf die Merkmale Schalendicke und spezifisches Gewicht des Eies bei Broilern. Demgegenüber stellten McDaniel et al. (1979) einen Anteil von 5 %, 14 % und 26 % an Bruteiern mit einem spezifischen Gewicht unter 1,080 bei Hennen im Alter von 36, 52 und 64 Wochen fest. Bennet (1992) untersuchte den Alterseffekt auf die Schalenqualität bei den kommerziellen Broiler-Herkünften Indian River, Arbor Acres und Hubbard (25 Herden) mit dem Ergebnis, daß das spezifische Gewicht des Eies mit zunehmendem Alter linear abnimmt.

Nach Al-Batshan et al. (1994) nimmt parallel zu der Abnahme der Eischalendicke, des prozentualen Schalenanteils und der Rohasche des Femurs mit zunehmendem Alter die intestinale Kalziumaufnahme ab. Nach der Zwangsmauser verbessern sich sowohl die Schalenstabilität als auch die intestinale Kalziumaufnahme. So dass nach den Autoren der

Rückgang der duodenalen Kalziumaufnahme und das steigende Eigewicht mit zunehmendem Alter als Ursache für die altersbedingte Reduktion der Schalenqualität angenommen werden können. Ebenso nimmt der prozentuale Anteil an Eiklar (Trocken- und Nassgewicht) mit zunehmendem Alter ab, während der Anteil der Dotterfraktion (Trocken- und Nassgewicht) zunimmt (Horst et al., 1972; Ahvar et al., 1982; Akbar et al., 1983; Hussein et al., 1993; Rossi und Pompei, 1995; Peebles et al., 2000). Eine Beeinträchtigung der Eiklarstruktur, gemessen als Höhe des zähen Eiklars, durch das Hennenalter wurde von Ahvar (1979) nachgewiesen.

2.1.3 Merkmalskomplex der Fertilität

Neben genetischen Faktoren beeinflussen viele haltungs- und reproduktionstechnische Faktoren das Merkmal Fertilität im Zuge des Befruchtungsvorgangs, bestehend aus Spermientransport, Sammlung der Spermien in Spermienaufbewahrungsdrüsen, Bindung an die Perivitellinmembran des Eies und dessen Penetration sowie schließlich die Befruchtung der Eizelle.

Etwa 60-90 Minuten (Van Krey, 1990) nach der Insemination gelangen nur wenige der Spermien, etwa 1% (Brillard, 1993), in die sogenannten Vaginaldrüsen, lokalisiert in der utero-vaginalen Verbindung des Eileiters, wo die Spermien für eine Zeitperiode von Stunden, Tagen oder Wochen aufbewahrt werden (Bakst et al., 1994). Um diese Spermienaufbewahrungsdrüsen (SAD) zu erreichen, müssen die Spermien den vaginalen Bereich passieren bzw. die vaginale Umwelt überleben (Donoghue, 1999). Der vaginalen Bereich ist gleichzeitig der Ort der Spermioselektion. Der Mechanismus der vaginalen Spermioselektion liegt möglicherweise nach Bakst et al. (1994) in der Oberflächenstruktur des Plasmalemmas der Spermienzellen, an der sich die Immunoglobuline anhaften. Von den Spermien mit einer Anhaftung an Immunoglobuline waren 85 % abgestorben, während nur 7 % der lebenden Spermien eine Anhaftung von Immunoglobulinen an ihren Zellwänden aufwiesen. Bei Intravaginal- oder Direktinsemination in den Uterus sind die Spermien im Uterovaginalbereich oder im Infundibulum immunoglobulinfrei (Bakst et al., 1994). Nach Froman et al. (1999) wiesen die Spermien keinen Unterschied in ihrer Lebensfähigkeit auf, wenn sie mit aus luminaler Oberfläche der Vagina gewonnenen Immunoglobulinen versetzt waren im Vergleich zu Spermien, die nicht Antispermien-Immunoglobulin des Blutserums ausgesetzt waren. Von daher widersprechen die Autoren der Hypothese, dass die vaginalen Immunoglobuline ein immunologisches Hindernis des

Spermientransportes darstellen. Eher scheinen inhärente Eigenschaften der Spermien wie Spermienbeweglichkeit bzw. -motilität für den Gesamtkomplex Fertilität entscheidend zu sein. Die Autoren fanden eine enge Beziehung zwischen Spermienbeweglichkeit und Befruchtungsrates. Nach Donoghue (1999) können nur motile Spermien den vaginalen Bereich passieren und die Spermienaufbewahrungsdrüsen erreichen. Nach Bakst et al. (1994) können die Spermienmotilität und/oder ein spezieller Flüssigkeitstransport-Mechanismus für den Transport der Spermien in der Vagina verantwortlich sein.

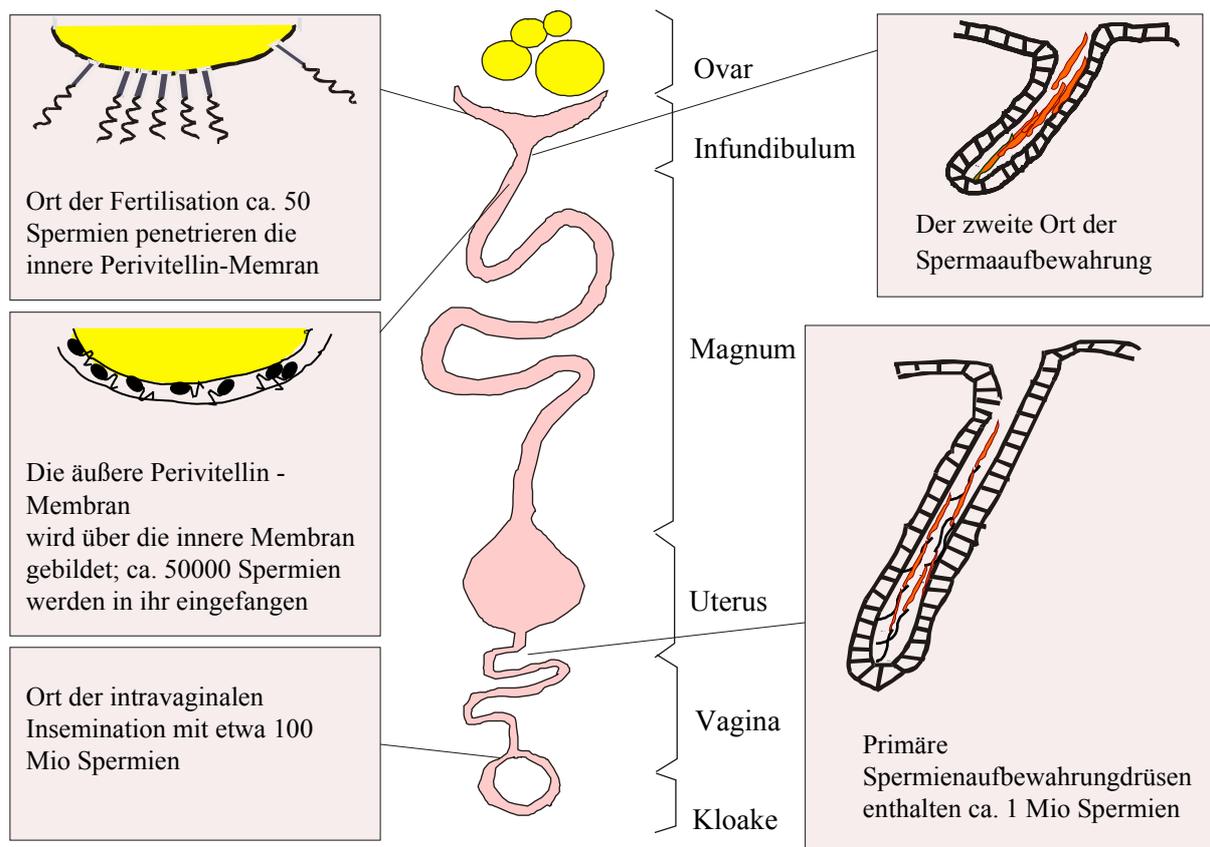


Abb. 2.2: Schematische Darstellung der Spermienwanderung vom Ort der Insemination zu den Spermienaufbewahrungsdrüsen und deren Auftreten auf die äußere und innere Perivitellin-Membran (Wishart, 1996)

Diagram depicting the oviductal migration of sperms from the site of intravaginal insemination to the primary sperm storage site at the uterovaginal junction and their encounters with the inner (IPVL) and outer (OPVL) perivitelline layers of the egg (Wishart, 1996)

Nach McDaniel et al. (1996) besteht eine hohe positive Korrelation ($r=+0,97$) zwischen Spermamotilität und der Einlagerung bzw. der Anzahl der Spermien in den

Spermienaufbewahrungsdrüsen. Nach Wishart und Palmer (1986) besteht eine hohe positive Korrelation zwischen Spermienmotilität und Fertilität.

Der genaue Mechanismus der Spermienaufnahme, des Überlebens der Spermien in den Spermienaufbewahrungsdrüsen und die Freisetzung der Spermien aus diesen Drüsen ist nicht klar (Bakst et al., 1994; Froman et al., 1999). Nach Bakst et al. (1994) führen alle Faktoren, die die Aufnahmefähigkeit der Aufbewahrungsdrüsen für Spermien und die Freisetzung der Spermien beeinträchtigen, zu einer Verminderung der Fertilität. Obgleich einige Autoren einen Zusammenhang zwischen ovulatorischem Zyklus bzw. der Oviposition und der Freisetzung von Spermien aus den Drüsen vermutet haben (Van Krey, 1990), werden die Spermien aus den Aufbewahrungsdrüsen wahrscheinlich kontinuierlich oder episodisch (Bakst, 1981) unabhängig vom ovulatorischen Zyklus freigesetzt.

Die Spermien wandern durch Muskelkontraktionen des Eileiters und/oder durch die Zilliaraktivität der Mukosa durch den Ovidukt nach oben und gelangen in den Distalbereich des Infundibulums, dem später besetzten Ort für die Spermalagerung (Spermiennester). Nach Compton und Van Krey (1979) findet eine Stratifikation bei der Freisetzung der Spermien statt. Dies bedeutet, dass die meisten Küken von den zuletzt inseminierten Samen stammen. Die Freisetzung der Spermien bei der Ovulation von infundibularen Spermiennestern geschieht wahrscheinlich durch Distention des Infundibulums (Bakst und Bahr, 1993). Die Spermien treffen im Infundibulum des Eileiters auf die vom Trichter aufgenommene Eizelle und hydrolisieren enzymatisch durch Freisetzung von akrosomalen trypsinähnlichen Enzymen in die Eintrittskanäle in der inneren Perivitellinmembran und passieren diese, um die Eizelle zu befruchten. Polyspermie ist vorherrschend, jedoch nur ein Spermium verschmilzt mit dem Eikern (Bakst and Bahr, 1993). Dabei zeigen die Spermien bei der Hydrolyse der inneren Perivitellinmembran eine hohe Präferenz für den Bereich von etwa 2,6 mm Durchmesser direkt über der Keimscheibe (162,8 Eintrittskanäle /1,35 mm² in vivo) im Vergleich zu anderen Bereichen der inneren Perivitellinmembran (8,4 Eintrittskanäle /1,35 mm² in vivo), dies sowohl in vivo (Bramwell et al., 1995) als auch in vitro (Bramwell und Howarth, 1992). Der Mechanismus hierfür ist unbekannt (Wishart und Staines, 1999). Es wurde jedoch eine positive Korrelation zwischen der Anzahl beider Kategorien von Eintrittskanälen in der inneren Perivitellinmembran gefunden. Auch eine hohe positive Korrelation zwischen der Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran über der Keimscheibe und der Fertilität ($r=0,89$) wird von Bramwell et al. (1995) beschrieben. Nach

Bramwell et al. (1995) nimmt die Anzahl der Kanäle mit zunehmender inseminierter Spermamenge zu und mit zunehmender Zeit nach der Insemination ab.

Die Spermien, die sich während der Bildung der äußeren Perivitellinmembran im Infundibulum bzw. im Magnum befinden, werden in dem proteinartigen Gitter der äußeren Perivitellinmembran eingefangen. Es besteht eine hohe positive Korrelation zwischen der Anzahl der Spermien, die an der äußeren Perivitellinmembran gebunden sind und der proportionalen Anzahl der Aufbewahrungsdrüsen, die Spermien enthalten, sowie der Befruchtungsrate, der Fertilitätsdauer und der Anzahl der Spermien in den Aufbewahrungsdrüsen (Brillard und Antoine, 1990; Brillard und Bakst, 1990).

2.1.3.1 Einfluss der Umwelttemperatur

Mehrere Autoren haben eine Beeinträchtigung der Fertilität durch hohe Umwelttemperaturen während der Sommermonate unter konventionellen Produktionsbedingungen beschrieben (Heywang, 1944; Al-Saudi et al., 1979; Hsia, 1990; Singh, 1999). Andere Autoren haben den Einfluss von hohen Temperaturen auf die Fertilität unter kontrollierten Versuchsbedingungen untersucht.

Ein Hitzestress von nur 3,5 Stunden bei 40 °C führte zu einer signifikanten Reduktion des Spermavolumens, der Spermamotilität und der Spermakonzentration bei Tieren der Rasse White Plymouth Rock (Boone und Husten, 1963). Eine mit zunehmendem Alter verstärkte Wechselwirkung zwischen Umwelttemperatur und Photoperiode auf die Merkmale Samenvolumen und Spermakonzentration bei Weißen Leghorn-Hähnen wurde von Ingkasuwan and Ogasawara (1966) nachgewiesen. Unter den hohen Temperaturen von 32 °C und 14-stündigem Lichtangebot war das Merkmal Spermavolumen im Vergleich zu den Haltungstemperaturen von 20-25 °C sowohl unter 8- als auch unter 14-stündigem Lichtangebot am niedrigsten. Die niedrigste Spermienkonzentration wurde bei einem 8-stündigen Lichtangebot und unter hohen Temperaturen beschrieben. Jedoch zeigten die Hähne unter demselben Lichtangebot (8 h) und Temperaturen von 20–25 °C die höchste Spermakonzentration.

Chhum (1994) wies ebenfalls einen negativen Effekt der hohen Temperaturen auf das Spermavolumen im Vergleich zu gemäßigten Temperaturen bei Broiler-Elterntieren nach. Eine Beeinträchtigung des Merkmals Spermakonzentration konnte dagegen nicht nachgewiesen werden. Allerdings wurde eine signifikante Reduktion der Befruchtungsrate um

5,6 % durch hohe Temperaturen bei Hennen festgestellt.

Huston (1975) kreuzte in einer Versuchsperiode von 20 Wochen die Weißen Plymouth Rock - Hähne, die unter konstanten Umwelttemperaturen von 8, 19 und 30 °C gehalten waren, mit Leghornhennen. Die Hennen wurden unter mittleren Haltungstemperaturen von 19 °C gehalten. Sowohl die niedrigen (8 °C) als auch die hohen Temperaturen (30 °C) führten im Vergleich zu mittleren Umwelttemperaturen von 19 °C zu einer signifikant niedrigeren Befruchtungsrate. Die gewonnene Spermamenge wurde ebenfalls durch hohe Temperaturen reduziert. Im Vergleich zu konstanten Umwelttemperaturen von 8 °C wurde auch bei unter hohen Temperaturen von 30 °C gehaltenen Hennen eine signifikant niedrigere Befruchtungsrate festgestellt. Das inseminierte Sperma stammte dabei von Hähnen, die unter einer mittleren Umwelttemperatur von 19 °C gehalten wurden.

Muiruri und Harrison (1991) konnten für das Merkmal Fertilität keinen signifikanten Unterschied bei 3-wöchiger, konstanter Hitzebelastung von 35 °C im Vergleich zu 25 °C bei Weißen Plymouth Rock -Hennen feststellen.

Clark und Sarakoon (1967) untersuchten den Einfluss von fluktuierenden Umwelttemperaturen von 21 °C (15 h) und 38 °C (9 h) im Vergleich zu konstanten Temperaturen von 20 °C der Kontrollgruppe auf Reproduktionsmerkmale von Hähnen und Hennen aus vier Weiße Leghorn -Herkünften über eine Periode von 24 Wochen. Weder das Spermavolumen noch die Merkmale Spermakonzentration und metabolische Aktivität der Spermien (Methylenblau-Reduktionszeit) wurden durch hohe Umwelttemperaturen beeinträchtigt. Auch wurde keine wärmeinduzierte Beeinträchtigung der Befruchtungsrate bei den Hähnen festgestellt. Jedoch zeigten die Hennen, die unter hohen Temperaturen gehalten wurden, eine um 13 % niedrigere Befruchtungsrate als die Hennen unter Kontrollbedingungen. Ähnlich verfahren El Jack und de Reviere (1979). Sie fanden jedoch einen Rückgang der Befruchtungsrate sowohl bei den Hennen als auch bei den Hähnen unter wechselnden Umgebungstemperaturen von 20-32 °C im Vergleich zu konstanten Haltungsbedingungen von 20 °C. Diese Wirkung war nicht verstärkt, wenn beide Geschlechter zugleich einer Hitzebehandlung ausgesetzt waren.

Moore et al. (1982) untersuchten die entlastende Wirkung von kühlem Luftstrom auf die Fertilität der Hähne und Hennen, die jeweils für 6 Wochen einer moderaten (27 °C, 32 °C, 27 °C jeweils für 8 h/Tag) und danach einer schweren (27 °C, 36 °C, 27 °C) Hitzebelastung ausgesetzt waren. Durch die Bereitstellung eines kühlen Luftstroms war die Fertilität unter

beiden Temperaturregimen gegenüber der Kontrollgruppe (ohne Bereitstellung eines kühlenden Luftstromes) signifikant erhöht..

Keine signifikante Verbesserung der Befruchtungsrate unter 3-wöchigen wechselnden Umwelttemperaturen (10 h bei 35 °C und 14 h bei 28 °C) stellten Morrison et al. (1990) fest, wenn den Hennen und den Hähnen mit Wasser (10 °C) gekühlte Sitzstangen zur Verfügung standen.

Diese teilweise geringe Übereinstimmung der Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses höherer Temperaturen auf die Fertilität kann durch Verwendung von Tiermaterial unterschiedlicher Hitzetoleranz, wie z.B. leichten gegenüber schweren Körpertypen, durch verschiedene Altersstruktur oder durch abweichende Temperaturregime (Höhe und Dauer) verursacht sein. Die genaue Ursache der wärmebedingten Reduktion der Fertilität ist nicht völlig klar. Darüber hinaus sind wenig Informationen über die Wechselwirkung zwischen hohen Temperaturen und Alter der Hähne und Hennen vorhanden. Auch existieren kaum Untersuchungen über den Verlauf der Abnahme der Fertilisationsfähigkeit der Spermien nach der Besamung bei unterschiedlichen Umwelttemperaturen.

Zuletzt untersuchten McDaniel et al. (1995) den Einfluss von hohen Temperaturen auf Reproduktions- und Produktionsmerkmale von hitzestressen (konstante Temperaturen 32,2 °C) Broilerhähnen und -hennen im Alter von 21 Wochen für eine Zeitperiode von 8 Wochen. Sowohl bei Hähnen als auch bei Hennen wurde unter den hohen Temperaturen eine signifikante Erhöhung der Körperkerntemperatur (rektal) im Vergleich zur Kontrollgruppe (21,1 °C) beobachtet. Bei den Hähnen wurde für die Sameneigenschaften (Volumen, Spermakonzentration und prozentualer Anteil an abgestorbenen Spermien) kein signifikanter Unterschied gefunden. Wenn die Hennen jedoch mit dem Sperma der hitzestressen Hähne besamt wurden, war die Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran signifikant gegenüber der Besamung mit Sperma der Kontrollgruppe reduziert (67 %). Es wurde lediglich tendenziell ($P \leq 0,11$) eine Reduktion der Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran bei hitzestressen Hennen festgestellt. Die Merkmale Befruchtungsrate und Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran waren hoch miteinander korreliert ($r=0,96$). Während eine signifikante Reduktion der Fertilität durch die Nutzung von Sperma der hitzestressen Hähne festgestellt wurde, war der Befruchtungserfolg zwischen beiden Hennengruppen nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,20$). Im Gegenteil dazu wurde jedoch eine negative Korrelation

($r=-0,87$) zwischen Körperkerntemperatur der Hennen und ihrer Fertilität festgestellt. Die Interaktion zwischen den Gruppen beider Geschlechter war beim Merkmal Fertilität nicht signifikant. Wenn die Hennen mit dem Sperma der hitzestressten Hähne besamt worden waren, verlief die Reduzierung der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran während der Postinseminationszeit linear, wohingegen beim Einsatz des Spermas aus der Kontrollgruppe der Verlauf auf einem höheren Niveau nichtlinear war. Die größte Differenz (71 %) der Spermienpenetrationskanäle in der Inneren Perivitellinmembran zwischen beiden Hahngruppen wurde am zweiten Tag der Postinsemination beobachtet. Mit zunehmender Dauer der Hitzebehandlung nahm die Zahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran linear ab, während sie bei Verwendung des Spermas der Kontrollgruppe über den Behandlungszeitraum annähernd konstant blieb.

McDaniel et al. (1996) untersuchten in einem weiteren Experiment den Einfluss von hohen Temperaturen bei Broiler-Hähnen auf die Anzahl der Spermien in den Spermienaufbewahrungsdrüsen der Hennen sowie auf die Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran *in vivo* (im Uterus) und *in vitro* (Zugabe des Spermas zur inneren Perivitellinmembran außerhalb des Uterus). Die Anzahl der Spermienpenetrationskanäle bei der Verwendung von Sperma von hitzestressten Hähnen war *in vivo*, jedoch nicht *in vitro* (außerhalb des Uterus) reduziert im Vergleich zur Anwendung von Sperma von Hähnen der Kontrollgruppe. Bei der Besamung der Hennen mit dem Sperma der hitzestressten Hähne war die Anzahl der Spermien in den utero-vaginalen Spermienaufbewahrungsdrüsen im Vergleich zur Verwendung von Hähnen aus der Kontrollgruppe um 60 % reduziert. Die Anzahl der Spermien in den utero-vaginalen Spermienaufbewahrungsdrüsen war positiv korreliert mit der Anzahl der Spermienpenetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran ($r=0,85$) und mit der Spermienmotilität ($r=0,97$), aber negativ korreliert mit der Körperkerntemperatur ($r=-0,94$). Der Unterschied zwischen *in vivo* und *in vitro* bei der Anzahl der Penetrationskanäle der Spermien der hitzestressten Hähne ist möglicherweise auf die niedrige Anzahl der Spermien am Ort der Fertilisation zurückzuführen und nicht auf die Fähigkeit der Spermien, in die Perivitellinmembran zu penetrieren.

Die niedrige Anzahl der Spermien am Ort der Fertilisation liegt nach den Autoren darin begründet, dass bei der Insemination des Spermas von hitzestressten Hähnen die Anzahl der Spermien in den Aufbewahrungsdrüsen bzw. im Eileiter der Hennen reduziert ist. Als

mögliche Ursache der Spermienreduktion im Eileiter der Henne wurde von McDaniel et al. (1996) eine hitzeinduzierte Beeinträchtigung der Spermienmotilität angenommen. Nach El Jack und de Reviere (1979) war die negative Wirkung der hohen Temperatur nicht verstärkt, wenn beide Paarungspartner, Hähne und Hennen, den Hitzebedingungen ausgesetzt waren (s. oben). Die Autoren vermuteten eine Selektion der thermoresistenten Spermien entweder im Samenleiter der Hähne oder im Uterus der Hennen.

Singh (1999) untersuchte den Effekt der unterschiedlichen Jahreszeiten (kühl, ≤ 18 °C; gemäßigt, 19 bis 38 °C; heiss, ≥ 38 °C) auf die Fertilität bei 369753 Hennen einer Broiler-Elternlinie unter konventionellen Produktionsbedingungen an unterschiedlichen Standorten in Indien. Die heißen Saisonbedingungen führten zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Fertilität. Der Autor konnte keine signifikante Interaktion zwischen Jahreszeit und Altersklassen der Herde (jung: 29 bis 38 Lebenswochen; mittel: 39 bis 53; alt: 54 bis 68) feststellen. Nach Howes et. al. (1961) nahm sowohl die Befruchtungsrate als auch die Fertilitätsdauer mit zunehmender Temperatur (konstant 10 °C; 15,5 °C; 21,1 °C ; 26,6 °C ; 32,2 °C; 37,8 °C) bei der Rasse Weiße Leghorn ab, was auf eine Beziehung zwischen Temperatur und Fertilitätsdauer hindeutet. Da aber sowohl Hennen als auch Hähne den hohen Temperaturen unterworfen waren, ist die relative Bedeutung der beiden Geschlechter an diesem Phänomen nicht differenzierbar.

2.1.3.2 Einfluss des Alters der Zuchthennen

Kirk et al. (1980) zeigten in einem mehrjährigen Experiment bei Broiler-Zuchttieren (Rasse Ross), dass mit Fortschreiten des Alters die Befruchtungsrate der eingelegten Eier zunächst zunimmt und dann abnimmt (nichtlineare Abnahme der Befruchtungsrate in Abhängigkeit vom Alter). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die Autoren Deeming und Van Middelkoop (1999) bei den kommerziellen Broilerlinien Ross und Cobb. Sie fanden eine signifikante ($P \leq 0,001$) Reduktion der Befruchtungsrate bei den 53-55 Wochen alten Hennen im Vergleich zu 33-35 Wochen alten Tieren.

Nach Bramwell et al. (1996) wiesen 39 Wochen alte Broilerhennen im Vergleich zu 69 Wochen alten Hennen, die jeweils für eine Zeitperiode von 4 Wochen mit dem Sperma (konstante Anzahl von Spermien) von alten Hähnen (69 Wochen alt) und jungen Hähnen (39 Wochen alt) künstlich besamt wurden, eine höhere durchschnittliche Anzahl von

Penetrationskanälen in der inneren Perivitellinmembran über der Keimscheibe (7,27) und eine höhere Fertilität (73,7 %) auf. Bei den 69 Wochen alten Hennen betrug die Anzahl der Kanäle 4,82 und die Befruchtungsrate 54,9 Prozent. Im Gegensatz dazu führte die Insemination des Spermas von jungen Hähnen im Vergleich zu alten Hähnen jedoch zu einer signifikanten Reduktion der Anzahl der Kanäle und der Fertilität. Bei den jungen Hähnen betrug die Anzahl der Kanäle 4,82 und die Fertilität 58,0 Prozent, bei den alten Hähnen 7,24 und 70,6 Prozent. Wenn die jungen Hennen mit dem Sperma von alten Hähnen inseminiert worden waren, lag die Anzahl der Kanäle bei 8,6 und die Fertilität bei 76,1 %, wohingegen bei der Besamung der alten Hennen mit dem Sperma der jungen Hähne die Werte bei 3,7 und 44,7 % lagen. Während der Verlauf der Anzahl der Penetrationskanäle in der inneren Perivitellinmembran in der Postinseminationszeit bei den alten Hennen unabhängig vom Alter der Hähne einer quadratischen Funktion entsprach, zeigte die Anzahl der Kanäle bei den jungen Hennen einen linearen Verlauf auf einem höheren Niveau.

Bramwell et al. (1996) stellten keine altersbedingte Reduktion für das Merkmal Fertilität durch die Hähne fest, was wahrscheinlich auf die konstante Anzahl der inseminierten Spermien (50 Millionen) zurückzuführen ist. Die physiologische Fähigkeit der Spermien, die Membran der Eizelle zu penetrieren und sie zu befruchten, scheint nicht durch die Seneszenz der Hähne beeinträchtigt zu werden. Nach den Autoren stellt die altersbedingte Reduktion der Fertilität durch die Hähne bei der natürlichen Anpaarung in der kommerziellen Broilerproduktion mehr ein physisches (Libido, Aggression der Hähne) als ein physiologisches Problem dar.

Auch Hocking und Bernard (2000) fanden keine altersbedingte Reduktion der Fertilität unter natürlicher Anpaarung und restriktiver Fütterung (separate Fütterung der Hennen und Hähne), weder bei den Broilerhennen noch bei den Broilerhähnen. Als Ursache für diese unerwarteten Ergebnisse wurde eine häufigere Paarung bei der strengen Gewichtskontrolle vermutet.

Nach Pierson et al. (1988) waren bei den alten Hennen eine hohe Anzahl von utero-vaginalen Spermienaufbewahrungsdrüsen, die keine oder nur eine geringere Anzahl Spermien enthielten. Van Krey et al. (1967) hatten schon nachgewiesen, dass die Hennen mit niedriger Befruchtungsrate hauptsächlich spermienleere utero-vaginale Drüsen besitzen, während bei den Hennen mit hoher Befruchtungsrate die meisten utero-vaginalen Drüsen vollständig oder mindestens partiell mit Spermien gefüllt waren. Nach Brillard (1993) findet die Freisetzung

der Spermien von den utero-vaginalen Drüsen bei alten Hennen schneller statt als bei jungen Hennen. Nach Bramwell et al. (1996) liegt die alterungsbedingte Reduktion der Fertilität bei den Hennen darin begründet, dass entweder die Spermien im Eileiter bei alten Hennen ihre Lebensfähigkeit schneller einbüßen als bei jungen Hennen oder dass die Anzahl von Spermienrezeptoren auf der Oberflächenmembran der Eizelle mit dem Alter abnimmt.

Nach Robinson et al. (1991) könnte eine altersbedingte Reduktion der Fertilität auch durch ein höheres Vorkommen von Erst-Eiern bei den verkürzten Legeserien nach der Peak-Phase der Legeperiode hervorgerufen worden sein (s. unten).

2.1.3.3 Auswirkung von Eiquantitätsmerkmalen

Tindell und Morris (1964) haben einen signifikanten linearen Effekt der Eigewichtsklassen (46,7-51,8 g; 51,8-56,9 g; 57,0-62,1 g; 62,2-67,4 g) auf die Befruchtungsrate (83,4 %; 86,3 %; 90,6 %; 92,6 %) beschrieben. Dabei wurde die Zunahme der Befruchtungsrate mit zunehmendem Eigewicht darauf zurückgeführt, dass die kleinen Eier von besonders jungen, erst kurz in die Produktion gekommenen Hennen stammen, die im Vergleich zu älteren Hennen noch wenig getreten werden.

Proudfoot und Hulan (1981) stellten dagegen keinen signifikanten Unterschied in der Befruchtungsrate der kleinen (46-50 g) und größeren Eier (53-57 g) bei gleich alten Masttieren im Alter von 27 Wochen fest, obwohl die größeren Eier tendenziell eine niedrigere Befruchtungsrate aufwiesen.

Stöve-Schimmelpfennig und Flock (1982) haben den Einfluss des Eigewichtes auf die Befruchtungsrate bei den Rassen Rhode Island Red und Sussex untersucht. Während die Befruchtungsrate mit zunehmendem Eigewicht bei der Rasse Sussex abnahm, bestand bei der Rasse Rhode Island Red offenbar kein Zusammenhang zwischen dem Eigewicht und der Befruchtungsrate. Als mögliche Ursache der Differenzen zwischen beiden Linien wurde von den Autoren die geringere Eignung der überschweren, verfetteten Hennen der Rasse Sussex für die künstliche Besamung angeführt, die auf der erschwerten Verlagerung der Vagina für die Besamung beruht.

Bilgili et al. (1984) untersuchten den Effekt der Schalenqualität, die nach dem Merkmal Spezifisches Gewicht der Eier in drei Klassen (niedrig = <1,07; mittel = 1,07-1,08; hoch = >1,08) unterteilt wurde, auf die Fertilität der Hennen. Die Autoren fanden eine signifikante Reduktion der Befruchtungsrate für die Klassen von 43,3 %, 64,5 % und 62,1 Prozent.

Ausserdem beschrieben sie eine reduzierte Befruchtungsdauer (7,1 Tage, 9,9 Tage und 11,4 Tage) für Eier mit niedrigerem spezifischen Gewicht. Dieser negative Effekt der Schalenqualität auf die Befruchtungsrate findet Bestätigung in den Untersuchungen von McDaniel et al. (1981a), Bennet (1992) sowie Roque und Soares (1994), die ebenfalls eine signifikante Reduktion der Befruchtungsrate bei dünnchaligen Eiern (Spezifisches Gewicht <1,080) gegenüber dickschaligen Eiern (Spezifisches Gewicht >1,080) mit 91,5 vs. 94,3; 87,4 vs. 90,0 und 94,3 vs. 96,5 % feststellten.

2.1.3.4 Auswirkung der Legeintensität und der Position des Eies in der Legeserie

Nach Kosin und Mun (1960) nahm die Befruchtungsrate mit der Reihenfolge der Eier in der Legeserie bei der Truthenne tendenziell ab. Die Autoren fanden eine signifikante Reduktion der Fertilität bei der ein-Ei-Serie im Vergleich zur mehr-Ei-Serie. Nach Bacon and Nestor (1979) war die Befruchtungsrate der Ersteier in der Legeserie einschließlich der ein-Ei-Serie im Vergleich zu anderen Eiern der Legeserie sowohl bei mittelschweren ($P \leq 0,05$) als auch bei den schweren Large White -Truthennen um 2,6 % reduziert. Robinson et al. (1991) untersuchten die Auswirkung der Position des Eies in der Legeserie bei den Broilerhennen auf Fertilität und embryonale Mortalität. Die Position des Eies an erster Stelle in der Serie führte im Vergleich zu den folgenden Eiern in der Legeserie zu einem tendenziellen Rückgang der Befruchtungsrate (87,0 vs. 89,6 %) und der embryonalen Lebensrate (lebendige Embryonen/fertile Eier) (89,7 vs. 92,7 Prozent). Die Embryonenrate (Anzahl der Embryonen am 7. Tag der Bebrütung/eingelegte Eier) war bei den Ersteiern jedoch signifikant reduziert. Als Ursache kann längere Verweildauer des Follikels am Eierstock und damit eine alterungsbedingte Beeinträchtigung der Fertilisationsfähigkeit der Eizelle oder aber auch frühembryonale Mortalität vor und nach dem Legen vermutet werden. Die Serienlänge steht in positiver und damit die Zahl der 'Erst-Eier' in negativer Beziehung zur Legeleistung. Daraus erklärt sich auch, dass McDaniel et al. (1981a) eine signifikante positive Korrelation ($r = 0,18$, $P \leq 0,01$) zwischen täglicher Legeleistung (hen-day-production) und Fertilität bei 40-Wochen alten Hennen nachwiesen. Jedoch war die Korrelationsbeziehung bei 32 - und 53 Wochen alten Hennen entsprechend der Legeleistungskurve nicht signifikant.

2.1.3.5 Körpergewicht der Hennen und Fütterungsniveau

Die intensive Selektion auf schnelles Wachstum bei Broilern führte zu einer Zunahme des Gewichtes bei adulten Tieren. Die Reproduktionsfähigkeit der Broilerlinien ist durch die außerordentliche Zunahme der Futteraufnahme sowie durch die mit der Selektion für schnelles Wachstum einhergehenden korrelierten Merkmale stark beeinträchtigt (Pym, 1985; Siegel und Dunnington, 1985; Wilson und Harms, 1986). Die Mastelterntiere müssen nicht nur das genetische Potential für schnelles und effektives Wachstum vorweisen, sondern auch die Fähigkeit der ausreichenden Reproduktion besitzen. Unter konventionellen Haltungsbedingungen müssen Broilerelternlinien daher restriktiv gefüttert werden, um eine für die beste Reproduktionsleistung optimale Gewichtsentwicklung zu erzielen. Dementsprechend müssen sich Untersuchungen über den Einfluss des Gewichtes auf die Reproduktion mit unterschiedlichen Fütterungsregimes befassen.

Hinsichtlich der Frage nach dem optimalen Ausmaß der Futterrestriktion gehen die Meinungen aufgrund der genetischen Differenzen zwischen den Linien und der andauernden Veränderung des genetischen Status weit auseinander (Robinson et al., 1993). Eine signifikante negative Korrelation zwischen Körpergewicht und Fertilität bei unterschiedlich alten Broilerhennen wurde von McDaniel et al. (1981 a) nachgewiesen. Nach Wilson et al. (1983) führte die Futterrestriktion während der Aufzucht (Lebensalter 8-24 Wochen, jeden zweiten Tag ein Hungertag) und der Legeperiode (Alter bis 67 Wochen) zu einer signifikanten Reduktion des Körpergewichtes der Hennen (3389 g vs. 4253 g bei Alter von 40 Wochen) und zu einer verbesserten Fertilität im Vergleich zu ad libitum gefütterten Hennen (70,4 vs. 87,2 %).

Yu et al. (1992) untersuchten den Einfluss der Futterrestriktion und ad libitum-Fütterung während der Aufzucht und der Legeperiode auf die Befruchtungsrate bei Broilern der Herkunft Arbor Acres, mit dem Ergebnis, dass die Futterrestriktion während der beiden Perioden signifikant zu einer besseren Befruchtungsrate (91,9 %) führte als die restriktive Fütterung während einer von beiden Perioden (82,3 bzw. 82,0 %) bzw. die Vollfütterung während der beiden Perioden (78,0 %).

Nach Attia et al. (1995) führte eine Reduktion des Energieangebotes um 6 bzw. 12 % zu einer Reduktion der Eizahl, jedoch zu keiner Veränderung in der Fertilität.

Goerzen et al. (1996) untersuchten den Effekt der ad libitum-Fütterung bei Broilerhennen

(Shaver Starbo), die bis zur 52. Woche restriktiv gefüttert worden waren, und zwar in zwei Testperioden von 56- 60 und 60-64 Wochen auf die Befruchtungsdauer, gemessen bis zum letzten befruchteten Ei vor zwei unbefruchteten Eiern. Die ad libitum Fütterung führte zu einer signifikanten Gewichtserhöhung der Hennen (3,459 vs. 4,261 kg erste und 3,565 vs. 4,448 kg zweite Versuchsperiode). Während in der ersten Versuchsperiode kein Unterschied in der Befruchtungsdauer festgestellt werden konnte, war die Befruchtungsdauer bei ad libitum gefütterten Hennen während der zweiten Versuchsperiode signifikant reduziert (10 vs. 12,7 Tage). Nach Katanbaf et al. (1989) führte die Futterrestriktion bei Mastelertieren zu keiner Verbesserung der Fertilität, jedoch zu einer signifikanten Verbesserung der Befruchtungsdauer.

Eine Beeinträchtigung der Befruchtungsrate und Befruchtungsdauer stellten Van Krey und Siegel (1974) durch die Selektion auf hohes 8-Wochen Gewicht (Rasse White Rock) fest.

Nach Van Krey et al. (1971) gab es keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl der utero-vaginalen Spermienaufbewahrungsdrüsen zwischen Linien, die auf hohe und niedrige Körpergewichte selektiert wurden, jedoch war die Anzahl der leeren Drüsen bei den schwergewichtigen Linien signifikant höher.

McDaniel et al. (1981) vermuteten, dass eine Fettakkumulation in der utero-vaginalen Verbindung zu einer Beeinträchtigung der Spermienaufbewahrung und der Befruchtungsdauer führt. Bilgili und Renden (1985) fanden jedoch keine signifikante Korrelation zwischen Befruchtungsrate, Befruchtungsdauer und Fettgehalt des Eileiters, aber eine signifikante Korrelation zwischen Körperfettgehalt und Fertilität. So daß für den negativen Effekt des Körperfettgehaltes auf die Fertilität ein anderer Mechanismus zugrunde liegen muss als eine Fettablagerung in der utero-vaginalen Verbindung des Eileiters.

Ferner weisen nach Robinson et al. (1993) die ad libitum gefütterten Hennen eine unregelmäßige Legetätigkeit auf und haben von daher oft mehr als ein Ei im Eileiter, was zu einer Beeinträchtigung der Spermawanderung von dem utero-vaginalen Zwischenbereich zum Ort der Fertilisation führen kann und damit zu einer möglichen Reduktion der Fertilität.

Aufgrund der Mehrfachbeziehungen zwischen den oben beschriebenen Faktoren analysierten Fasenko et al. (1992a) den Einfluss der folgenden Faktoren Hennenalter, Hennengewicht, Eigewicht, Befruchtungsdauer, Position des Eies in der Serie und Zeitpunkt der Oviposition mittels schrittweiser logistischer Regression auf das Merkmal Fertilität. Von den Autoren wurde eine signifikante Beziehung zwischen den Faktoren Hennengewicht,

Befruchtungsdauer, Hennenalter, Eigewicht und Befruchtungsrate festgestellt, was eine unabhängige Einflussnahme der Faktoren zeigt. Zwischen der Position des Eis in der Legeserie und der Befruchtungsrate (Befruchtungsrate des Erst-Eis im Vergleich zu folgenden Eiern) (88,9 vs. 91,5 %) wurde keine signifikante Beziehung festgestellt.

2.1.4 Merkmalskomplex der Embryonalentwicklung und Schlupffähigkeit

2.1.4.1 Embryonalentwicklung

Die Befruchtung der Eizelle findet ca. 15 Minuten nach der Ovulation im Infundibulum statt. Unmittelbar nach der Befruchtung der Eizelle im Infundibulum setzt die embryonale Entwicklung unter dem Einfluss der Körpertemperatur der Henne ein (Steinke, 1983). Bis zur Wanderung zum Isthmus erreicht die Eizelle ein 4-8 Zellenstadium. Im Uterus erreicht sie die Blastula-Phase und bei der Eiablage die Grulaphase. Nach der Eiablage ruht die embryonale Entwicklung durch das Abkühlen der Bruteier unter den physiologischen Nullpunkt. Unter Brutbedingungen (Temperatureinfluss) beginnt die Weiterentwicklung des Embryos. Nach 21 Bebrütungstagen ist der Embryo schlupfreif. Die Wachstumsgeschwindigkeit weist während der Brutzeit von 21 Tagen keinen konstanten Verlauf auf. Der Embryo wiegt am 10. Tag nicht mehr als 2 bis 3 Gramm. In der nachfolgenden Brutzeit wächst das Embryonalgewicht um das 15-20 fache.

Viele Faktoren, die genetische Disposition des Embryos und der Henne, die Umweltbedingungen der Henne sowie die Umweltbedingungen während der Lagerung und des Bebrütens der Bruteier nehmen Einfluss auf die Schlupffähigkeit, sie ist ein Ergebnis komplexer biologischer Prozesse.

Die genetischen Faktoren werden direkt (letale und semi-letale Faktoren) oder indirekt (Beeinflussung der Eiquantitätsmerkmale) wirksam. Die maternalen Umweltbedingungen (Klima, Ernährung, Hygienestatus und Krankheitsdruck) beeinflussen die embryonale Entwicklung vor und nach der Oviposition. Die maternalen Umweltbedingungen können insbesondere durch die Beeinflussung der Bruteiquantität die Schlupffähigkeit beeinträchtigen. Im folgenden Kapitel werden die für diese Arbeit relevanten Faktoren abgehandelt.

2.1.4.1.1 Zeitpunkt der embryonalen Mortalität

Die embryonale Mortalität ist nicht gleichmässig über die Bebrütungsperiode verteilt. Payne (1919) fand heraus, dass etwa 65 % der embryonalen Mortalität während der Bebrütungsperiode auf zwei Phasen verteilt sind: auf eine deutlich ausgeprägte Phase der frühembryonalen Mortalität mit einem Peak am 4. Tag der Bebrütung und auf eine noch stärker ausgeprägte spätembryonale Phase mit einem Peak am 19. Tag der Bebrütung. Romanoff (1972) unterteilt die embryonale Mortalität in 3 Phasen mit einem Peak um den 4., 11. und 19. Tag der Bebrütung. Dieser charakteristische Verlauf der embryonalen Mortalität während der Zeit des Bebrütens gilt auch für andere Geflügelarten (Romanoff, 1972).

Dementsprechend wird der Zeitpunkt des Absterbens des Embryos einer der drei Phasen zugeordnet. Hierbei wird das Absterben des Embryos während der ersten 7 Tage als frühe embryonale Mortalität, das Absterben während des 8. bis 18. Tages bzw. bis zur Umlage als mittlere embryonale Mortalität und die Zeit im Schlupfbrüter als späte embryonale Mortalität bezeichnet (Beaumont et al., 1997). Zuletzt entwickelten Jassim et al. (1996) ein mathematisches Modell für die Analyse der embryonalen Mortalität und die Charakterisierung der Verteilung der embryonalen Sterberate während des Bebrütungszeitraumes (s. Kapitel 3).

2.1.4.1.2 Embryonale Fehlstellung

Am Ende der Bebrütung nimmt der Embryo eine Stellung ein, in der der Embryonalkörper parallel zur Längsachse und der Kopf am stumpfen Ende des Eies positioniert ist. Der Kopf ist nach rechts gedreht und liegt unter dem rechten Flügel. Da der Schnabel in Richtung Luftkammer zeigt und dem Embryo das Einpicken in die Luftkammer und das Einsetzen der Lungenatmung ermöglicht, wird diese Position als normal bezeichnet. Der Embryo kann jedoch eine von dieser Normalstellung abweichende Position einnehmen (embryonale Fehlstellung), welche den Schlupfprozess beeinträchtigen kann (Romanoff, 1972).

Hutt und Pilkey (1934), Landauer (1967) und Romanoff (1972) haben auf der Basis der Untersuchungen von Sanctuary (1925), Hutt (1929), Byerly (1930) und Smith (1931) die embryonalen Fehlstellungen wie folgt klassifiziert:

- I. Der Kopf liegt zwischen den Beinen
- II. Der Kopf liegt im schmalen Ende des Eies
- III. Der Kopf liegt auf der linken Seite statt auf der rechten Seite unter dem rechten Flügel
- IV. Der Embryo ist so gedreht, dass der Schnabel nicht in Richtung Luftkammer zeigt
- V. Die Füße liegen über dem Kopf
- VI. Der Schnabel liegt über dem rechten Flügel anstelle unter ihm
- VII. Der Embryo liegt quer zum Ei

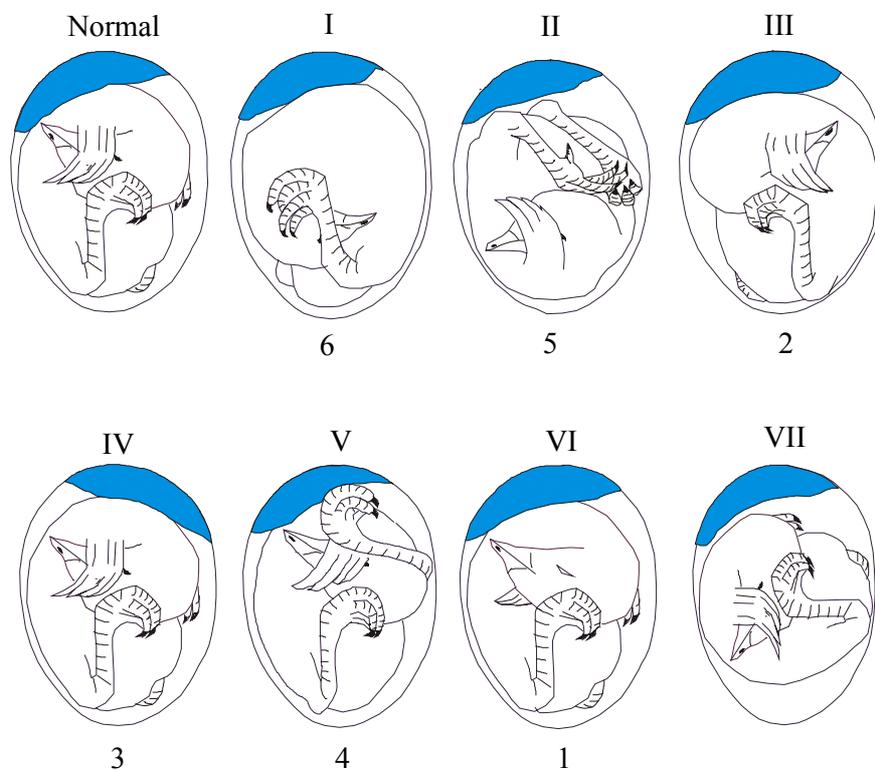


Abb. 2.3: Darstellung der embryonalen Fehlstellungen (1-6) nach Romanoff (1972). Die römischen Zahlen (I-VI) stellen die Klassifikation der embryonalen Fehlstellungen nach Landauer (1967) und VII nach Beschreibung von Anderson Brown (1988) dar.

Schematic of the various forms of malposition of embryo (1-6) after Romanoff (1972), (I-VI) after Landauer (1967) and VII after Anderson Brown (1988).

Zusätzlich zu den oben erwähnten Fehlstellungen kann der Kopf unter dem rechten Fuß liegen. Diese Fehlstellung wird von Landauer (1967) als die Fehlstellung Nummer VII beschrieben. Anderson Braun (1988) klassifiziert die Fehlstellung VII in der Weise, dass die

Längsachse des Embryonalkörpers quer zur Längsachse des Eies positioniert ist (s. Abb. 2.3). Der Embryo kann auch mehr als eine embryonale Fehlstellung, quasi eine Kombination von zwei verschiedenen Fehlstellungen aufweisen. Hutt (1929) beobachtet eine Kombination von Fehlstellung I und II sowie II und III. Die Untersuchungen an abgestorbenen Embryonen zeigten, dass mehr als die Hälfte am Ende der Bebrütungszeit eine embryonale Fehlstellung aufwies (Hutt, 1929; Hutt und Pilkey, 1934), wobei die Fehlstellungen V und VI selten vorkommen (Landauer, 1967).

Die embryonale Fehlstellung I ist eine Position, die der Embryo während der Embryonalbewegung (am 17.-18. Tag) in seiner endgültigen Schlupfposition einnimmt. Diese Position zeigt, dass der Embryo entweder in dieser Phase, bevor er die endgültige Schlupfposition einnimmt, abgestorben ist oder eine verspätete Entwicklung aufweist. Nur ein sehr geringer Anteil, etwa 0,6 % (Byerly und Olsen, 1936a) der Embryonen, die am Ende der Bebrütung abgestorben sind und die Fehlstellung I aufweisen, gelangen zu einem Anpicken der Eischale. Nach Robertson (1961) sind etwa 55,6 % der Embryonen, die am 20. Tag diese Stellung (mittels Röntgenaufnahmen sichtbar gemacht) aufzeigten, geschlüpft, was die Annahme bestätigt, dass die Fehlstellung I eine transitionale Stellung bei der Einnahme der endgültigen Schlupfposition ist.

Die Fehlstellung II ist semi-letal und führt zu einer Reduktion der Schlupffähigkeit (Byerly und Olsen, 1936a; Talmagde, 1977; Bauer et al., 1990) und zur Beeinträchtigung der Qualität von Eintagsküken (Muller und Williams, 1975; Bauer et al., 1990). Nach Hutt (1929) ist es für die Embryonen in Fehlstellung II, III, und IV fast unmöglich, die Luftkammer zu erreichen, sie sind damit auf die alleinige Sauerstoffversorgung durch die Allantois angewiesen, was beim Aufbrechen der Schale im Hinblick auf den Energiebedarf ein Hindernis darstellt und möglicherweise nur den stärksten Embryonen erlaubt, aus dieser Position (II) zu schlüpfen.

Nur 1,1 % (37 von 3240) der abgestorbenen Embryonen, die am Ende der Bebrütung eine Fehlstellung III aufzeigten, hatten die Eischale einpicken können (Byerly und Olsen, 1936a). Nach Robertson (1961a) konnten nur 20 % der Embryonen aus dieser Stellung tatsächlich schlüpfen. Dies verdeutlicht, dass die Fehlstellung III als ziemlich letal zu bewerten ist. Nach Byerly and Olsen (1934) liegt die Position des Kopfes bzw. des Schnabels bei der Fehlstellung III in Richtung der Embryonalbewegung (gegen den Uhrzeigersinn), was zu einer Verhinderung der Embryonalbewegung während des Schlupfes führen kann.

Nach Byerly and Olsen (1936a) gelang es 9,8 % der Embryonen, die am Ende der Bebrütung die Fehlstellung IV vorwiesen, die Schale zu durchbrechen. Trotzdem ist es wenig wahrscheinlich, dass die Fehlstellung IV eine hohe embryonale Mortalität verursacht. Mehr als die Hälfte der Embryonen, die am 19. Tag der Bebrütung noch in dieser Position sind, schlüpfen entweder aus einer Normalposition (Veränderung aus der Fehlposition IV zur Normalposition) oder aus der Fehlposition IV selbst (Byerly and Olsen, 1936a).

Eine der Ursachen der embryonalen Fehlstellung liegt in der Position des Eis während der Bebrütung. Die Bebrütung des Bruteies mit schmalem Pol nach oben führt zu einem erhöhten Vorkommen von Fehlstellung II (Byerly und Olsen, 1933; El-Ibiary et al., 1966; Talmagde, 1977; Bauer et al., 1990). Eine Bebrütung der Bruteier in der Position, in der der stumpfe Pol des Eies nach oben zeigt, führt im Vergleich zur horizontalen Bebrütungsposition zu einer Erhöhung der embryonalen Fehlstellung III (3,38 % vs. 1,50 % der am 18. Tag lebenden Embryonen) und zu einer Reduktion der Fehlstellungen II (1,79 % vs. 3,67 %) und IV (0,59 % vs 3,00 %) (Byerly und Olsen, 1936b). Nach Byerly (1938) führt eine suboptimal hohe Bebrütungstemperatur zu einem erhöhten Vorkommen der Fehlstellungen I, III und insbesondere II (Byerly, 1938; French, 2000) und eine suboptimal niedrige Temperatur bzw. Kühlung der Bruteier führt zu vermehrtem Auftreten von Fehlstellung II (Byerly, 1938; Lancaster und Jones, 1988). Eine erhöhte Bebrütungsluftfeuchte bewirkt ein erhöhtes Vorkommen von Fehlstellung I (Robertson, 1961b).

Eine erhöhte embryonale Fehlstellung während der warmen Monate stellten Amer (1962) und Rudraprasad et al. (1996) fest. Nach Amer (1962) kann die Ursache der erhöhten embryonalen Fehlstellung, insbesondere die Fehlstellung II, durch eine wärmebedingte Verschlechterung der Eischale verursacht sein. Ferner werden fehlerhafte Wendungen während der Bebrütung, maternales Alter und Ernährungsdefizite als weitere Ursachen von embryonalen Fehlstellungen beschrieben (Robertson, 1961a; Landauer, 1967; Wilson und Wilmering, 1988).

2.1.4.2 Merkmalskomplex der Schlupffähigkeit

2.1.4.2.1 Maternale Umwelttemperatur

Nach Heywang (1944) nahm die Schlupfrate der befruchteten Eier bei der Rasse Weiße Leghorn (Hähne und Hennen) mit zunehmenden mittleren Tagestemperaturen (18 °C: 78,8 %;

18,7 °C: 79,3 %; 24,9 °C: 78,5 %; 27,4 °C: 72,2 %; 30,6 °C: 67,9 %; 33,8 °C: 55,1 %) ab. Die Schlupfrate der befruchteten Eier war um 13 % signifikant reduziert, wenn sich die mittlere Tages-Maximum-Temperaturen (T_{\max}) von 38,7 °C auf 41,5 °C erhöhten. Während eine Zunahme der mittleren Tagestemperaturen bis 30,6 °C (T_{\max} 38,7 °C) zu einer Erhöhung der embryonalen Sterblichkeit während des 7.-21. Tag des Bebrütens führte, verursachte eine weitere Erhöhung der mittleren Tagestemperaturen auf 33,8 °C (T_{\max} 41,5 °C) einen deutlichen Anstieg der embryonalen Mortalität während der Frühphase der embryonalen Entwicklung (bis zum 7. Tag des Bebrütens).

Eine höhere frühembryonale Sterblichkeitsrate wurde ebenfalls während der heißen Jahreszeit im Irak bei 4 verschiedenen Linien (Irakische Lokale Population, New Hampshire, Weiße Leghorn, Kreuzungslinie) beschrieben (Al-Saudi et al., 1979).

El Jack und de Reviere (1975) fanden einen Rückgang der Schlupfrate der eingelegten Bruteier bei den Hennen (69 % vs. 58 %, $P \leq 0,01$), die unter wechselnden Umgebungstemperaturen von 20-32 °C im Vergleich zu kontrollierten Umwelttemperaturen von 20 °C gehalten wurden, wobei die reduzierte Schlupfrate hauptsächlich durch eine wärmeinduzierte Beeinträchtigung der Befruchtungsrate bedingt war. Dabei stammte das inseminierte Sperma von Hähnen aus kontrollierten Umwelttemperatur-Bedingungen von 20 °Celsius. Bei der Insemination der Hennen aus der Kontrollgruppe mit dem Sperma von hitzestressen Hähnen (20-32 °C) war die Schlupfrate im Vergleich zu Hähnen aus der Kontrollgruppe signifikant reduziert, was ebenfalls auf die stark reduzierte Befruchtungsrate durch hohe Temperaturen zurückzuführen war.

Im Vergleich zu konstanten Umwelttemperaturen von 8 °C wurde unter konstanten Umwelttemperaturen von 30 °C in einer Versuchsperiode von 20 Wochen bei der Rasse Weißes Leghorn (Kreuzungs-Insemination mit dem Sperma der Hähne der Rasse Weiße Plymouth Rock, die bei einer Temperatur von 19 °C gehalten wurden) keine wärmebedingte Reduktion der Schlupfrate festgestellt (Huston, 1975).

Zu ähnlichen Ergebnissen bei Kreuzungen (s. Kapitel 2.1.3.1) kommen McDaniel et al. (1995). Die Autoren fanden keine signifikante Beeinträchtigung der Schlupfrate der befruchteten Eier durch Hennen oder durch Hähne, wenn die Hennen (Herkunft Arbor Acres) und die Hähne (Herkunft Peterson) für eine Zeitperiode von 8 Wochen unter hohen Temperaturen (32 °C) im Vergleich zur Kontrollgruppe (21,1 °C) gehalten wurden.

Muiruri und Harrison (1991) stellten eine Reduktion der Schlupfrate der befruchteten Bruteier

um 16,3 % bei der Rasse Weiße Plymouth Rock (Hahn und Hennen) bei 3-wöchiger konstanter Hitzebelastung von 35 °C im Vergleich zu 25 °C fest. Die Bereitstellung mit Wasser gekühlter (20 °C) Sitzstangen bei hitzestressierten Tieren führte zu einer signifikanten Verbesserung der Schlupfrate der befruchteten Eier von 10,7 Prozent. Mennicken (1995) konnte eine Verbesserung der Schlupfrate der eingelegten Eier (kommerzielle Broiler-Elternlinie) unter den tropischen Bedingungen Malaysias durch die Kühlung von Trinkwasser (81,7 % bei 18,3 °C vs. 77 % bei 30,8 °C) und erhöhter Luftgeschwindigkeit (82,3 % bei 2,6 m/s 10 h/Tag vs. 76,3 % bei 0,4 m/s) erzielen, wobei hier der Einfluss der hohen Temperaturen auf die Befruchtungsrate und die Schlupfrate vermengt ist. Dagegen konnten Morrison et al. (1990) keine Verbesserung der Schlupfrate feststellen, wenn Broilerhennen und -hähne unter fluktuierenden Umwelttemperaturen (35 °C für 10 h, 28 °C für 14 h) mit Wasser gekühlter (10 °C) Sitzstangen zur Verfügung standen. Moore et al. (1982) konnten ebenfalls keine Verbesserung der Schlupfrate unter fluktuierenden Umwelttemperaturen (27-36-27 °C jeweils für 8 h/Tag) bei Broilerhennen und -hähnen durch die Bereitstellung eines kühlen Luftstroms mit geringem Volumen nachweisen. Wenn die Hähne unter hohen Umwelttemperaturen gehalten werden (McDaniel et al., 1996), scheint die Schlupffähigkeit der befruchteten Eier nicht beeinträchtigt zu werden.

2.1.4.2.2 Einfluss des Alters der Zuchthennen

Die Schlupfrate nimmt im Laufe der Legeperiode mit dem Alter zunächst zu und nach Erreichen einer Peak-Phase wieder stetig ab (Tomhave, 1956; Kirk et al., 1980; French und Tullet, 1991).

Bei Kirk et al. (1980) lag im Vergleich zum Zeitpunkt der maximalen Schlupfrate von 91 % im Alter von 44 Wochen die Schlupfrate für 60 Wochen alte Tiere (Herkunft Ross) bei 82 %. Bei O'Sullivan et al. (1991) stieg die Schlupfrate in einer 8-wöchigen Versuchsperiode bei den jungen Broiler-Mutterhennen, die zu Beginn des Versuches 28 Wochen alt waren (Regressionskoeffizient $b = 0,017$, $P \leq 0,01$). Zugleich sank die frühembryonale Mortalität (1.-7. Bebrütungstag) linear ab (Regressionskoeffizient $b = -0,008$, $P \leq 0,01$). Demgegenüber wurde keine signifikante Veränderung der Schlupfrate in einer 4-wöchigen Versuchsperiode bei Broilerhennen festgestellt, wenn die Hennen zu Beginn der Versuchsperiode 64 Wochen alt waren. Smith und Bohren (1975) fanden ebenfalls eine reduzierte Schlupfrate bei jungen Tieren (20-28 Wochen alt) im Vergleich zu älteren, bis zu 37 Wochen alten Hennen. Hocking

und Bernard (2000) verglichen die Schlupfrate von 3 Altersgruppen (jung: 27-29 Wochen, mittelalt: 35-37 Wochen, und alt: 55-57 Wochen) der Broiler-Mutterhennen und Broiler-Vatertiere bei getrennter, restriktiver Fütterung und natürlicher Anpaarung. Während die Autoren keine altersbedingte Beeinträchtigung der Schlupfrate durch die Hähne nachweisen konnten, war die Schlupfrate der Bruteier von jungen und alten Hennen im Vergleich zu der von mittelalten Hennen signifikant reduziert (90,9 % vs. 92,8 %, $P \leq 0,05$, und 90,1 % vs. 92,4 %, $P \leq 0,05$).

Eine höhere embryonale Mortalität wurde während der 1. und 2. Woche der Bebrütung bei den Bruteiern von jungen Hennen und während der 2. Woche der Bebrütung bei den Bruteiern von alten Hennen im Vergleich zu den Bruteiern von mittelalten Hennen festgestellt. Die spätembryonale Mortalität und die Anzahl der angepickten Eier waren bei den drei verschiedenen Altersgruppen nicht unterschiedlich.

Nach Roque and Soares (1994) war die Schlupfrate der befruchteten Eier bei 27-31 Wochen alten Broilern gegenüber den 40-44 und 55-59 Wochen alten Tieren signifikant reduziert (88,4 % vs 93,2 % und 91,8 %). Der reduzierte Schlupf der befruchteten Eier war durch eine erhöhte früh- und teils auch spätembryonale Sterberate verursacht.

Nach Reinhart und Hurnik (1984) war die Sterberate während der Spätphase der embryonalen Entwicklung (19.-21. Tag der Bebrütung) sowie das Vorkommen von Fehlstellungen bei Bruteiern von 50-52 Wochen alten Broilerhennen signifikant höher als bei 33-35 Wochen alten Hennen.

Nach Christensen et al. (1996) war bei den Bruteiern von jungen (33-38 Wochen alt) und von alten Truthennen (45-50 Wochen alt) im Vergleich zu denen von mittelalten (39-44 Wochen) Truthennen die frühembryonale Mortalität (1. Woche der Bebrütung) signifikant erhöht. Die Autoren fanden keinen signifikanten Unterschied in der embryonalen Mortalität zwischen den Bruteiern aller 3 Altersgruppen während der Plateauphase der embryonalen Entwicklung (s.2.1.4.2.6). Jedoch wurde während der Phase des Anpickens eine signifikant höhere embryonale Mortalität bei den Bruteiern der alten und mittelalten Truthennen gegenüber den jungen Hennen festgestellt. Bruteier von alten Truthennen zeigten eine signifikant niedrigere Schlupfrate der befruchteten Bruteier als die Bruteier von jungen und mittelalten Hennen.

Bei Mather und Laughlin (1979) war die embryonale Entwicklung zum Zeitpunkt der Eiablage in den Bruteiern der älteren Hennen weiter fortgeschritten als in den Bruteiern von jungen Hennen. Mit zunehmender Lagerungsdauer nahm die Anzahl der missgebildeten

Embryonen zu , wobei nach 14-tägiger Lagerung die Anzahl der missgebildeten Embryonen in den Bruteiern von jungen und alten Hennen im Vergleich zu der von mittelalten Hennen höher war.

Mit zunehmendem Alter der Henne verändern sich die Merkmale des Eies. Das Eigewicht nimmt mit dem Alter zu. Während der prozentuale Anteil an Eidotter (Frischgewicht und Trockengewicht) mit dem Alter zunimmt, nehmen der prozentuale Anteil an Eiklar (nass und trocken) und der Anteil der Eischale ab (Ahvar, 1979; French und Tullet, 1990; O'Sullivan, 1991, Applegate und Lilburn, 1998). Andererseits wird der Anstieg des Eigewichtes bei einem gegebenen Hennenalter hauptsächlich durch den höheren Eiklaranteil verursacht, so dass Eier mit gleichem Gewicht bei unterschiedlichem Hennenalter wahrscheinlich in ihren Bestandteilen variieren (French und Tullet, 1991). Auch die Eiklarqualität bzw. die Viskosität des Eiklars wird durch das Alter beeinflusst (Benton und Brake, 1996). Ferner nehmen die Schalendurchlässigkeit (French und Tullet, 1991; Christensen et al., 1996) und die Länge der Legeserie sowie die Anzahl der Ersteier (Robinson et al., 1990) mit dem Alter zu, so dass bei der Diskussion über den Einfluss des Alters auf die Schlupffähigkeit die Berücksichtigung der Einflüsse dieser komplexen Faktoren notwendig ist (French und Tullet, 1991). McDaniel und Roland (1977) fanden heraus, dass über 40 % der Eier der älteren Hennen (53 Wochen alt) ein spezifisches Gewicht unter 1,080 haben und dass die Verschlechterung der Eiqualität der bedeutendste Faktor für die reduzierte Schlupffähigkeit der Bruteier von älteren Hennen sein kann. Fassenko et al. (1992a) jedoch konnten mittels schrittweiser logistischer Regression einen hoch signifikanten Effekt des Hennenalters neben den Faktoren Hennengewicht und Postinseminationszeit auf die Schlupffähigkeit der eingelegten Bruteier nachweisen. Bezogen auf den Schlupf der befruchteten Eier war allerdings der Effekt der Position des Eies in der Legeserie und des Hennengewichtes auf die Schlupffähigkeit signifikant.

2.1.4.2.3 Eigewicht und Eifractionen

In der Literatur wird der Einfluss des Eigewichtes auf die Schlupfrate unterschiedlich beschrieben. Während einige Autoren (Godfrey, 1936; Nordskog und Hassan, 1971) eine kurvilineare Beziehung zwischen Eigewicht und Schlupfrate nachwiesen, zeigten andere Autoren eine lineare Abnahme der Schlupfrate auf der Basis der umgelegten Bruteier von 50 bis 71 g bzw. bis 76 g Eigewicht (Stöve-Schimmelpfennig und Flock, 1982; Förster et al., 1992). Demgegenüber fanden andere Autoren (Tindell und Morris, 1964; McDaniel, 1980;

Proudfoot und Hulan, 1981) keinen signifikanten Unterschied zwischen der Schlupfrate der befruchteten Eier unterschiedlicher Eigewichtsklassen.

Nach Coles (1956) kann das durchschnittliche Eigewicht der einzelnen Henne vom Durchschnitt der Herde beträchtlich abweichen, dabei kann das optimale Eigewicht für eine hohe Schlupfrate bei den einzelnen Hennen unterschiedlich sein. Daher definiert der Autor das Gewicht eines Bruteies einer Henne als im Standardbereich liegend, wenn es in einem Abweichungsbereich von 10 g vom Mittelwert liegt. Er fand heraus, dass die Bruteier, die mit ihrem Gewicht unter das Standardgewicht fielen, eine bessere Schlupfrate (befruchtete Eier) aufwiesen als die Standardeier bzw. die Eier, die über dem Standard lagen.

Morris et al. (1968) stellten eine verbesserte Schlupfrate bei befruchteten Bruteiern von 48-58 g gegenüber den kleineren Bruteiern von 44-46 g fest. Czarnecka (1954) fand ebenfalls, dass die Schlupfrate (53 %) der kleinen Bruteier (54 g -56 g) sogar schlechter war als die Schlupfrate der 60,1-65 g schweren Bruteier (81 %) oder der über 65 g wiegenden Eier (74 %). Nach Czarnecka (1954) können die großen Eier eine schlechte Schlupfrate aufweisen, wenn diese Bruteier von Hennen stammen, die normalerweise kleine Eier legen.

Fasenko et al. (1992a) konnten keinen signifikanten Effekt des Eigewichtes auf die Schlupfrate der befruchteten Eier nachweisen, wenn die oben genannten Einflussfaktoren in das Regressionsmodell aufgenommen wurden. Nach Hagger et al. (1986) war die embryonale Mortalität am 9.-21. Tag der Bebrütung bei schweren Eigewichten signifikant erhöht. Reinhart und Hurnik (1984) fanden ebenfalls eine signifikant höhere embryonale Mortalität und Fehlstellung am 19.-21. Tag der Bebrütung bei den extra großen Eiern (69,6 g) im Vergleich zu kleineren Eiern (59,3-65,4 g).

2.1.4.2.4 Körpergewicht der Hennen und Fütterungsniveau

Es besteht eine negative Beziehung zwischen der Selektion für schnelles Wachstum bzw. bessere Futtermittelverwertung und der Selektion auf Reproduktionsmerkmale. Pym (1985) untersuchte die Auswirkung der Selektion (10 Generationen) auf hohes Körpergewicht, Erhöhung der Futteraufnahme und Verringerung des Futtermittelverbrauchs auf die Reproduktion. Im Vergleich zur Kontrollgruppe war die Schlupfrate der eingelegten Bruteier bei allen 3 Selektionslinien reduziert. Bei der auf hohes Körpergewicht selektierten Linie wurde die niedrigste Schlupfrate beobachtet.

Eine hoch signifikante negative Korrelation zwischen Körpergewicht und Schlupf der

befruchteten Bruteier bei unterschiedlich alten Broilerhennen unter restriktiver Fütterung stellten auch McDaniel et al. (1981 a) fest ($r = -0,18$ bei 32 Wochen; $r = -0,27$ bei 40 Wochen; $r = -0,23$ bei 53 Wochen).

Viele Autoren haben den Einfluss der Futterrestriktion auf die Körpergewichtsentwicklung und Reproduktionsleistung von Broiler-Muttertieren untersucht. Ein signifikant verbesserter Schlupf der befruchteten Bruteier durch Futterrestriktion und Körpergewichtskontrolle im Vergleich zu ad libitum Fütterung wurde von vielen Autoren beschrieben (Sherwood et al., 1964; McDaniel et al., 1981b; Ousterhout, 1982; Wilson et al., 1983; Yu et al., 1992). Demgegenüber konnten andere Autoren keine signifikante Wirkung durch die durch unterschiedliche Futterregime verursachten Körpergewichtsunterschiede auf das Schlupfergebnis der befruchteten Eier feststellen (Wilson und Harms, 1986; Katanbaf et al., 1989). Auch bei Fattori et al. (1991) führte eine Reduktion des Futterangebotes um 8 %, 16 %, 24 % bzw. eine Erhöhung um 8 % vom empfohlenen Standard zu keiner Beeinträchtigung des Schlupfes der befruchteten Bruteier (Herkunft Arbor Arces). Nach Robinson et al. (1993) liegt der große Teil der Ursachen für die reduzierte embryonale Überlebensfähigkeit bei schwergewichtigen Hennen in einem erhöhten Anfall und Bebrüten von nicht brutfähigen Bruteiern. Im Vergleich zu Legehennen oder restriktiv gefütterten Broilerhennen wiesen die ad libitum gefütterten Broilerhennen einen prozentual höheren Anteil an weichschaligen Wind- und Brucheiern sowie an defekten und doppeldottrigen Eiern auf (Japp und Muir, 1968; Fuller et al., 1969; Wilson und Harms, 1986; Katanbaf et al., 1989; Lilburn und Myers-Miller, 1989; Yu et al., 1992), wobei die Legetätigkeit der ad libitum gefütterten Broilerhennen sehr unregelmäßig war (erratic oviposition) (Muir, 1968; Yu et al., 1992). Diese Unregelmäßigkeit war positiv korreliert mit dem Legen von defekten Eiern (Yu et al. (1992)). Bemerkenswert ist die Beobachtung bei Schlachtkörperanalysen, dass ein signifikant erhöhter Abdominal- und Körperfettgehalt bei den ad libitum gefütterten Broilerhennen im Vergleich zu den restriktiv gefütterten besteht (Fuller et al., 1969; Robbins et al., 1988; Robinson et al., 1991). Nach Robinson et al. (1991) liegt der Grund für die erhöhte embryonale Sterberate der ad libitum gefütterten Hennen möglicherweise in einem veränderten Fettmetabolismus dieser Hennen.

2.1.4.2.5 Legeintensität und die Position des Eies in der Legeserie

Nach McDaniel et al. (1981a) bestand eine signifikante positive Korrelation zwischen

Legeleistung (hen-day-production) und Schlupf der befruchteten Bruteier von Broilerhennen zwischen 0,16 bis 0,27 (abhängig vom Alter der Henne). Zwischen der Schlupfrate der Bruteier und der Legeleistung von Hybridlegehennen fanden Förster et al. (1992) sogar einen positiven Korrelationskoeffizient von 0,41 bis 0,50.

Untersuchungen über die Bedeutung der Position von Bruteiern in der Legeserie bei Truthennen (Nestor und Bacon, 1979), Legehennen (Förster et al., 1992; Förster et al., 1994) und Broilerhennen (Fasenko et al., 1992a) zeigten, dass die Schlupfergebnisse der befruchteten erstständigen Eier (Erst-Eier) im Vergleich zu den anderen Bruteiern der Serie signifikant reduziert sind. Nach Förster et al. (1992) betrug der Rückgang der Schlupfrate bei den erstständigen Eiern mit mehr als 1 Tag im Vergleich zu mittelständigen Eiern 18-23 Prozent. Bei den ersten Eiern nach eintägiger Pause lag der Rückgang bei 5-9 Prozent. Bei Einzeleiern war die Schlupfrate um 11-15 % schlechter.

Eine hohe frühembryonale Mortalität haben Förster et al. (1992) bei den Erst-Eiern (erstständigen Eiern) nachgewiesen. Robinson et al. (1991) stellten bei den Ersteiern im Vergleich zu den darauffolgenden Eiern ein signifikant höheres Eigewicht, aber ein signifikant geringeres Embryogewicht (in % zum Eigewicht nach dem 7. Tag des Bebrütens), einen geringeren prozentualen Schalenanteil und höhere Gewichtsverluste während des Bebrütens fest. Nach Fasenko et al. (1992a) war die Embryonalentwicklung bei den Erst-Eiern im Vergleich zu den darauffolgenden Eiern der Serie bei der Eiablage weiter fortgeschritten. Als mögliche Ursache der hohen embryonalen Mortalität der Erst-Eier im Vergleich zu den folgenden Eiern der Legeserie wird von Förster et al. (1992) und Robinson et al. (1991) eine Alterung der Follikel am Eierstock sowie ein weiter fortgeschrittener Entwicklungsstand des Embryos bei der Eiablage angenommen.

2.1.4.2.6 Einfluss der Eischalendurchlässigkeit auf die Respiration und embryonale Stoffwechselaktivität

Die embryonale Stoffwechselaktivität kann entweder durch die Sauerstoffverbrauchsrate (VO_2), die Kohlendioxidproduktion oder die Wärmeproduktion gemessen werden (Vleck und Vleck, 1987). Die Sauerstoff-Verbrauchsrate (VO_2) ist jedoch die häufigste Methode zur Messung der embryonalen Stoffwechselrate, zum eine, weil der Sauerstoffverbrauch leicht zu bestimmen ist und in direkter Beziehung zum Energieverbrauch steht, und zudem eine geringe anaerobe Stoffwechselaktivität kurz vor dem Schlüpfen zu verzeichnen ist (Vleck,

1991).

Das Brutei ist ein System, das alle Nährstoffe, Mineralien, Flüssigkeiten und Energievorräte enthält, die der Embryo zu seiner Entwicklung braucht (Rahn et al., 1979; Vleck und Vleck, 1987; Visschedijk, 1991). Unter Brutbedingungen beginnt die embryonale Entwicklung insbesondere durch die Zufuhr von Energie in Form von Wärme. Die Stoffwechselaktivität basiert zunächst auf der Diffusion des passiv notwendigen Sauerstoffes aufgrund des Konzentrationsgefälles durch die Poren der Eischale. Die Eischale bietet dem Embryo einerseits mechanischen Schutz, andererseits muss durch die Eischale mittels der in ihr vorhandenen Poren (etwa 10000 Poren/Ei) der für das Wachstum, die Entwicklung und das Überleben des Embryos notwendige Gasaustausch (Sauerstoff, Kohlendioxyd und Wasserdampf) stattfinden. Die Poren der Eischale münden in die äußere Schalenmembran, die an der Innenseite der harten Schale angeheftet ist. Die äußere sowie die innere Schalenmembran bestehen aus einem Netzwerk organischer Fasern. Nachdem das Ei gelegt worden ist, füllen sich die Räume zwischen den Fasern beider Membranen, die mit der Luftkammer in Verbindung stehen, mit Luft (Rahn et al., 1979; Visschedijk, 1991), so daß der Embryo von einem Gasmedium umhüllt ist. Die Luftkammer entwickelt sich mit zunehmender Lagerung und Brut zwischen beiden Membranen durch Verdunstung am stumpfen Pol (Visschedijk, 1987; Visschedijk, 1991).

Während des pränatalen Stadiums wächst die Chorioallantois-Membran (das Atmungsorgan des Embryos); sie liegt auf der inneren Schalenmembran und überzieht diese bis zum zwölften Tag vollständig. Dort bildet sie ein Netz feiner Blutgefäße. Das Blut in den Blutgefäßen der Chorioallantois-Membran nimmt den durch die Eischale diffundierten Sauerstoff auf und gibt das Kohlendioxyd ab (Abb. 2.4). Am Anfang der Bebrütung ist der Sauerstoffverbrauch des wachsenden Embryos sehr gering, er nimmt aber im Laufe der Bebrütung rapide zu (Tullet und Burton, 1986) und erreicht am 15. und 16. Bebrütungstag seinen Maximalwert (Hoiby et al., 1983). Von dieser Zeit an bleibt der Sauerstoffverbrauch bis zum 19. Tag konstant und bildet die sogenannte Plateauphase (Freeman und Vince, 1974). Die Plateauphase entsteht durch die Limitation der Poren der Eischale für diffusiven Gastransport, sie verhindert einen weiter zunehmenden embryonalen Sauerstoffverbrauch (Hoiby et al., 1983; Visschedijk, 1991). Die Plateauphase wird von Rahn et al. (1979) als eine Zeit bezeichnet, in der der Schlupfprozeß beginnt, und in der der Embryo einer Hypoxie und einer Hyperkapnie ausgesetzt ist. Der Plateauphase folgt die paranatale Phase.

Charakteristisch für diese Phase ist das Anpicken der Luftkammer (internal pipping) und der Beginn der pulmonalen Respiration. In dieser Phase funktionieren die zwei Respirationssysteme, Chorioallantois-System (Diffusion) und pulmonales System (Konvektion) simultan (Freeman und Vince, 1974; Rahn, 1981).

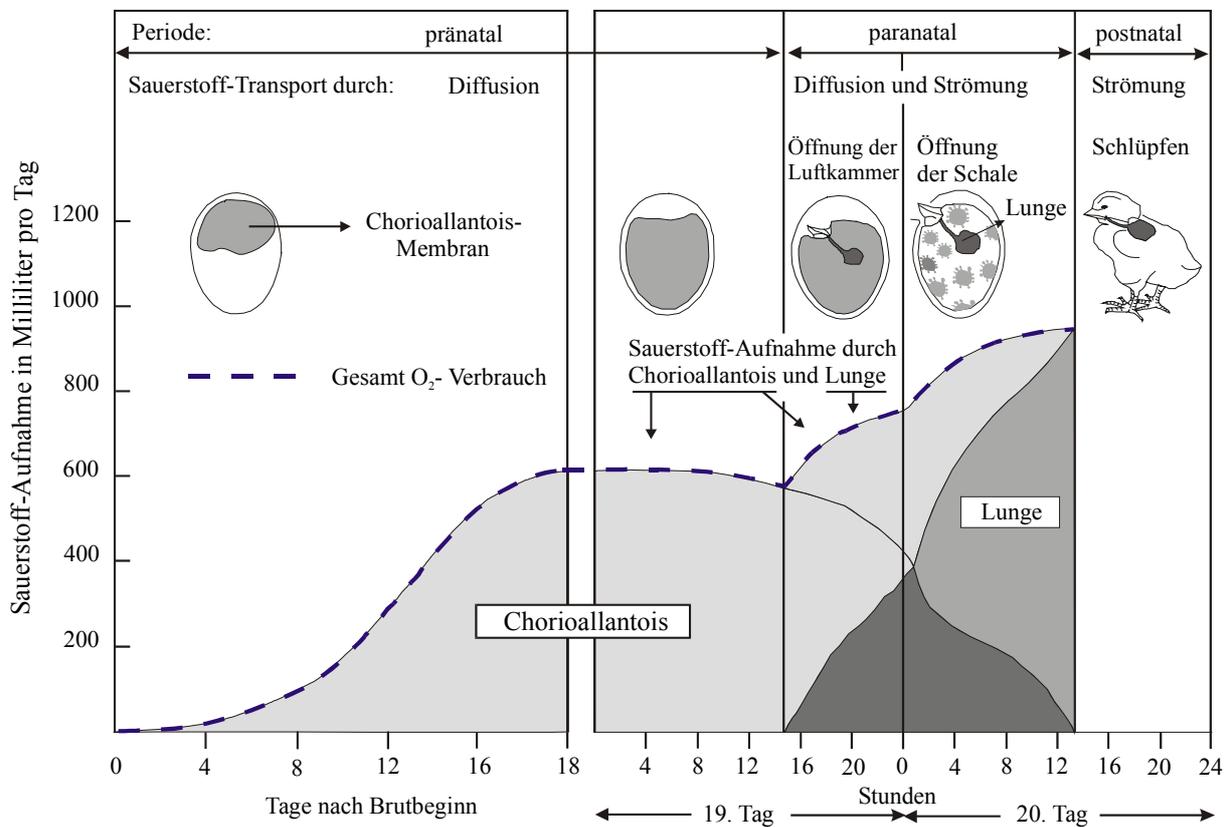


Abb. 2.4: Darstellung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxydproduktion des Kükenembryos während der Inkubation und postnataler Periode (Rahn et al., 1979).

Oxygen consumption and carbon dioxide production of the chicken embryo during incubation and postnatal period (Rahn et al., 1979)

Die Atmung innerhalb der Luftkammer ist beschränkt auf wenige Stunden. Während dieser Phase erhöhen sich Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxydproduktion (Visschedijk, 1968). Danach folgt das Anpicken der Eischale (external pipping) und dadurch die Möglichkeit zur Atmung der äußeren Luft (Rahn, 1981), wobei ein steiler Anstieg des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxydproduktion zu verzeichnen ist (Visschedijk, 1968). Ein allmählicher Übergang von diffusivem zu konvektivem Gastransport scheint lebensnotwendig zu sein, da ein zusätzlicher Sauerstoffbedarf während des Schlüpfens nicht durch die Chorioallantois zu

befriedigen ist (Rahn, 1981).

Mit zunehmender Bebrütungszeit nimmt der Sauerstoff-Partialdruck in der Luftkammer und im Blut der Chorionallantois-Venen (O_2 -angereichertes Blut) und in den Arterien kontinuierlich ab, während der Kohlendioxidpartialdruck in der Luftkammer und in den Chorionallantois-Arterien zunimmt (Freeman and Vince, 1974; Tazawa; 1978). Nach Tullet und Burton (1986) liegt der Sauerstoff-Partialdruck der Luftkammer kurz vor dem internal pipping bei 100 mm Hg (14 %) und der Kohlendioxidpartialdruck bei 40 mm Hg (6 %). Nach Rahn et al. (1979) liegt der Sauerstoffpartialdruck des Blutes der Allantois, der durch eine Diffusionsbarriere durch die Schalenmembranen und durch den unter der inneren Schalenmembran liegenden Film verursacht wird, sogar bei 58 mm Hg.

Im Gegensatz zum embryonalen Sauerstoffverbrauch weist das embryonale Wachstum eine kontinuierliche, kurvilineare Form auf. Obwohl die Kapazität des embryonalen Blutes für die Sauerstoffaufnahme mit dem Fortschreiten der embryonalen Entwicklung zunimmt, wird pro Gramm produziertes Gewebe immer weniger Sauerstoff aufgenommen (respiratorische Intensität) (Freeman und Vince, 1974; Tazawa, 1978). Der Embryo gewinnt die Energie, die er zu seiner Entwicklung braucht, hauptsächlich durch den Abbau der im Dotter enthaltenen Fette. Jedoch stellt die anaerobe Glykogenolyse während des „external pipping“, verursacht durch die Hypoxiebedingungen, eine wichtige Energiequelle dar. Das Glykogen wird während des fötalen Wachstums synthetisiert und in der Leber gespeichert (Freeman, 1965; Christensen und Donaldson, 1992). Während der 21 Tage dauernden Bebrütung nimmt ein durchschnittliches Ei (60 g) etwa 6 Liter Sauerstoff auf und gibt 4,5 Liter Kohlendioxid sowie 11 Liter Wasserdampf ab (Rahn et al., 1979). Das Verhältnis des Sauerstoffverbrauchs zum abgegebenen Kohlendioxid wird als respiratorischer Quotient bezeichnet. Dieses Verhältnis ist am Anfang der Bebrütung größer als 1 (wegen des niedrigen Sauerstoffverbrauchs und wegen zunächst hoher Kohlendioxidabgabe), verringert sich bereits nach einigen Tagen bis auf 0,7 und bleibt danach konstant (Romijn, 1954; Rahn und Paganelli, 1991).

Die Schalendurchlässigkeit (Gestalt, Größe, Zahl der Poren und Schalendicke) und der Gradientenunterschied der Gase im Ei und außerhalb des Eies bestimmen, wieviel Gas durch die Eischale diffundiert (Rahn et al., 1979; Vleck, 1991).

Um bei abnehmender Schalendurchlässigkeit eine gegebene Menge Sauerstoffdurchfluß zu gewährleisten, muss der Partialdruck in der Luftkammer sinken. Jedoch besitzt die Zunahme

des Gradienten des Sauerstoff-Partialdrucks innerhalb und ausserhalb des Eis einen theoretischen Maximalwert. Damit entstehen im Embryo bei niedriger Schalendurchlässigkeit zwei Probleme. Zum einem erreicht der Partialdruck des Sauerstoffes in der Luftkammer ein Niveau, bei dem eine Sättigung des Blutes nicht mehr möglich ist (Asphyximation) und der Kohlendioxydgehalt ein nicht tolerierbares Ausmaß (Kohlendioxydintoxikation) erreicht (Burton und Tullet, 1983; Tullet, 1990). Gleichzeitig kommt es zu einer Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes des Embryos (Ertrinken). Im anderen Fall bekommt der Embryo bei einer zu hohen Schalendurchlässigkeit zwar reichlich Sauerstoff, verliert aber zuviel Wasser (Austrocknung) (Rahn et al., 1997). Nach Tullet und Burton (1986) nehmen mit zunehmender Schalenporosität der Eischale (Wasserverdunstung) der Sauerstoffpartialdruck in der Luftkammer und des Blutes in den Venen des Allantois kurvilinear zu, wobei jedoch der Sauerstoffpartialdruck des Blutes in den Arterien des Allantois konstant bleibt. Dies deutet auf einen zunehmenden embryonalen Sauerstoffverbrauch bei zunehmender Schalenporosität hin.

Nach Okuta und Tazawa (1988) nimmt die Sauerstoffaufnahme mit zunehmender Schalendurchlässigkeit stark zu und dann wieder ab (kurvilineare Beziehung). Einen ähnlichen Verlauf nimmt die Beziehung zwischen der spezifischen Wasserdurchlässigkeit ($\text{mg H}_2\text{O}/\text{Tag}/\text{Torr}/100\text{g}$) und der embryonalen Gewichtszunahme.

Nach Burton und Tullet (1983) besteht eine positive Beziehung zwischen Schalenporosität und dem embryonalem Sauerstoffverbrauch sowie eine lineare positive Beziehung zwischen dem Trockengewicht des Embryonalgewebes (gemessen am 18. Tag der embryonalen Entwicklung) und der Sauerstoffaufnahme.

In der Literatur wurden verschiedene Methoden zur Beurteilung der Eischalenqualität im Hinblick auf die Schlupffähigkeit beschrieben, jedoch wurden meist das spezifische Gewicht oder die während der Bebrütung aufgetretenen Gewichtsverluste durch Verdunstung zur Beurteilung der Schalenqualität angewandt. Rauch und Steinke (1954) untersuchten den Einfluss der Schalendicke und Porenweite (nach der Bebrütung bzw. dem Schlüpfen) sowie des Gewichtsverlustes des Eies während der Lagerung auf die Schlupffähigkeit. Bei einer Variationsbreite der Porenweiten von 42μ wurden die besten Schlupfergebnisse bei Porenweiten von 18 bis 36μ festgestellt (83 % bei $18\text{-}24 \mu$, 90 % bei $24\text{-}30 \mu$, 81 % bei $30\text{-}36 \mu$). Für Eischalen mit kleineren und größeren Porenweiten lagen die Schlupfergebnisse

erheblich niedriger (38 % bei 6-12 μ , 66 % bei 12-18 μ , 64 % bei 36-42 μ). Eine Schlupfrate von 88 % fanden die Autoren bei mittleren Schalendicken von 0,26 mm-0,30 mm, während unterhalb und oberhalb dieses Intervallbereiches die Schlupfrate auf bis zu 61 bzw. 50 % sank. Bei Gewichtsverlusten von 0,15 bis 0,20 % (bezogen auf das Ausgangsgewicht und bei 24 Stunden Lagerung) ergaben sich die besten Schlupfresultate (70 %). Bei einer Gewichtsabnahme von 0,05 bis 0,10 % (wenigst poröse Eischalen) und von 0,30 bis 0,35 % (höchst poröse Eischalen) lag die Schlupfrate bei 50 % bzw. nur noch bei 25 Prozent. Nach Romanoff (1972) nimmt die embryonale Lebensrate am 18. Bebrütungstag mit sinkender Schalendicke kurvilinear ab, während zwischen embryonaler Überlebensrate am 18. Bebrütungstag und Bruchfestigkeit eine lineare Beziehung besteht.

Peebles und Brake (1985) untersuchten Porenkonzentration und Schalendicke bei Bruteiern von Broilerhennen, aus denen entweder Küken geschlüpft waren, oder die Embryonen während der unterschiedlichen Phasen (frühtot bis 3. Bebrütungstag, spättot 16. Bebrütungstag bis Anpicken der Schale und Absterben nach Anpicken der Schale) der embryonalen Entwicklung abgestorben waren.

Die Schale der Bruteier mit Schlupferfolg wiesen eine signifikant ($P \leq 0,01$) höhere Porenkonzentration (Anzahl/0,25 cm²) auf als die Schale der Bruteier mit abgestorbenen Embryonen. Während es bei den Bruteiern ohne Bruterfolg keine Unterschiede in der Verteilung der Poren über die ganze Eischale gab, war die Anzahl der Poren über dem stumpfen Pol der Bruteier mit Schlupferfolg signifikant höher. Kein signifikanter Unterschied in der Schalendicke wurde jedoch zwischen dem speziellen Zeitpunkt (Tag nach Bebrütung), der Embryonenmortalität und dem Schlupfzeitpunkt festgestellt.

McDaniel et al. (1979) erforschten den Einfluss des spezifischen Gewichtes des Bruteies bei verschieden alten Hennen (36, 52 und 64 Wochen) auf die Schlupffähigkeit. Während mit abnehmendem spezifischen Gewicht die Schlupfrate abnahm, nahmen die Gewichtsverluste der Bruteier sowohl während der Lagerung als auch während der Bebrütung zu. Die Reduktion der Schlupfrate mit abnehmendem spezifischen Gewicht war bei älteren Hennen stärker (36 Wochen vs. 52-64 Wochen).

Roque und Soares (1994) klassifizierten die Bruteier der verschieden alten Broilerhennen (27-31, 40-44 und 55-59 Wochen, Herkunft Cobb) in eine 'dünnchalige' (spezifisches Gewicht <1,080) und eine 'dickschalige' (spezifisches Gewicht >1,080) Gruppe. Die Autoren fanden bei der Bebrütung der Eier bei allen drei Altersgruppen einen signifikant erhöhten

Gewichtsverlust (bis zum 18. Bebrütungstag) der dünnchaligen Bruteier im Vergleich zu den dickschaligen. Der Schlupf der befruchteten Eier und der eingelegten Eier war bei dünnchaligen Eiern signifikant reduziert (89,0 vs. 93,3 % ; 90,1 vs. 83 %). Ähnliche Ergebnisse fanden McDaniel et al. (1981a) und Bennet (1992) beim Schlupf der Bruteier mit einem geringerem spezifischen Gewicht als 1,080 im Vergleich zu Bruteiern mit einem höheren spezifischen Gewicht als 1,080 (91,5 vs. 94,3 %, McDaniel et al., 1981a; 75,3 vs. 81,1 %, Bennett, 1992).

Nach Svensson (1957) nahm die Schlupfrate mit steigendem spezifischen Gewicht bis 1,080 zu und danach wurde ein gewisser Rückgang beobachtet.

Während McDaniel et al. (1977) und McDaniel et al. (1979) eine erhöhte frühembryonale Mortalität (bis 7. Tag) für die reduzierte Schlupfrate der Bruteier mit niedrigem spezifischen Gewicht feststellten, stellten McDaniel et al. (1981a) sowohl eine erhöhte früh- als auch spätembryonale Mortalität bei den Eiern fest. Roque und Soares (1994) fanden eine signifikant erhöhte mittlere und spätembryonale Mortalität bei Bruteiern mit spezifischem Gewicht <1,080 im Vergleich zu Bruteiern mit Spezifischem Gewicht >1,080.

Die unterschiedliche Lagerungsdauer der Bruteier kann für Unterschiede des Zeitpunktes der embryonalen Mortalität ebenfalls verantwortlich sein. Peebles und Brake (1987) untersuchten den Zusammenhang der unterschiedlichen Messvariablen der Schalenqualität (spezifisches Gewicht, Schalendicke, Schalengewicht, Porenkonzentration, Wasserdampfdurchlässigkeit (mg H₂O/Tag/Torr) und spezifische Wasserdampfdurchlässigkeit (mg H₂O/Tag/Torr/100 g Eigewicht) während der gesamten Legeperiode bei Broilern. Das spezifische Gewicht war hoch signifikant positiv korreliert mit dem Schalengewicht und der Schalendicke und negativ korreliert mit der Wasserdampfdurchlässigkeit, der spezifischen Wasserdurchlässigkeit und der Porenkonzentration. Es wurde allerdings während des Zeitraumes der Legeperiode keine signifikante Veränderung des spezifischen Gewichtes und der Schalendicke festgestellt. Das spezifische Gewicht im Alter zwischen der 40. und 64. Lebenswoche lag annähernd bei 1,080. Die Autoren fanden auch keine signifikante Beziehung zwischen spezifischem Gewicht und Schlupfrate der befruchteten Eier. Sowohl die spezifische Wasserdurchlässigkeit als auch die Schlupfrate wiesen während des Zeitraumes der Legeperiode einen ähnlichen Verlauf auf (kurvilinear quadratisch). Die Schlupfrate (befruchtete Eier) nahm im Alter von 30-45 Wochen zunächst zu und nahm im Alter von 45-60 Wochen wieder ab. Obgleich die Autoren keine signifikante Beziehung zwischen spezifischer Wasserdurchlässigkeit und

Schlupfrate feststellten, hielten sie dennoch die spezifische Wasserdurchlässigkeit für eine geeignete Messvariable zur Beurteilung der Eischale in Bezug auf die Schlupffähigkeit.

Meir und Ar (1986) ordneten die Bruteier von Truthennen hinsichtlich des Grads ihrer spezifischen Wasserdurchlässigkeit unterschiedlichen Klassen (<18,5; 18,5-22,0; >22,0) zu und bebrüteten sie bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit (45 %, 55 %, 65 %). Die höchsten Schlupfraten und besten Küken wurden dann gewonnen, wenn die Bruteier mit niedriger spezifischer Wasserdurchlässigkeit unter hoher Luftfeuchtigkeit bebrütet wurden (87,1 % Schlupfrate bei 65 % rel. LF vs. 74,1 % Schlupfrate bei 45 % rel. LF.) bzw. wenn die Bruteier mit hoher spezifischer Wasserdurchlässigkeit unter niedriger Luftfeuchtigkeit bebrütet wurden (90,9 % bei 45 % rel. LF vs. 81,3 % bei 65 % rel. LF). Die niedrige Schlupfrate war hauptsächlich durch die erhöhte embryonale Sterberate während der spätembryonalen Entwicklung bzw. durch die erhöhte Anzahl der Steckenbleiber verursacht.

Meir et al. (1984) kamen bei einem ähnlichen Versuch zu identischen Ergebnissen.

Nach Christensen und McCorkle (1982) wiesen die Bruteier mit abgestorbenen Embryonen während der Spätphase der embryonalen Entwicklung im Vergleich zu später geschlüpften oder unbefruchteten Bruteiern signifikant weniger Gewichtsverluste (% der Anfangsgewichte) sowie eine signifikant geringere Wasserdampfabgabe (mg/cm^2 Schalenoberfläche/Woche) und spezifische Wasserdurchlässigkeit auf. Da die relativ große Gewebemasse am Ende der Bebrütungszeit mehr Sauerstoff und weniger Kohlendioxid benötigt, als die Schale durchläßt, wird die Asphyxiation von den Autoren als eine mögliche Ursache der spätembryonalen Mortalitäten beschrieben.

Connel (1988) zeigte mit seiner Untersuchung über Bruteier von Truthennen, dass die Schlupfrate mit zunehmender spezifischer Wasserdampfdurchlässigkeit zunächst steil zunimmt, in einem ausgedehnten Bereich (12,5 bis 25 $\text{mg H}_2\text{O/Tag/Torr/100 g}$) auf hohem Niveau konstant bleibt und allmählich wieder abnimmt.

Nach French und Tullet (1991) besteht eine größere Variation in der Schalendurchlässigkeit zwischen produzierten Bruteiern einer Population. Dies bedeutet, dass der Embryo recht unterschiedliche Bedingungen (in Bezug auf Wasser, Respirationsgase, Wachstum und Säurebasen-Physiologie) im Hinblick auf die Schlupffähigkeit tolerieren muss. Trotzdem scheint die hohe embryonale Mortalität am Ende der Bebrütungszeit ihre Ursache in der unzureichenden Diffusion der respiratorischen Gase zu haben.

2.1.5 Anzahl Küken je Anfangshenne und Kükengewicht

2.1.5.1 Anzahl Küken je Anfangshenne

Die Anzahl der produzierten Küken pro eingestellte Mutterhenne ist ein entscheidendes ökonomisches Kriterium in der Broilererzeugung. Viele Faktoren (Haltung, Fütterung, Hygiene), die Einfluss nehmen auf die Legeleistung, den Anteil an brutfähigen Eiern, die Fertilität und die Schlupffähigkeit, beeinflussen auch die Anzahl Küken pro Henne. In diesem Kapitel wird auf den Einfluss der Temperatur auf die Anzahl Küken pro Henne eingegangen. Durch die beeinträchtigende Wirkung von hohen Umwelttemperaturen auf die genannten Reproduktionsmerkmale und durch eine hitzebedingte Mortalität von Hennen wird die Reproduktionsleistung je aufgestallte Henne reduziert. Zuletzt untersuchte Singh (1999) in unterschiedlichen Regionen Indiens unter kommerziellen Produktionsbedingungen den Einfluß der Jahreszeiten auf die Reproduktion der Broiler-Elternlinie *Kasila* (s. Kapitel 2.1.3.1). Dabei stellte er einen Rückgang der Zahl der Küken pro Henne (140,2 vs 104,8) um 25 % fest, wenn die Hennen zu Beginn der heißen Saison 29 bis 38 Wochen alt waren im Vergleich zu den Hennen, deren Legetätigkeitsphase nicht mit der 12 Wochen andauernden heißen Saison zusammenfiel. Der negative Effekt der heißen Saison auf die Kükenzahl fiel geringer aus, wenn die Hennen zu Beginn der heißen Jahreszeit 39 bis 53 Wochen (20 % Rückgang) bzw. 54 bis 68 Wochen (11 % Rückgang) alt waren. Diese Differenzen zwischen den Altersklassen waren durch die niedrigere Eizahl sowie die niedrigere Schlupffähigkeit verursacht.

Mennicken (1995) untersuchte die entlastende Wirkung unterschiedlicher Luftgeschwindigkeiten und unterschiedlicher Trinkwassertemperaturen auf die Anzahl der Küken pro eingestellte Henne einer Broilerelternlinie (Herkunft Lohmann) unter den tropischen Bedingungen Malaysias (mittlere Tageshöchsttemperaturen 30,3-32,4 °C; mittlere Nachttemperaturen 22,2 °C). Der Einsatz einer Zwangsbelüftung erbrachte bei einer 36-wöchigen Legeperiode eine signifikante Verbesserung der Anzahl der Küken pro Anfangshenne. Durch die Bereitstellung von gekühltem Wasser konnte die Anzahl der Küken zusätzlich um 11,7 Tiere verbessert werden.

2.1.5.2 Kükengewicht

In vielen Arbeiten wurde eine hohe positive Korrelation zwischen dem Eigewicht und dem Gewicht von Eintagsküken nachgewiesen (Bray und Iton, 1962; Morris et al., 1968; Washburn und Guill, 1974; Bondary und Kazemi, 1975; Al-Murrani, 1978; Shanawany, 1987; Yannakopoulos und Tserveni-Gousi, 1987; Sinclair et al., 1990; Pinchasov, 1991). Das bedeutet also, dass alle Einflussfaktoren, die das Eigewicht beeinflussen, auch das Gewicht von Eintagsküken beeinflussen. Der Einfluss des Eigewichtes bzw. des Gewichtes von Eintagsküken auf die postembryonale Entwicklung wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Während die Autoren Willey (1950), Merritt und Gowe (1965), Bondary und Kazemi (1975), Al-Murrani (1978), Horn et al. (1980), Joulbert et al. (1980), Proudfoot und Hulan (1981) und Sinclair et al. (1990) einen Einfluss des Eigewichtes auf die Körpergewichtsentwicklung des Kükens bis zur 6., teilweise sogar bis zur 9. Lebenswoche beobachteten, kommen andere Autoren zu dem Ergebnis, dass der Einfluss der Eigröße auf die weitere Gewichtsentwicklung des Kükens mit zunehmendem Alter sehr schnell abnimmt (Pinchasov, 1991).

Nach Pinchasov (1991) liegt der Korrelationskoeffizient zwischen Eigewicht und dem Gewicht der 2 Wochen alten Küken bereits unter 0,1. Washburn und Guill (1974) berechneten einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,2$ zwischen dem Eigewicht und dem Gewicht von 5-7 Wochen alten Küken. Nach Wilson (1991a) führt eine Veränderung des Eigewichtes um 1 g bei 6-8 Wochen alten Broilern zu einer Veränderung des Körpergewichtes von 2-13 Gramm. Tuffet und Jensen (1991) stellten einen signifikanten Einfluss des Eigewichtes auf das Kükengewicht (beider Geschlechter) bis zum Alter von 3 Wochen fest, ein signifikanter Einfluss auf das Gewicht der 6 Wochen alten Broilerküken bestand nur noch bei den weiblichen Tieren. Demgegenüber beschreiben die Autoren Vieira und Moran (1999) einen größeren Einfluss des Eigewichtes auf die Wachstumsentwicklung bei den schneller wachsenden männlichen Küken als bei weiblichen Küken. Nach Bray und Iton (1962) ist die Auswirkung des Eigewichtes auf die Gewichtsentwicklung von Küken bei den Masttieren (White Rock und White Cornish) stärker ausgeprägt als bei Legetypen (2 Weiße Leghorn Linien). Joulbert et al. (1980) finden einen größeren Einfluss des Eigewichtes auf die Gewichtsentwicklung von Küken einer Broilervaterlinie mit höherer Wachstumsintensität als bei Küken einer Broilermutterlinie.

Nach Wilson (1991a) und Vieira und Moran (1999) führte die Selektion auf schnelles Wachstum zu einer Reduktion des Alters von Broilern bei der Schlachtreife, was die wirtschaftliche Bedeutung des Eigewichtes in der Broilermast verstärkt. Im Hinblick auf die Auswirkung des BrutEigewichtes auf die Futtermittelverwertung bei Broilerküken wurde keine Einflussnahme bis zur 7. Lebenswoche (Proudfoot und Hulan, 1981) bzw. 12. Lebenswoche (Morris et al., 1968) bei Broilern festgestellt. Wyatt et al. (1985) fanden jedoch eine bessere Futtereffizienz bei 7 Wochen alten Broilern, die aus kleineren Bruteiern stammten.

Nach Washburn und Guill (1974) besteht keine Beziehung zwischen Eigewicht bzw. Gewicht von Eintagsküken und Futtermittelverwertung der 5-7 Wochen oder 7-9 Wochen alten Broiler. Auch nach Vieira und Moran (1999) scheint es, dass zwischen Eigewicht und Futtermittelverwertung der wachsenden Küken keine direkte Beziehung existiert.

Andere Autoren untersuchten den Einfluss des prozentualen Anteils des Kükengewichtes am Bruteigewicht auf die postembryonale Gewichtsentwicklung und Futtermittelverwertung. Nach Shanawany (1987) liegt das Verhältnis zwischen dem Gewicht der frisch geschlüpften Küken und dem Eigewicht zwischen 0,615 und 0,760 %. Dieser Wert ist bei den größeren Eiern aufgrund des kleineren Verhältnisses zwischen Eioberfläche und Eivolumen größer (Whiting und Pesti, 1983; Vieira und Moran, 1999).

Godfrey und Williams (1955) fanden einen signifikanten positiven, jedoch niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Kükengewicht/Eigewichts-Verhältnis und den Gewichten von 12 Wochen alten Broilern. Zwischen Kükengewicht/Eigewicht-Verhältnis und Futtermittelverwertung bei bis zu 9 Wochen alten Tieren konnte keine Beziehung festgestellt werden (Guill und Washburn, 1973; Washburn und Guill, 1974).

Proudfoot und Hulan (1981) beschreiben einen verbesserten monetären Gewinn bei der Vermarktung von Broilern, die aus größeren Bruteiern geschlüpft waren, im Vergleich zu Küken, die aus kleineren Bruteiern stammen. Bei bis zu 7 Wochen alten Broilern, die aus kleineren Eiern erzeugt wurden, wurden gleichzeitig höhere Mortalitätsraten (8,1 %) als bei Broilerküken aus größeren Bruteiern (2,2 %) beobachtet.

Nach Shanawany (1984), Yannakopoulos and Tserveni-Gousi (1987), Yannakopoulos (1988) sowie Tuffet und Jensen (1991) hat das Alter der Henne bei Konstanthaltung des Eigewichtes keinen Einfluss auf das Gewicht der Eintagsküken und nach McNaughton et al. (1978) und Tuffet und Jensen (1991) somit auch keinen Einfluss auf das Gewicht der 6 Wochen alten Broilerküken.

Yannakopoulos und Tserveni-Gousi (1987) untersuchten neben dem Einfluss des Alters der Henne den Einfluss der Schalenqualität (gemessen mittels spezifischem Gewicht) und der Zeit der Eiablage auf das Kükengewicht. Sie fanden eine signifikante leicht positive Korrelation der Schalenqualität auf das Kükengewicht. Auch zwischen spezifischem Gewicht und dem Gewicht des Embryonalgewebes bis zur 1. Woche der Bebrütung wurde eine signifikante leicht positive Korrelation festgestellt (Coleman und McDaniel, 1975).

Im Hinblick auf den Einfluss der maternalen Körpertemperatur auf Eiquantitätsmerkmale (insbesondere auf Eischale und Eigröße) und deren Einfluss auf das Kükengewicht und die weitere Entwicklung der Küken ist bis jetzt keine Information vorhanden. Jedoch ist bei der Betrachtung des Einflusses von hohen Temperaturen auf Eiquantitätsmerkmale auch eine Beeinträchtigung von Wachstum und Entwicklung nach dem Schlupf durch eine hohe Körpertemperatur der Zuchthennen zu vermuten.

2.2 Vorbrut- und Brutumwelt

2.2.1 Auswirkung der Vorbrutlagerung auf die Schlupffähigkeit

Die Dauer und die Bedingungen der Lagerung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Positionswechsel der Bruteier) beeinflussen die Schlupffähigkeit und die Qualität der geschlüpften Küken. In Literaturübersichten von Landauer (1967), Proudfoot (1969), Mayes und Takeballi (1984), Butler (1991), Meijerhof (1992), Förster (1993), Meijerhof et al. (1994) und Brake et al. (1997) sind die Versuchsergebnisse von einer Vielzahl von Experimenten über die Vorbrutsbehandlung und Lagerung der Bruteier zusammengetragen. Ein bedeutender Einfluss auf die Schlupffähigkeit geht von der Dauer der Vorbrutlagerung aus. Mit zunehmender Lagerungsdauer nimmt die Schlupffähigkeit durch das Degenerieren der Keimscheibe, erhöhte embryonale Abnormalität und folglich durch frühembryonale Mortalität linear bzw. kurvilinear ab (Bohren et al., 1961; Byng und Nash, 1962; Merritt, 1964; Mather und Laughlin, 1979; Kirk et al., 1980; Yoo und Wientjes, 1991; Fassenko et al. 1992b; Förster, 1993; Meijerhof, 1994; Walsh et al., 1995; Reis et al., 1997; Elibol et al., 2002; Ruiz und Lunam, 2002). Kurze Lagerungsperioden (1-3 Tage) üben jedoch keinen bedeutenden Einfluss auf die Schlupffähigkeit aus (Meijerhof, 1994, Ruiz and Lunam, 2002). Eine längerer Lagerungsdauer als eine Woche ist jedoch mit einem schnelleren Rückgang der Schlupffähigkeit verbunden und hat damit eine kurvilineare Verlaufsform der Abnahmerate

zur Folge (Merritt, 1964; Willemsen et al., 1996).

Die durch die Vorbrutslagerung bedingte Reduktion des Schlupferfolges ist in Abhängigkeit vom Alter der Henne (Kirk et al., 1980; Meijerhof et al., 1994; Reis et al., 1997; Ruiz und Lunam, 2002) und von dem genetischen Hintergrund (Yoo und Wientjes, 1991; Förster, 1993; Willemsen et al., 1996) unterschiedlich hoch. Die Schlupffähigkeit der Bruteier der älteren Hennen nimmt mit der Zunahme der Lagerdauer schneller ab als bei den jungen Hennen. Ferner nimmt die Bebrütungszeit mit verlängerter Lagerungsdauer zu (Mather und Laughlin, 1976), was durch das verzögerte Einsetzen der embryonalen Entwicklung und das verzögerte Wachstum der Embryonen in den ersten Bruttagen verursacht ist (Mather und Laughlin, 1977).

In Wechselwirkung mit der Dauer der Lagerung und dem Hennenalter hat die Umgebungstemperatur einen bedeutenden Einfluss auf den Bruterfolg (Proudfoot, 1969; Mayes und Takeballi, 1984; Wilson, 1991b; Butler, 1991; Meijerhof et al., 1994). Dabei ist die Einhaltung einer Temperatur unter dem physiologischen Nullpunkt - bei der die embryonale Entwicklung einsetzt - von wesentlicher Bedeutung (Proudfoot, 1969; Proudfoot und Hulan, 1983; Wilson, 1991b). Die Literaturangaben über die Höhe dieser physiologischen Nullgrenze sind recht unterschiedlich. Sie liegen zwischen 20 °C und 28 °C (Lundy, 1969; Wilson, 1991b; Decuypere und Michels, 1992; Förster, 1993). Je kürzer die Lagerungsperiode ist, desto höher liegt die Optimaltemperatur für ein Maximum an Schlupferfolg (Wilson, 1991b). Mayes und Takeballi (1984) empfehlen eine Lagerungsdauer von weniger als drei Tagen, Temperaturen von 18-30 °C und für bis zu 7 Tage Temperaturen von 16-17 °C, also unter dem physiologischen Nullpunkt. Für mehr als 7 Tage Lagerung werden Temperaturen von 10-12 °C als optimal beschrieben. Die Lagerungstemperaturen üben bei den Bruteiern der älteren Hennen und insbesondere bei längerer Lagerungsdauer einen größeren Einfluss auf die Schlupffähigkeit aus als die bei den Bruteiern der jüngeren Hennen (Meijerhof et al., 1994). Niedrigere Umgebungstemperaturen sind für die Aufbewahrung der Bruteier der älteren Hennen günstiger.

Während der Lagerung verlieren die Bruteier im Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit, der Umgebungstemperatur und der Porosität der Eischale durch die Evaporation Feuchtigkeit. Die Luftbewegung hat keinen Einfluss auf die Eigewichtsabnahme während der Lagerung, es sei denn sie beeinflusst die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur (Kaltoven, 1969; Proudfoot, 1969; Butler, 1991; Meijerhof, 1994). Mehrere

Versuchsergebnisse zeigen, dass eine hohe relative Luftfeuchtigkeit (90 % vs. 60-80 %) während der Lagerung zu einer Erhöhung des Schlupferfolgs führt (Cooney, 1943; Funk und Forward, 1951; Kosin und Konishi, 1973; Proudfoot, 1976). Dagegen konnten andere Autoren keinen Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Schlupffähigkeit feststellen (Kaufmann, 1939; Proudfoot, 1964; Meijerhof, 1994). Eine Verpackung der Bruteier in Plastikbeutel, insbesondere mit niedrigerer Permeabilität, führte bei längeren Lagerungsperioden zu einer Verbesserung der Schlupffähigkeit (Becker, 1964; Proudfoot, 1964). Als mögliche Ursache wird entweder die Erhaltung der Qualität des Eiklars (Aufrechterhaltung des Eiklar- pH-Wertes durch Verhinderung der CO₂-Abgabe) oder die Reduktion der Wasserverdunstung aufgeführt (Becker, 1964; Butler, 1991; Meijerhof et al., 1994).

2.2.2 Einflüsse während der Brut auf den Schlupferfolg

Temperatur

Während des Brutprozesses ist die Temperatur zweifelsohne der wichtigste Einflussfaktor auf die embryonale Entwicklung und Schlupffähigkeit (Romanoff, 1972; Wilson, 1991b; Decuypere und Michels, 1992). Als optimale Temperaturen während des Verlaufs des Brütens gelten diejenigen, bei denen eine maximale Schlupfrate erzielt wird (French, 1997); allerdings sollte nach Decuypere und Michels (1992) auch der Einfluss der Bebrütungstemperaturen auf die Qualität der Küken in Betracht gezogen werden.

Viele Autoren haben die Wirkung der Bebrütungstemperaturen auf die Schlupffähigkeit untersucht. Landauer (1967), Lundy (1969) und Wilson (1991b) haben diese Ergebnisse in ihren Literaturübersichten beschrieben. Die optimalen Temperaturen während der Dauer des Bebrütens liegen bei 37-38 °C (Lundy, 1969). Dabei führt die zunehmende Abweichung von diesem Optimalwert zu einer zunehmenden Erhöhung der embryonalen Mortalität (Romanoff, 1972) und erreicht den Maximalwert (100 % Mortalität) bei Bruttemperaturen unter 35 °C und über 40,5 °C (Lundy, 1969). Die negative Wirkung von zeitlich begrenzten suboptimalen Temperaturen auf die Schlupffähigkeit nimmt mit zunehmender Dauer und Abweichung vom Optimalwert zu. Dabei ist der Embryo gegenüber hohen Temperaturen empfindlicher als gegenüber niedrigen Temperaturen. Die Empfindlichkeit des Embryos nimmt bei suboptimalen, niedrigen Temperaturen mit zunehmendem Alter ab, jedoch nicht bei

suboptimalen hohen Temperaturen (Romanoff, 1972; Lundy, 1969; Wilson, 1991b).

Die optimalen Bruttemperaturen variieren in Wechselwirkung mit anderen Brut-Umweltbedingungen wie Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung. Eine inverse Beziehung besteht zwischen optimaler Bruttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit. Mit der Zunahme einer embryonalen Hyperthermie geht ein Rückgang des embryonalen Wachstums und eine Zunahme der embryonalen Fehlbildungen einher (Wilson, 1991b). Nach Romijn und Lokhorst (1960) und Lokhorst und Romijn (1965) nimmt die embryonale Wärmeproduktion (kcal/d) mit Fortschreiten der embryonalen Entwicklung bis zum 16.-17. Bebrütungstag zu, bleibt dann wie der Verlauf des embryonalen Sauerstoffverbrauchs zunächst konstant (Plateau-Phase) und nimmt dann wieder zu. Die Zunahme der metabolischen Wärmeproduktion führt zu einer Erhöhung der Temperatur im Inneren des Eies, diese liegt damit über der Brutumwelttemperatur und erreicht ein Maximum in der späteren Phase des Bebrütens (Tazawa und Rahn, 1987; French 1997).

Da der Embryo bis zum Schlüpfen poikilotherm ist (Decuypere und Michels, 1992), kann ein Wärmestress in der späteren Phase des Bebrütens die embryonale Entwicklung und die Schlupffähigkeit beeinträchtigen (Deeming, 1991). Deshalb wird in der Praxis während der letzten Bruttage mit niedrigeren Temperaturen (im Fertigbrüter) bebrütet. Da die Plateau-Phase der Wärmeproduktion zeitlich mit der Phase zusammenfällt, in der ein niedriger Sauerstoff-Partialdruck in den Arterien vorherrscht, können alle Faktoren, die zu einer Erhöhung von Temperaturen des Embryonalkörpers und somit zu einer Erhöhung des Metabolismus führen, eine zusätzliche Belastung für das Überleben des Embryos bedeuten und zu einer Reduzierung der Schlupfrate führen (Decuypere und Michels, 1992).

Nach Sarpong und Reinhart (1985) erbringt eine Kühlung der Bruteier von Broilern am 16. Bebrütungstag auf 22 °C (Reduktion von Wärmestress der Embryonen) eine Verringerung der spätembryonalen Mortalität und eine verbesserte Schlupffähigkeit. Diese Ergebnisse konnten jedoch nicht von anderen Autoren verifiziert werden (Lancaster und Jones, 1988; Suarez et al., 1996).

Luftfeuchtigkeit

Das Hühnerei gibt während der Embryonalentwicklung Wasser an seine Umgebung ab. Dies ist ein notwendiger biologischer Prozess. Zum einen wird durch die metabolische Aktivität des Embryos (Fettabbau) Wasser produziert, das durch die Eischale an die Umgebung

abgegeben werden muss, zum anderen entsteht durch Verdunstung eine vergrößerte Luftkammer, in die der Embryo während der parafötalen Phase hineinpickt und Luft einatmet, wodurch die pulmonale Atmung aktiviert wird. Die relative Luftfeuchte beeinflusst neben den Faktoren Temperatur, Beschaffenheit der Eischale und Eigröße die Menge an Wasser, die das Brutei während des Brütens abgibt (Rahn et al., 1979; Rahn, 1981).

Die Wassermenge, die während des Bebrütens von einem Brutei abgegeben wird, beeinflusst die Schlupffähigkeit und die Qualität der Küken. Ein Gewichtsverlust von etwa 10 bis 12 % vom Frischgewicht des Eies bis zum Hineinpicken in die Luftkammer (internal pipping) wird als normal bzw. als Optimum beschrieben (Landauer, 1967; Lundy, 1969; Tullet, 1990; Visschedijk, 1991). Nach Landauer (1967) und Rahn (1981) nimmt die embryonale Mortalität bei einer Abweichung der optimalen Luftfeuchtigkeit von 50 bis 60 % im Brüter zu. Nach Lundy (1969) liegt die optimale Luftfeuchtigkeit bei 40 bis 65 % und nach Robertson (1961b) zwischen 40 und 70 %, wobei nach Robertson (1961b) die maximale Schlupffähigkeit bei einer relativen Luftfeuchte von 53 % zu erzielen ist.

Nach Kirk et al. (1980) lag die optimale Luftfeuchtigkeit bis zum 18. Bebrütungstag für die maximale Schlupfrate der Bruteier von jungen Hennen (28-44 Wochen) mit 53 % gegen 44 % höher als bei den Bruteiern von alten Hennen (48-60 Wochen), da das Eigewicht mit zunehmendem Alter zunimmt und das Volumen-Oberflächen-Verhältnis sich verändert. Vom 19. bis zum 21. Tag der Bebrütung führte eine höhere Luftfeuchtigkeit (92 % vs. 82 % bzw. 72 %) bei Bruteiern der alten Hennen zur höchsten Schlupfrate (87,7 % vs. 87,1 % bzw. 82,8 %), während bei den Bruteiern der jungen Hennen die maximale Schlupfrate (90,9 % vs. 89 % bzw. 88,5 %) bei mittlerer Luftfeuchtigkeit erzielt wurde (82 % vs. 95 % bzw. 66 %).

2.3 Auswirkung der tropenrelevanten Majorgene

2.3.1 Komponenten der Legeleistung

2.3.1.1 Zwerggen (*dw*)

Die Einzüchtung des geschlechtsgebundenen Zwerggens (*dw*) führt insgesamt und insbesondere bei leichten Legepopulationen zu einer Verzögerung des Legebeginns um 1 bis 2 Wochen (Hutt, 1959; Bernier und Arcsott, 1960; Ricard und Cochez, 1972; Guillaume,

1976; Petersen et al., 1977; Petersen und Horst, 1978; Horst und Petersen, 1979; Becker, 1983; Khan und Verma, 1983b; Merat, 1984; Merat, 1990), wenn auch bei einigen Experimenten mit mittelschweren und kommerziellen Broilertypen kein Unterschied zwischen den Körpergrößentypen *dw*- und *Dw*- bestand bzw. die Zwerghennen früher mit dem Legen begonnen hatten als die Normalwüchsigen (Ricard und Cochez, 1971; Chambers et al., 1974; Leclercq und Blum 1975; Guillaume, 1976; Kousiakis et al., 1985). Die Wirkung des Zwerggens auf das Merkmal Eizahl ist in Abhängigkeit von genetischem Hintergrund sowie der Umwelttemperatur unterschiedlich. Während bei leichten Legepopulationen insbesondere bei Leghorn (Hutt, 1959; Petersen et al., 1977; Horst und Petersen, 1979; Becker, 1985; Rauen, 1985; von Haaren-Kiso, 1991; Männer, 1992; Garces et al., 2001) eine reduzierende Wirkung des Dwarfgens (*dw*) auf das Merkmal Eizahl festgestellt wurde, ist diese Reduktion bei Broilerlinien wesentlich geringer, teilweise fehlt die negative Wirkung oder es besteht sogar eine positive Wirkung auf das Merkmal Eizahl (Hutt, 1959; Bernier und Arscott, 1960; Sherwood, 1971; Ricard und Cochez, 1972; Khan und Verma, 1983a; Merat, 1984; Kousiakis et al., 1985; Merat, 1990; Chhum, 1994).

Tab. 2.2: Legeleistungsvergleich zwischen Normaltyp (*Dw*-) und Zwergtyp (*dw*-) bei Legehennen und Broiler-Elternhennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung
Comparison of laying performance of normal (Dw-) and dwarf (dw-) genotype in laying hens and broiler breeder dams under high environmental temperatures

Legeleistung									Autor
Gemäßigte Temperaturen				Hohe Temperaturen					
Dw-	dw-	Ver- änderung	T °C	Dw-	dw-	Ver- änderung	T °C		
69,9*	54,9	-21,4	20	58,7	46,9	-20,1	32	L	Horst und Petersen, 1979
66,9*	52,0	-22,3	20	61,6	42,7	-30,8	32	L	Horst und Petersen, 1979
74,5*	62,8	-15,7	20	63,4	49,4	-22,1	32	L	Bullermann-Hiendl, 1981
279,0**	225	-19,3	20	228	178	-21,9	32	L	Becker, 1983
261,3**	210,2	-19,5	20	238,3	192,3	-19,3	32	L	Rauen, 1985
271,6**	218,7	-19,3	20	222,4	185,2	-16,7	32	L	Rauen, 1985
170,8**	144,2	-15,5	20	136,5	133,9	-1,9	34	L	Männer, 1992
15,1***	13,9	-7,9	20	9,4	8,3	-11,7	32	L	von Haaren-Kiso, 1991
159**	149	-6,2	18-20	145	139	-4,1	32-35	M	Chhum, 1994

*Legeintensität (%) **Eizahl ***Eimasse (kg); L = Legehennentyp; M = Masthennentyp

Positiv zu bewerten ist bei Broiler-Zuchthennen die reduzierende Wirkung des Dwarfgens auf die Anzahl der Follikel am Eierstock in der Phase des schnellen Wachstums, was abnormale Ovulationen bei den schweren Hennentypen reduziert und zur Verringerung der Anzahl an

doppeldottrigen Eiern sowie auch von Schalendefekten und Wind- und Brucheiern führt und so eine prozentual erhöhte Produktion von normalen Bruteiern ermöglicht (Mohammadian, 1969; Ricard und Cochez, 1972; Van Middelkoop, 1973; Guillaume, 1976; Khan und Verma, 1983 a; Merat, 1990). Wie aus der Tabelle 2.2 hervorgeht, lassen sich im Hinblick auf die Wirkung des Verzweigungsgens auf das Adaptationsvermögen von Lege- und Mastelternhennen beim Merkmal Legeleistung unter Wärmebelastung keine einheitlichen Schlüsse ziehen. Insgesamt führt die Einzüchtung des Verzweigungsgens sowohl unter hohen als auch unter gemäßigten Temperaturen zu einer Leistungsdepression. Bei den in der Tabelle 2.2 aufgeführten Untersuchungen ist die durch das Zwerggen bedingte Leistungsdifferenz zwischen Dw - und dw -Körpergrössentypen unter der Auswirkung einer Temperaturbelastung verstärkt oder gelegentlich sogar herabgesetzt.

Bei den Versuchen von Chhum (1994) an Broiler-Elternhennen wird erkennbar (Tab. 2.2), dass im Vergleich zu Legetypen die retardierende Wirkung des dw -Gens auf das Legegeschehen ein geringeres Ausmaß annimmt und überdies die Legeleistung unter dem Wärmestress weniger stark verändert ist. In ähnlicher Weise geht aus Untersuchungen von Khan et al. (1987) und Khan (1996) hervor, dass unter extremem Sommer-Hitzestress (bis $45\text{ }^{\circ}\text{C}$) bei verzweigten Broilermüttern eine deutlich niedrigere hitzebedingte Leistungsdepression besteht als beim Normaltyp mit der Folge, dass Leistungsniveau und auch Überlebensrate der verzweigten Broilerhennen deutlich über dem der normalwüchsigen Hennen lagen.

2.3.1.2 Nackthalsgen (Na)

Bordas und Merat (1984) konnten bei mittelschweren Legetypen weder unter hohen noch unter gemäßigten Temperaturen einen signifikanten Effekt des Nackthalsgens (Na) auf die sexuelle Reife feststellen. Unter dem Temperaturstress lag der Legebeginn der Genotypen $NaNa$, $Nana$ und $nana$ bei einem Alter von 151,5, 153,4 und 151,3 Lebenstagen. Unter gemäßigten Temperaturen war demgegenüber der Legebeginn für die jeweiligen Genotypen mit einem Alter von 162,6, 164,6 und 158,3 Lebenstagen deutlich verzögert. Auch in einer späteren Untersuchung fanden Merat et al. (1994a) keinen Effekt des Nackthalsgens auf die sexuelle Reife, während Rauen (1985) eine geringfügig positive Wirkung festgestellt hatte.

Wie aus der Tabelle 2.3 hervorgeht, besteht in Abhängigkeit von der Umwelttemperatur ein deutlicher Leistungsunterschied zwischen normalbefiederten und restriktiv befiederten

Hennen. Während unter gemäßigten Temperaturen kaum ein Unterschied in der Legeleistung der unterschiedlichen Befiederungstypen besteht, sind unter thermischer Belastung die teilbefiederten Hennen den normalbefiederten deutlich überlegen. Da jedoch die in Tabelle 2.3 aufgelisteten Versuchsergebnisse mit leichten und mittelschweren Legetypen zum Teil mit dem Verzweigungsfaktor durchgeführt sind, ist eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf die Mast-Elterntiere problematisch. Es ist jedoch zu erwarten, dass die positive Auswirkung des Nackthalsgens auf das Leistungsgeschehen der wärmebelasteten Mast-Elternhennen höher ist als bei Legetypen.

Tab. 2.3: Legeleistungsvergleich zwischen teil- und normalbefiederten Hennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung
Comparison of laying performance of naked neck and normally feathered hens under high environmental temperatures

Legeleistung									Autor
Gemäßigte Temperaturen				Hohe Temperaturen					
Na.	nana	Ver- änderung (%)	T °C	Na.	nana	Ver- änderung (%)	T °C		
83,0*	81,9	+1,3 ⁿ	15-20	73,4	70,9	+3,5 ⁿ	30	L	Bordas und Merat, 1984
79,2**	81,9	-3,2 ⁿ	15-20	70,5	70,9	-0,6 ⁿ	30	L	Bordas und Merat, 1984
233,5*	237,9	-1,8 ⁿ	20	220,3	210,2	+4,8 ^s	32	L	Rauen, 1985
243,1*	247,2	-1,6 ^s	20	219,1	188,5	+16,2 ^s	32	L	Rauen, 1985
190,6*	185,5	+2,2 ⁿ	20	175,5	155,0	+13,0 ^s	34	L	Männer, 1991
175,2*	170,8	+2,5 ⁿ	20	154,1	136,5	+12,9 ^s	34	L	Männer, 1991
243,5*	243,5	0 ⁿ	20	175,0	216	+23,0 ^s	32	L	von Haaren-Kiso, 1991
90,4**	78,5	+15 ^k	21	81,8	67,7	+20,0 ^k	31	-	Merat et al., 1991
85,4**	91,3	-6,4 ^k	21	78,3	67,6	+15,8 ^k	31	-	Bordas et al., 1993
84,8*	91,3	-7,1 ^k	21	83,6	67,6	+23,6 ^k	31	-	Bordas et al., 1993
				86,6**	71,4	+21,0 ^s	31	-	Merat, et al., 1994a
				145,9**	105,6	+38,0 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992
				137,6*	105,6	+30,0 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992

*Nana **NaNa; n=nicht signifikant, s=signifikant, k=keine Signifikanzangabe; Legehennentyp

Im Hinblick auf den Einfluss durch die Gendosis bedingten Befiederungsintensität auf das Akklimatisationsvermögen der Hennen sind die Ergebnisse von Bordas und Merat (1992) interessant. Während unter einem konstanten Temperaturstress von 31 °C die normalbefiederten Hennen gegenüber den *Nana* - und *NaNa* -Hennen eine wärmebedingte Leistungsreduktion bei den Merkmalen Eizahl (105,6 bei *nana* vs. 137,6 bei *Nana* und 145,9 bei *NaNa*), Dauer der Legeserie (2,60 d vs. 2,52 d und 3,13 d) und Legepausen (36,6 % vs. 12,5 % und 9,5 %) aufwiesen und heterozygote Hennen (*Nana*) fast ähnliche Werte wie die homozygoten Hennen (*NaNa*) zeigten, fiel unter noch stärkerem Temperaturstress (für 4

Monate Basistemperatur 31 °C und jede 4. Woche ab Höhepunkt der Legetätigkeit Erhöhung der Temperatur auf 37 °C eine Woche über 14 h) die Leistung der heterozygoten Hennen (*Nana*) fast auf das Niveau der normalbefiederten Hennen (*nana*) zurück. Bei wiederholter Wärmebelastung von 37 °C waren die homozygoten Nackthalhennen (*NaNa*) sowohl den heterozygoten als auch den normalbefiederten Hennen deutlich überlegen (135,0 bei *NaNa* vs. 105,7 bei *Nana* und 99,3 bei *nana*). Katongole et al. (1990) und Garces et al. (2001) konnten keinen signifikanten Effekt des Nackthalsgens auf die Legeleistung bei einem mittelschweren Legetyp unter den Bedingungen Sambias bzw. Mozambiques (Region Maputo) feststellen. Nach Horst und Mathur (1994) führte dagegen die Einzüchtung des Nackthalsgens sowohl unter tropischen Bedingungen in Malaysia als auch unter subtropischen Bedingungen in Ägypten zu einer Verbesserung der Legeleistung bei mittelschweren Hennen.

2.3.1.3 Lockengen (*F*)

Landauer und Dunn (1930) beobachteten bei ihren Untersuchungen an Lockentieren, dass ein großer Teil der homozygoten Lockenhennen und -hähne nicht die sexuelle Reife erreichen. Nach von Haaren-Kiso (1991) führte die Einzüchtung des Frizzlegens (*F*) in Hochleistungs-Zuchtlinien bei heterozygoten Tieren zu einer geringfügigen Verzögerung der sexuellen Reife um 3 Tage. Bei der Untersuchung von von Haaren-Kiso (1991) an heterozygoten Frizzlehennen unter hohen (32 °C) und gemäßigten (18-20 °C) Umwelttemperaturen wurde eine hoch signifikante Genotyp x Umwelt -Interaktion ($P \leq 0,001$), und eine geringere direkte Einzelgenwirkung ($P \leq 0,01$) auf die Legeleistung festgestellt. Unter hohen Umwelttemperaturen wiesen die heterozygoten Lockenhennen (*Ff*) eine um 8,8 % signifikant höhere (Eizahl 214 vs. 195) und unter gemäßigten Umwelttemperaturen eine um 2,2 % signifikant niedrigere (238 vs. 243) Legeleistung gegenüber den normalfiedrigen Hennen auf. Männer (1992) hatte bei derselben Zuchtlinie unter konstanten Umwelttemperaturen von 20 °C keinen signifikanten Unterschied in der Eileistung zwischen heterozygoten und normalfiedrigen Genotypen (ohne Verzweigungsfaktor) beobachtet. Unter hoher Temperatur (34 °C) führte die Einkreuzung des Frizzlegens gegenüber dem Normaltyp zu einer geringen (142 vs. 136), in Kombination mit dem Nackthalsgen jedoch zu einer signifikanten Verbesserung der Eileistung (162). Ähnlich wie bei normalwüchsigen Hennen bestand bei Zwerghennen kein signifikanter Unterschied zwischen den heterozygoten und

normalfiedrigen Genotypen unter gemäßigten Temperaturen. Unter hohen Temperaturen aber zeigten normalbefiederte Zwergghennen mit heterozygotem Frizzle-Genotyp (*dw-nanaFf*) gegenüber den normalbefiederten Zwergghennen (*dw-nanaff*) keinen wesentlichen Unterschied in der Eizahl (139,6 vs. 133,9); der doppelt heterozygote Genotyp (*dw-NanaFf*) war allerdings gegenüber dem Normaltyp signifikant besser (157,2 vs. 133,9).

2.3.2 Merkmale der Eiqualität

2.3.2.1 Zwerggen (*dw*)

Unabhängig vom genetischen Hintergrund der Population, in die das Zwerggen (*dw*) eingezüchtet wird, ist durch dieses Gen eine Reduktion des Eigewichtes zu erwarten (Prod'homme und Merat, 1969; Ricard und Cochez, 1972; Merat und Ricard, 1974; Leclercq und Blum, 1975; Ricard, 1976; Becker, 1983; Kousiakis, 1985; Rauen, 1985; Männer, 1992; Chhum, 1994; Garces, 2000). Es besteht jedoch kein bedeutender Effekt des Zwerggens auf das Eidotter/Eiklar-Verhältnis bzw. auf Dotter- und Klaranteil (Merat, 1972; Guillaume, 1976; Horst und Petersen, 1977; Horst und Petersen, 1979; Chhum, 1994) oder auf die Eiklarhöhe (Horst und Petersen, 1977; Horst und Petersen, 1979), obgleich Garces und Casey (2003) eine Verbesserung der Eiklarhöhe nachgewiesen haben. Hinsichtlich der Wirkung des Zwerggens auf die Eischalenqualität sind die Angaben in der Literatur widersprüchlich. Während Bernier und Arscot (1960) und Gleichauf (1974) eine geringere Dichte bzw. dünnere Eischalen feststellten, konnten andere Autoren keine Beeinflussung der Schalenqualität nachweisen (Prod'homme und Merat, 1969; Horst und Petersen et al, 1979; Kousiakis, 1985; Chhum, 1994; Garces und Casey, 2003). Ricard und Cochez (1972) ermittelten sogar einen deutlich niedrigeren Brucheieranteil bei verzweigten Broiler-Hennen in der Käfighaltung.

Wie aus der Tabelle 2.4 hervorgeht, ist die Eigewichtsdifferenz, die durch das Zwerggen hervorgerufen wird, unter der Wärmebelastung weniger deutlich verändert. Dies deutet darauf hin, dass verzweigte Genotypen im Merkmal Eigewicht geringere Belastungsreaktionen zeigen als normalwüchsige. Ähnliches ergab sich hinsichtlich der Eiquälitätsmerkmale bei den Versuchen von Horst und Petersen (1979). Bullermann-Hiendl (1981) stellte ebenfalls fest, dass im Verlauf der Legeperiode die Eier der zwergwüchsigen Hennen einen geringeren

Abfall der Schalenstabilität aufwiesen. Von Interesse ist auch ihre Beobachtung, wonach unter Wärmebelastung die Anzahl der Hennen, die Eier mit gestörter Mamillenstruktur der Eischale legten, während der Legeperiode nur im geringeren Ausmass zunahm.

Tab. 2.4: Eigewichte von Normaltyp (*Dw*-) und Zwergtyp (*dw*-) bei Lege- und Broiler-Elternhennen unter dem Einfluss von Wärmebelastung
*Comparison of egg weight of normal-sized (*Dw*-) and dwarf (*dw*-) genotypes in laying hens and broiler breeder dams under high environmental temperatures*

Eigewicht									Autor
Gemäßigte Temperaturen				Hohe Temperaturen					
Dw-	dw-	Veränderung (%)	T °C	Dw-	dw-	Veränderung (%)	T °C		
-	-	-7,2	20	-	-	-4,5	32	L	Horst und Petersen, 1977
60,5	56,3	-7,4	20	52,7	50,3	-4,8	32	L	Horst und Petersen, 1979
58,3	53,8	-8,3	20	52,1	48,6	-7,2	32	L	Horst und Petersen, 1979
59,1	54,5	-8,4	20	51,6	47,4	-8,8	32	L	Bullermann-Hiendl, 1981
59,2	55,7	-6,2	20	51,9	49,2	-5,5	32	L	Becker, 1983
60,5	56,4	-7,2	20	55,7	52,2	-6,7	32	L	Rauen, 1985
64,6	62,6	-3,2	20	57,8	56,4	-2,4	32	L	Rauen, 1985
58,9	52,8	-11,5	20	55,0	53,1	-3,5	34	L	Männer, 1992
63,2	58,5	-7,9	18-20	58,6	55,0	-6,6	32-35	M	Chhum, 1994

L = Legepopulation, *M* = Mastpopulation

2.3.2.2 Nackthalsgen (*Na*)

In der Tabelle 2.5 sind die Ergebnisse von mehreren Untersuchungen für die Eiquantitätsmerkmale der unterschiedlichen Befiederungs-Genotypen in Abhängigkeit von der Umwelttemperatur aufgelistet. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, besteht unter den gemäßigten Umwelttemperaturen kein signifikanter Einfluss des Nackthalsgens auf das Eigewicht, obgleich nach Merat (1986) eine Zunahme des Eigewicht/Körpergewicht - Verhältnisses bei homozygoten Nackthalshennen festgestellt wurde. Unter der thermischen Belastung produzieren die restriktiv befiederten Hennen aufgrund ihres Adaptationsvorteiles deutlich schwerere Eier, wobei der günstige Effekt des Nackthalsgens bei homozygoten Genotypen noch deutlicher ausfällt.

Insgesamt besteht kein signifikanter Einfluss des Nackthalsgens auf den Knick- und Brucheanteil. Nach Merat (1990) ist jedoch unter gemäßigten Umwelttemperaturen ein geringgradiger Nachteil und demgegenüber unter hohen Umwelttemperaturen ein günstiger Effekt hinsichtlich des Brucheanteils mit der Einzüchtung des Nackthalsgens in homozygoter

Form verbunden.

Aus den Untersuchungsergebnissen von Rauen (1985) und von von Haaren-Kiso (1991) geht ebenso hervor, dass die Bruchfestigkeit der Eischale bei thermischer Belastung durch das Nackthalsgen signifikant verbessert wird. Unter gemäßigten Temperaturen konnte von den Autoren keine negative Wirkung des Nackthalsgens auf die Bruchfestigkeit nachgewiesen werden.

Tab. 2.5: Vergleich der Eiquantitätsmerkmale zwischen normal- (*nana*) und teilbefiederten (*Na.*) Hennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung
Comparison of egg quality of normally feathered and naked neck hens under high environmental temperatures

Eigewicht									Autor
Gemäßigte Umwelttemperaturen				Hohe Umwelttemperaturen					
Na.	nana	Veränderung (%)	T °C	Na.	nana	Veränderung (%)	T °C		
56,3*	55,0	+2,3 ⁿ	15-20	53,5	52,3	+2,2 ^s	31	L	Bordas und Merat, 1984
55,8**	55,0	+1,4 ⁿ	15-20	56,0	52,3	+7,1 ^s	31	L	Bordas und Merat, 1984
58,8*	58,2	+1,0 ⁿ	20	54,8	53,2	+3,0 ^s	32	L	Rauen, 1985
64,0*	63,2	+1,2 ^s	20	59,0	53,3	+10,7 ^s	32	L	Rauen, 1985
59,0*	60,0	-1,6 ⁿ	20	56,1	54,3	+3,3 ^s	34	L	Männer, 1991
52,4*	51,0	+2,7 ^k	25					L	Merat, 1986
51,9**	51,0	+1,7 ^k	25					L	Merat, 1986
59,3*	58,9	+0,7 ⁿ	20	54,7	52,8	+3,5 ^s	34	L	Männer, 1991
62,4*	62,2	+0,3 ⁿ	20	58,1	52,8	+10,0 ^s	32	L	von Haaren-Kiso, 1991
57,7**	57,3	+0,7 ^k	21	50,3	56,0	+11,3 ^s	31	-	Merat et al., 1991
				50,4*	47,5	+6,1 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992
				51,7**	47,5	+8,8 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992
Eischale									
9,1*	9,1	0,0 ^k	15-20	8,6	8,5	+1,1 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1984 ^I
9,3**	9,1	+2,1 ^k	15-20	9,1	8,5	+7,0 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1984 ^I
4,7*	4,1	+14,6 ⁿ	15-20	13,2	9,5	+38,9 ⁿ	31	L	Bordas und Merat, 1984 ^{II}
5,9**	4,1	+43,9 ⁿ	15-20	8,2	9,5	-13,7 ⁿ	31	L	Bordas und Merat, 1984 ^{II}
				4,5*	5,6	-19,6 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992 ^{II}
				3,7**	5,6	-33,9 ^k	31	L	Bordas und Merat, 1992 ^{II}
4,0*	2,9	+37,9 ⁿ	21	4,2	4,3	-2,3 ⁿ	31	-	Bordas et al., 1993 ^{II}
4,9**	2,9	+68,9 ⁿ	21	5,4	4,3	+25,6 ⁿ	31	-	Bordas et al., 1993 ^{II}
3,14*	3,24	-3,1 ^k	20	2,7	2,3	+17,4 ^s	32	L	von Haaren-Kiso, 1991 ^{III}
36,2**	29,7	+22,8 ^k	21	34,5	26,6	+30,9 ^k	31	L	Merat et al., 1991 ^{IV}

*Nana **NaNa; I=Schalenanteil, II= Brucheianteil, III=Bruchfestigkeit, IV=Schalendicke; L=Legehennentyp; n=nicht signifikant, s=signifikant, k=keine Signifikanzangabe

Im Hinblick auf die Eibestandteile zeigen die Versuchsergebnisse von Rauen (1985) mit mittelschweren Legetypen, dass unter Temperaturbelastung das Nackthalsgen den Dotter- und Schalenanteil zu Lasten der Eiklarfraktion erhöht und somit einer zu erwartenden wärmebedingten Reduktion des Dotter- und Schalenanteils entgegenwirkt. Nach Bordas und

Merat (1992) bestand ferner kein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Genotypen (*NaNa*, *Nana*, *nana*) im prozentualen Anteil an doppeldottrigen- und weichschaligen Eiern.

2.3.2.3 Lockengen (*F*)

Von Haaren-Kiso (1991) ermittelte im Zuge der Einzüchtung des Lockengens (Frizzlegen) bei Legehennen unter hohen (32 °C) und gemäßigten Umwelttemperaturen (18-21 °C) für das Eigewicht einen signifikanten Einfluss der *F*-Genwirkung ($P \leq 0,001$) sowie eine signifikante Genotyp x Umwelt -Interaktion ($P \leq 0,001$). Unter hohen Temperaturen produzierten die Lockenhennen gegenüber den normalfiedrigen Hennen um 4,9 % schwerere Eier. Eine Kombination zwischen dem Frizzle- und dem Nackthalsgen erwies sich über die additive Wirkung hinaus als positiv (Gen x Gen -Interaktion). Unter hohen Temperaturen waren die Eigewichte der heterozygoten Merkmalsträger (*Ff Nana*) 12,4 % höher als die der Kontrollgruppe (59,4 g vs. 52,8 g). Unter gemäßigten Umwelttemperaturen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den vier Genotypen. Demgegenüber fand Männer (1992) für das Eigewicht bei 34 °C Hitzebelastung sowohl bei normalwüchsigen als auch bei Zwerg-Legetypen keinen positiven Effekt des Lockengens, auch nicht in Kombination mit dem Nackthalsgen. Von Haaren-Kiso (1991) registrierte unter hohen Dauertemperaturen (32 °C) eine um 20,7 % signifikant höhere Bruchfestigkeit der Eischalen bei heterozygoten Lockenhennen gegenüber normalfiedrigen Hennen. Unter Umwelttemperaturen von 18-20 °C bestand kein signifikanter Unterschied zwischen Hennen der Genotypen *Ffnana* und *ffnana*. Der Dotter- und Schalenanteil lag unter hohen Temperaturen beim Genotyp *NanaFf* gegenüber dem Normaltyp um 2,9 % bzw. 1,6 % höher (28,04 % bzw. 27,02 %). Entsprechend war die Eiklarfraktion um 1,5 % niedriger.

2.3.3 Fertilität, Schlupffähigkeit, Anzahl Küken je eingestellte Henne und Kükengewicht

2.3.3.1 Zwerggen (*dw*)

Obleich aufgrund der Gewichtsunterschiede zwischen normalwüchsigem Hahn und Zwerghenne bei Naturanpaarung eine beeinträchtigende Wirkung hinsichtlich des Merkmals Fertilität vermutet wurde (Merat, 1984), hat dennoch, wie aus der Tabelle 2.6 hervorgeht, die

Mehrzahl der Autoren keinen signifikanten Unterschied zwischen normalwüchsigen Hennen und Zwerghennen festgestellt, wenn beide Genotypen jeweils mit normalwüchsigen Hähnen angepaart wurden. Renden und Pierson (1982) stellten gar beim Natursprung eine signifikant höhere Befruchtungsrates fest als bei künstlicher Besamung von im Käfig gehaltenen Zwerghennen. Allerdings wird von früh absinkenden Befruchtungsergebnissen im Verlauf der Legeperiode unter konventioneller Haltung (Bodenhaltung ohne geschlechtsgetrenntes Fütterungssystem) in Folge der hohen Gewichtszunahme der Broilerväter berichtet (Flock, 1995).

Tab. 2.6: Der Effekt des Zwerggens auf Fertilität, Schlupffähigkeit und Anzahl der Küken je Henne bei Broiler-Elterntieren
Effect of the dwarf gene on fertility, hatchability and chick numbers of broiler breeder dams

Merkmal	Anpaarung	Normalwuchs	Zwergwuchs	Signifikanz	dw- - Effekt Normaltyp=100	Autor
Fertilität (%)	-	71,7	76,5	n	106,0	Ricard und Cochez, 1972
	ns	90,7	90,8	n	100,1	Chambers et al., 1974
	ns	89,3	94,7	n	106,0	Ricard, 1976
	-	90,2	85,2	s	94,5	Khoo und Hossein, 1982
	ns	93,2	90,5	n	97,1	Proudfoot et al., 1982
	ns	65,0	64,7	n	100,7	Marks, 1983
			88,2	80,7	n	91,6
Schlupffähigkeit der befruchteten Eier	-	79,8	82,9	n	103,8	Ricard und Cochez, 1972
	ns	81,9	85,8	n	104,7	Chambers et al., 1974
	kb	78,5	87,9	s	112,0	Marks, 1983
	ns	85,2	87,2	n	102,2	Ricard, 1976
	-	93,2	92,0	k	98,7	Khoo und Hossein, 1982
	ns	93,7	94,4	n	100,7	Kousiakis et al., 1985
			84,1	85,7	n	101,2
Schlupffähigkeit der eingelegten Eier	-	83,2	80,6	k	96,8	Sherwood, 1971
	ns	58,4	63,3	n	108,4	Ricard und Cochez, 1972
	ns	74,2	77,9	n	105,0	Chambers et al., 1974
	ns	78,2	77,3	n	98,8	Proudfoot et al., 1982
Anzahl Küken je Henne	ns	93,0	107,0	k	115,0	Sherwood, 1971
	ns	65,1	66,1	n	101,5	Chambers et al., 1974
	-	15,4	17,6	k	114,1	Ricard und Cochez, 1972
	-	117,1	123,5	k	105,4	Weaver, 1974
	-	76,8	70,2	k	91,4	Khoo und Hossein, 1982

n=nicht signifikant, *s*=signifikant, *k*=keine signifikanz Angabe; *ns*=natürlicher Anpaarung, *kb*=künstliche Besamung

Bei geschlechtsgetrenntem Fütterungssystem ist jedoch keine Beeinträchtigung der Befruchtungsergebnisse festgestellt worden (Burgess, 1988). Umgekehrt allerdings wurde bei

natürlicher Anpaarung der Normalhennen mit den Zwerghähnen eine deutlich verminderte Befruchtungsrate ermittelt (89,3 % vs. 42,8 %). Dagegen wird bei der Anpaarung der verzweigten Hähne mit Zwerghennen kein Fertilitätsrückgang festgestellt (Ricard, 1976). Die Wirkung des Zwerggens entfaltet sich bereits während der embryonalen Entwicklung durch Reduktion des Gewichtes des Embryonalgewebes (prozentual höheres Dottersackgewicht bzw. prozentual niedrigeres Gewicht des Embryonalgewebes beim Zwergküken im Vergleich zum normalwüchsigen Küken) (Amin-Bakhche und Merat, 1974; Strong und Japp, 1977). Dies scheint jedoch keinen Einfluss auf die Schlupffähigkeit zu haben. Wie aus der Tabelle 2.6 hervorgeht, weisen die produzierten Bruteier aus der Kreuzung Zwerghenne mit Normalhahn sogar eine leicht bessere Schlupfrate als die von normalwüchsigen Hennen auf. Auch die Untersuchungen von Chhum (1994) an Broiler-Elterntieren zeigen eine tendenzielle Verbesserung des Befruchtungs- und Schlupferfolgs der verzweigten Hennen unter gemäßigten Umwelttemperaturen. Hinsichtlich eines Adaptationsvorteils der Zwergge unter hoher Temperaturbelastung konnte der Autor jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Genotypen nachweisen.

Den positiven Aspekten einer züchterischen Nutzung des Zwerggens (*dw*) bei Broiler-Müttern steht eine negative Auswirkung auf das Wachstum der Nachkommenschaft der Zwerghennen gegenüber, die zum einem durch die genetisch bedingte Eigewichtsreduktion und zum anderem durch die unvollständig rezessive Wirkung bei männlichen Nachkommen (*Dwdw*) der verzweigten Hennen hervorgerufen wird (Chambers et al., 1974; Ricard, 1976; Proudfoot et al., 1982; Marks, 1983; Whiting und Pesti, 1983; Merat, 1984; Whiting und Pesti, 1984; Merat, 1990).

Nach Whiting und Pesti (1984) benötigen die männlichen Nachkommen der verzweigten Hennen etwa 1,2 und die weiblichen etwa 0,8 Tage mehr, um dieselben Endgewichte zu erreichen wie die Nachkommen von normalwüchsigen Broiler-Müttern. Nach demselben Autor sind die Wachstumsdifferenzen, die zwischen den männlichen (78 g) und den weiblichen Nachkommen (34 g) der beiden Hennengenotypen bestehen, zu 59 % bei den männlichen und zu 76 % bei den weiblichen Küken durch die Differenzen im Eigewicht der beiden Hennenmutter-Genotypen verursacht.

Durch die fortlaufende Selektion auf Wachstum bei Broilern nimmt die Wirkung des Eigewichtes auf die Gewichtsentwicklung noch stärker an Bedeutung zu, wobei eine Erhöhung der Eigewichte mittels gezielter Selektion grundsätzlich gegeben ist.

Nach Merat (1990) kann die züchterische Nutzung des Zwerggens für Entwicklungsländer, wo den Futterkosten besondere Bedeutung zukommt, vorteilhaft sein. Allerdings kann sich bei intensiven und semi-intensiven Produktionssystemen die geringere Wachstumsgeschwindigkeit der Nachkommen der verzweigten Broilermütter nachteilig auf die Nutzung auswirken.

Nach Flock (1995) besteht ein stagnierender bzw. ein rückläufiger globaler Marktanteil an verzweigten Broilermutterhennen, was darauf hindeutet, dass die geringeren Produktionskosten auf der Vermehrungsstufe nicht im entsprechenden Umfang an die Mäster weitergegeben werden.

2.3.3.2 Nackthalsgen (*Na*)

Smith und Lee (1977) haben keinen signifikanten Unterschied zwischen heterozygoten Nackthalshähnen (*Nana*) und normalbefiederten Hähnen (*nana*) für das Merkmal Fertilität festgestellt (87 % zu 79 %). Hammade et al. (1987) untersuchten die Hähne aller drei Genotypen unter gemäßigten (18 °C) und hohen Umwelttemperaturen (30 °C) auf die Spermaqualität und Befruchtungsrate. Sowohl bei dem Merkmal Spermamenge als auch bei der Anzahl der Spermien waren die homozygoten Nackthalshähne den normalbefiederten Hähnen signifikant überlegen. Die Heterozygoten nahmen eine mittlere Stellung ein. Keine signifikante Wirkung des Genotyps wurde bei den Merkmalen Spermakonzentration und Befruchtungsrate festgestellt. Die hohe Umwelttemperatur wirkte signifikant negativ bei allen drei Genotypen auf das Merkmal der Spermaqualität ohne jedoch signifikante Feststellung einer Genotyp x Umwelt -Interaktion. Schramm (1996) ermittelte ebenfalls einen deutlich höheren Befruchtungserfolg durch die Einzüchtung des Nackthalsgens bei wärmebelasteten Hähnen.

Eine depressive Wirkung auf die Schlupffähigkeit durch das Nackthalsgen wurde von einigen Autoren beschrieben (Crawford, 1975; Horst, 1980; Rauen, 1985; Merat, 1986). Crawford (1975) und Rauen (1985) kreuzten heterozygote Hähne mit normalbefiederten Hennen, die Nachkommenschaft ist in Tabelle 2.7 dargestellt.

Nach Crawford (1975) schlüpften, wie aus der Tabelle hervorgeht, bei obiger Anpaarung weniger weibliche Küken. Eine selektive Befruchtung wird als mögliche Ursache zur Erklärung dieses Phänomens vermutet.

Nach Auswertung der gesammelten Daten aus sechs Generationen von verschiedenen

Kreuzungskombinationen mit der Aufzeichnung des Genotyps und des Geschlechts der Eintagsküken fand Crawford (1978) eine sehr hohe Mortalität der homozygoten Nackhalsembryonen, wobei die Verluste von weiblichen Embryonen doppelt so hoch waren wie von männlichen. Die embryonale Mortalität der Heterozygoten war nur leicht höher als die der normalbefiederten Homozygoten. Demgegenüber berichten Deeb und Cahaner (1999) bei der Anpaarung heterozygoter Elterntiere von einer gleich hohen Anzahl weiblicher und männlicher Küken bei den Nachkommen aller drei Genotypen.

Tab. 2.7: Segregation der Genotypen bei der Nachkommenschaft aus der Kreuzung heterozygoter Hähne mit normalbefiederten Hennen
Segregation of genotypes of progeny from mating heterozygous males with normally feathered females

Anteil der Nachkommen*	Genotyp						Unterschied** (%)	Autor
	Nana m	nana m	Nana w	nana w	Nana mw	nana mw		
Absolute Zahlen	635	661	562	616	1197	1277	3,2	Crawford, 1975
%	25,7	26,7	22,7	24,9	48,38	51,62		
Absolute Zahlen					4040	4430	4,6	Rauen, 1985
%					47,7	52,3		

*) bei Crawford (1975) betrug die Gesamtbruteizahl 2474;

*) bei Rauen (1985) betrug die Gesamtbruteizahl 8470;

***) Unterschied der Genträger gegenüber den normalbefiederten Embryonen;
m=männlich; w=weiblich;

Nach Merat (1986) lag bei Anpaarung der heterozygoten Elterntiere der prozentuale Anteil der *NaNa*-Küken an der Gesamtanzahl der geschlüpften Küken bei 24,2 %, der heterozygoten bei 48,7 % und der *nana* -Küken bei 27,1 %, wobei diese Schlupfwerte wenig von der erwarteten Segregation (25 %, 50 % und 25 %) abweichen. Bei identischer Anpaarung (heterozygote Elterntiere) fanden Gonzalez et al. (1990) bei einer schweren Linie einen wesentlich geringeren prozentualen Anteil von geschlüpften *NaNa* -Küken (18,4 %). Der Anteil der *Nana*-Küken lag bei 53,6 % und der von *nana* -Küken bei 28 %.

Khan et al. (1998) stellten ebenfalls bei dem selben Anpaarungsschema bei zwei Broiler-Linien (weiße und farbige) ähnliche Ergebnisse fest (weiße Linie: 17,3 % *NaNa* -, 55,3 % *Nana* - und 27,45 % *nana* -Genotyp; farbige Linie: 17,8 %, 55,5 % und 25,8 %), wobei der Zeitpunkt des Absterbens bei etwa 50 % der abgestorbenen Embryonen, bei denen es sich zum Großteil um teilbefiederte Embryonen (*NaNa* und *Nana*) handelte, in den letzten 3 Tagen

der Bebrütung zu beobachten war. Sie waren jedoch voll ausgebildet, ohne jegliche sichtbare Missbildungen.

Nach Gonzalez et al. (1990) lag die Schlupfrate der *NaNa*-Embryonen bei 60,5 %, bei *Nana*-Embryonen bei 84,1 % und bei *nana*-Embryonen bei 84,3 Prozent. Unter den 39,5 % der abgestorbenen Nackthals-Embryonen (*NaNa*) hatten 14,3 % die Schale angepickt (external pipping) und 25,2 % nicht. Demgegenüber lagen die Werte bei abgestorbenen *Nana*-Embryonen insgesamt bei 15,9 %, davon mit angepickter Schale bei 6,6 % und bei denen, welche die Schale nicht angepickt hatten, bei 9,3 Prozent. Bei den abgestorbenen *nana*-Embryonen (15,7 %) lag der Wert mit angepickter Schale bei 5,7 % und mit nicht angepickter bei 10 Prozent. Somit bestand kein erheblicher Unterschied im proportionalen Anteil der nicht angepickten am Gesamtanteil der abgestorbenen Bruteier zwischen den *NaNa*-Embryonen und den *nana*-Embryonen (63,8 % vs. 63,7 %).

Nach Merat (1990) ist die reduzierte Schlupffähigkeit der nackthälsigen Embryonen durch embryonale Fehlstellung verursacht, wobei möglicherweise wegen der fehlenden Federn am Hals der Kopf eine falsche Position einnehmen kann.

Für Broilerhennen sind im Hinblick auf den Einfluss des Nackthalsgens auf die Schlupffähigkeit unter hohen Temperaturen keine Informationen verfügbar. Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse beziehen sich deshalb vorwiegend auf Legehennen oder auf experimentelle Linien.

Merat et al. (1989) untersuchten den Effekt des Nackthalsgens bei einer mittelschweren Zwergpopulation auf die Merkmale Befruchtungsrate und Schlupfrate (Tabelle 2.8) unter hohen und gemäßigten Umwelttemperaturen in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsreihen. Dabei wurden nur homozygote nackthälsige und normalbefiederte Hennen (*NaNa*, *nana*) verwendet. Die Hennen jedes Genotyps wurden gleichmäßig auf zwei klimatisierte Räume verteilt. In der ersten über zwei Monate dauernden Versuchsreihe war die Temperatur im ersten Raum bei 21 °C und im zweiten Raum bei 31 °C eingestellt. In der zweiten gleichdauernden Versuchsreihe waren die Temperaturen in beiden Räumen umgekehrt. Um bei der Untersuchung der Umwelteffekte einen möglichen Effekt des Genotyps des Embryos zu eliminieren, erfolgte die Besamung von Nackthalshennen (*NaNa*) mit Mischsperma (0,2 ml) von *nana*-Hähnen und die Besamung von *nana*-Hennen mit Mischsperma von *NaNa*-

Hähnen (alle Embryonen waren demnach heterozygot). Es wurde in beiden Perioden ein gesicherter Vorteil von Nackthalshennen auf die Merkmale Befruchtungserfolg und Schlupferfolg ermittelt. Während der beiden Versuchsreihen wurde unter den hohen Umwelttemperaturen eine deutliche, wärmeinduzierte Verminderung der Befruchtungs- und Schlupfrate bei *nana*-Hennen festgestellt, wobei in der zweiten Versuchsreihe die wärmebedingte Reduktion des Befruchtungs- und Schlupferfolges bei normalbefiederten Hennen weniger ausgeprägt war als in der ersten Versuchsperiode. Dabei waren in der ersten Versuchsreihe die Nackthalshennen den *nana*-Hennen im Merkmal Befruchtungserfolg um 19,3 % und im Merkmal Schlupferfolg um 19,6 % überlegen. In der zweiten Versuchsreihe betrug die Überlegenheit der *NaNa*-Hennen 7,5 bzw. 8,6 Prozent.

Tab. 2.8: Fertilitäts- und Schlupfrate in Abhängigkeit von Umwelttemperatur und Genotyp der Hennen (Merat et al., 1989)
Fertility and hatchability for environmental temperature and genotype of hens (Merat et al., 1989)

	N	F(%)	S/F %	S/N (%)	N	F(%)	S/F %	S/N (%)
Genotyp der Henne	1. Versuchsreihe (8 Wochen) 31 °C				1. Versuchsreihe (8 Wochen) 21 °C			
NaNa	358	93,3	89,2	83,7	408	94,9	88,8	84,1
nana	365	74,0	69,6	51,5	460	93,7	83,8	78,5
Gesamt	723	83,5	80,5	67,2	868	94,2	86,1	81,1
	2. Versuchsreihe (8 Wochen) 21 °C				2. Versuchsreihe (8 Wochen) 31 °C			
NaNa	374	94,9	86,5	82,1	389	92,5	80,6	74,6
nana	420	94,8	78,9	74,8	273	85,0	72,0	61,2
Gesamt	794	94,8	82,5	78,2	662	89,4	77,2	69,0

(durch Anpaarung von *NaNa*-Hähnen mit *nana*-Hennen sowie *nana*-Hähnen mit *NaNa*-Hennen waren alle Embryonen heterozygot); N= Gesamtanzahl der Bruteier bei der Einlage; F= Befruchtungsrate; S= Schlupfrate

Demgegenüber waren unter gemäßigten Temperaturen die Fertilitätswerte beider Genotypen in der ersten Versuchsreihe annähernd gleich und in der zweiten Versuchsreihe erhöhte sich die Befruchtungsrate der wärmegeprägten normalbefiederten Hennen (*nana*) der ersten Versuchsperiode auf 94,8 % (Normalisierung) und lag damit in gleicher Höhe wie die Nackthalshennen (*NaNa*) (94,9 %). Der Schlupferfolg der Bruteier der Nackthalshennen (*NaNa*) war allerdings auch unter gemäßigten Temperaturen höher als bei den Bruteiern der normalbefiederten Hennen. Die hohen Umwelttemperaturen führten bei normalbefiederten Hennen zur besonders schnellen Abnahme der Fertilitätspersistenz (gemessen bis 20. Tag

nach der letzten Besamung). Insgesamt betrug die Überlegenheit des mütterlichen Genotyps *NaNa* bei der Kükenzahl mehr als 30 % in der 1. Versuchsperiode und mehr als 13 % in der zweiten Versuchsperiode.

Merat et al. (1991) wiesen bei ähnlichem Versuchsaufbau unter einer Temperaturbelastung von 31 °C ebenfalls eine Überlegenheit der reproduktiven Leistung von Nackthalschhennen gegenüber den *nana*-Hennen nach, die sich in einer deutlich erhöhten Anzahl an produzierten Küken widerspiegelte.

Bordas et al. (1993) untersuchten die Wirkung von hohen Umwelttemperaturen und den Einfluss der Besamungshäufigkeit während zweier Versuchsperioden auf die Reproduktionsleistungen aller drei Genotypen (*nana*, *Nana*, *NaNa*). Die Hennen jeden Genotyps (*nana*, *Nana* und *NaNa*) wurden in einer ersten Versuchsperiode jeden 7. Tag, in der zweiten Versuchsperiode zur Hälfte jeden 3. Tag und zur Hälfte jeden 7. Tag mit Mischsperma besamt (*nana*-Hennen mit Sperma von *NaNa*-Hähnen, *Nana*-Hennen mit Sperma von *Nana*-Hähnen, *NaNa*-Hennen mit Sperma von *nana*-Hähnen).

Die hohen Temperaturen führten lediglich während der zweiten Versuchsperiode bei *nana*-Hennen zu einer Fertilitätsdepression, die im Vergleich zu teilbefiederten Hennen bei 7-tägigem Inseminationsintervall um 10 % (*NaNa* 91 %, *Nana* 90 % und *nana* 79 %) und bei 3-tägigem Inseminationsintervall um 15 % (*NaNa* 95 %, *Nana* 97 % und *nana* 82 %) niedriger lagen. Dabei wurde kein signifikanter Einfluss der Temperatur, des Genotyps oder ihrer Interaktion auf die Anzahl der Spermien an der Perivitellin-Membran festgestellt, jedoch führte häufigeres Besamen zu einer erhöhten Anzahl von Spermien an der Perivitellin-Membran.

Der günstige Effekt des Nackthalsgens auf den Schlupferfolg unter thermischer Belastung war ebenfalls nur in der zweiten Versuchreihe signifikant vorhanden, obwohl sich diese günstige Wirkung während der ersten Periode bereits andeutete. Der Schlupferfolg bei den Bruteiern der *NaNa*-Hennen lag 12,3 % über dem der *nana*-Hennen.

Unter gemäßigten Umwelttemperaturen bestanden keine deutlichen Differenzen zwischen den differenten Befiederungs-Genotypen.

2.3.3.3 Lockengen (*F*)

Sehr wenige Informationen sind über den Einfluss des Lockengens (Frizzlegen) auf die Fertilität vorhanden. Landauer und Dunn (1930) berichteten von einer hohen Sterilität der

Frizzlehennen, jedoch nicht der -Hähne.

Nach Landauer und Dunn (1930) wurde neben einer Zunahme der Stoffwechselrate und anderer physiologischer Abnormitäten, die durch die modifizierende Wirkung des Frizzle-Gens auf die Federn verursacht werden, auch eine erhöhte embryonale Mortalität festgestellt. Die Schlupfrate der Bruteier von Hennen mit einem höheren Grad an Lockenfiedrigkeit war höher als von Hennen mit einem geringeren Grad an Lockenfiedrigkeit, wobei die Intensität der Lockenfiedrigkeit ausser durch die Zahl der Lockungsgene selbst auch durch das Modifizierungs-Gen *fm* beeinflusst wurde (Landauer, 1933). Landauer und Dunn (1930) kreuzten normalbefiederte Hähne mit Frizzlehennen (homozygoten und heterozygoten) und umgekehrt (homozygote Frizzlehähne mit normalbefiederten Hennen) mit dem Ergebnis, dass die Schlupffähigkeit vom Lockungsgenotyp der Henne beeinträchtigt wird, und zwar stärker bei Homozygoten *FF*-Tieren (Schlupfrate 42,7 %), weniger bei den Heterozygoten (*Ff*). Dagegen ist der Frizzle-Genort beim Hahn (Schlupfrate 75,3 %) unbedeutend, was die Autoren schlussfolgern lässt, dass die beeinträchtigende Wirkung des Frizzlegens auf die Schlupffähigkeit nicht direkt durch das Gen hervorgerufen wird sondern eher indirekt auf maternale Veränderungen zurückzuführen ist. Von Haaren-Kiso (1991) stellte in diesem Zusammenhang auch fest, dass *Ff* -Küken beim Schlupf um 0,5 g leichter waren als ihre normalbefiederten Geschwister.

3. Material und Methoden

3.1 Versuchstiere

Da in der Broilerkükenproduktion aufgrund der negativen genetischen Korrelation zwischen Legetätigkeit und Wachstumsleistung die Mast-Elternlinien genetisch unterschiedlich differenziert sind, wurden bei diesem Experiment zwei verschiedene experimentelle Zuchtlinien mit unterschiedlicher Majorgenausstattung als Versuchstiermaterial verwendet, und zwar

- eine mittelschwere Broiler-Maternallinie (MZL), die mit der Eigenschaft Schnellwüchsigkeit zugleich eine höhere Legeleistung verbindet und segregiert ist in dem Majorgen für Lockenfiedrigkeit (F) und dem geschlechtsgebundenen Gen für Zwergwüchsigkeit (dw), und
- eine schwere Masttier-Paternallinie (VZL), die auf dem kommerziell genutzten Zuchtprodukt Lohmann Meat basiert und in Verbindung mit generationslanger Rückkreuzung in dem Majorgen für Befiederungsreduktion und Nackthalsigkeit (Na) segregiert.

3.2 Versuchsplan

Maternale Linie (MZL)

In drei mehrfaktoriell angelegten Versuchsreihen wurden die Wirkungen des dominanten, autosomalen Gens für Lockenfiedrigkeit (F) in heterozygoter (Ff) und homozygoter Form (FF) (Abb. 3.1) sowie des rezessiven, geschlechtchromosomgebundenen Majorgens für Zwergwüchsigkeit (dw) untersucht und ihre kombinierten Wirkungen auf die tierischen Leistungen unter hohen und gemäßigten Umwelttemperaturen geprüft.

Während die Testhennen im ersten Versuchsdurchgang (Vers. I) für das Merkmal Lockenfiedrigkeit heterozygot waren, waren die Hennen der Versuchsdurchgänge II und III homozygot (Abb. 3.1). Die genetische Struktur und Anzahl der Versuchstiere ist der Tabelle 3.1 zu entnehmen.

Im ersten und zweiten Versuchsdurchgang (Vers. I und Vers. II) wurden bei den Merkmalen Mortalität der adulten Hennen, Gewicht der Hennen, sexuelle Reife und Legeleistung (Legeintensität und Eizahl), Eigewicht, Anteil an brutfähigen Eiern je eingestellte Henne und

Bruteiqualität (Schalendicke, Bruchfestigkeit, Deformation und prozentualer Anteil an Eifractionen) die Faktoren Befiederungsgenotyp der Hennen (zwei Faktorstufen: Versuch I: heterozygot lockenfiedrig = Ff bzw. Versuch II: homozygot lockenfiedrig = FF und normalfiedrig = ff), Körpergrößentyp der Hennen (zwei Faktorstufen: dw^- = verzweigt und Dw^- =normalwüchsig) und Umwelttemperatur (zwei Faktorstufen: W =Warmstall und K =Kontrollstall) berücksichtigt.



Abb. 3.1: Einfluss des Gens für Lockenfiedrigkeit (F) auf die Federstruktur
Effect of the frizzle gene (F) on feather structure

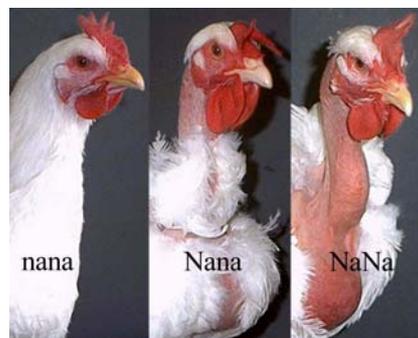


Abb. 3.2: Einfluss des Gens für Nackthalsigkeit und Befiederungsreduktion (Na) auf die Befiederung
Effect of the naked neck gene (Na) on feather reduction

Bei den Merkmalen Fertilität und Schlupffähigkeit wurde ein vierfaktorieller Versuchsplan umgesetzt und zusätzlich zu den oben erwähnten Einflussfaktoren der Einfluss des Hahnengenotyps (drei Faktorstufen bei der Versuchsreihe I: homozygot lockenfiedrig, heterozygot lockenfiedrig, normalfiedrig; und zwei Faktorstufen bei dem Versuchsdurchgang

II: homozygot lockenfiedrig, normalfiedrig) in das Modell aufgenommen. Ebenfalls ein vierfaktorielles Versuchsdesign wurde bei der Analyse der Daten über die embryonalen Fehlstellungen, den Zeitpunkten der embryonalen Mortalität und die nur beim Versuchsdurchgang II erhobenen Kükengewichte zugrunde gelegt.

Tab. 3.1 Genetische Struktur und Anzahl der Tiere der Masteltern-Mutterlinie (MZL) und Masteltern-Vaterlinie (VZL)
Genetic structure and size of testing groups of the maternal (MZL) and paternal (VZL) broiler breeding line

Zuchtlinie	Versuchsreihe	Testhennen		Zuchthähne	
		Genotyp	Anzahl	Genotyp	Anzahl
Mutterzuchtlinie (MZL)	I	ffDw-	47	ffDwDw	12
		ffdw-	43	FfDwDw	12
		FfDw-	59	FFDwDw	12
		Ffdw-	75		
	II	ffDw-	40	ffDwDw	12
		ffdw-	40	FFDwDw	12
		FFDw-	40		
		FFdw-	40		
	III	ffDw-	70		
		ffdw-	45		
		FFDw-	65		
		FFdw-	57		
Vaterzuchtlinie (VZL)	IV	NaNa	80	NaNa	12
		nana	80	nana	12

Da keine signifikante Wirkung des Hahnengenotyps und auch keine Wechselwirkungen mit anderen Faktoren bzw. Faktorkombinationen für die Merkmale Fertilität und Schlupffähigkeit bestanden, wurde bei der Analyse des Merkmals Kükenzahl der Einfluss des Hahnengenotyps nicht im Modell berücksichtigt und von einem dreifaktoriellen Versuchsplan ausgegangen, wie beim Merkmal Legeleistung beschrieben,.

In der dritten Versuchsreihe (Vers. III) wurde in einem zweifaktoriellen Versuch der Einfluss des Lockengens in homozygoter (*FF*) und des Verzweigungsgens in hemizygoter Form (*dw*-) auf Gewichtsentwicklung, Geschlechtsreife und Legeleistung unter kontrollierten Aufzuchtbedingungen und unter optimierten Temperaturen von ca. 24 °C während der Legeperiode geprüft.

Paternale Linie (VZL)

In einem faktoriell angelegten Versuch (Vers. IV) wurde der Einfluss des tropenrelevanten

Nackthalsgens (*Na*) auf die Leistungen der Versuchstiere der Paternallinie (VZL) unter unterschiedlichen Umwelttemperaturen getestet. Bei den Merkmalen Mortalität, Gewichtsentwicklung der Hennen, Geschlechtsreife, Legeleistung und Eiqualität wurden die Faktoren Hennengenotyp (zwei Faktorstufen: nackthalsig und normalbefiedert) und Umwelttemperatur (zwei Faktorstufen: W= Warmstall und K= Kontrollstall) berücksichtigt. Bei den Merkmalen Fertilität, Schlupffähigkeit, embryonale Fehlstellung, Zeitpunkt der embryonalen Mortalität, Kükenzahl und Kükengewicht wurde der Einfluss des Hahnengenotyps (zwei Faktorstufen: *NaNa* und *nana*) zusätzlich in das Modell aufgenommen.

Da bereits eine negative Auswirkung des Nackthalsgens auf die Schlupffähigkeit in der Literatur beschrieben worden ist, wurden zusätzliche Untersuchungen vorgenommen, um den möglichen Einfluss dieses Gens auf die embryonale Stoffwechselaktivität zu analysieren. Dabei wurde der embryonale Sauerstoffverbrauch (Vers. Va) bei allen drei Embryonengentypen (*NaNa*, *Nana*, *nana*) und die embryonale Wärmeentwicklung (Vers. Vb) bei homozygoten Nackthals- und normalbefiederten Embryonen (*NaNa* und *nana*) gemessen (s. Kapitel 4.8).

Bei der Untersuchung des embryonalen Sauerstoffverbrauches wurde eine an der Justus-Liebig-Universität Gießen entwickelte Methode angewandt (Hiller, 1994). Der Sauerstoffverbrauch der Bruteier wurde vom 14. bis zum 21. Tag der Bebrütung gemessen. Hierzu wurden die Bruteier einzeln in einer Inkubationskammer mit doppelter Ummantelung aus Plexiglas eingelegt, wobei insgesamt vier dieser Inkubationskammern zur Verfügung standen. Die Bruteier wurden vor dem Einlegen in die Inkubationskammern gewogen und nacheinander für einige Minuten in der luftdicht geschlossenen Inkubationskammer gehalten. Die Temperatur der Kammer wurde durch die Spülung der Ummantelung mit Warmwasser auf 37,8 °C konstant gehalten. Mittels einer Platin-Silber-Elektrode in der Inkubationskammer wurde die Veränderung des Luftsauerstoffes in den Inkubationskammern gemessen und durch einen Kompensationsschreiber aufgezeichnet. Die lineare Abnahme des Sauerstoffs in den Brutkammern wurde dann in ml/h berechnet (s. Hiller, 1994).

Die embryonale Temperaturentwicklung wurden vom 16. bis zum 21. Bebrütungstag aufgezeichnet. Dabei wurde zunächst am 16. Bebrütungstag die Lage des Embryos durch das Schieren der Bruteier ermittelt. Nach dem Anzeichnen der Lage der Luftkammer und des Embryos wurde an der Seite mit dem geringsten Abstand zwischen Embryo und Schale ein

Loch in die Kalkschale gefräst, ohne die Schalenmembran zu beschädigen. Ein desinfizierter Temperaturmessfühler (Miniatur-Thermoelement-Messfühler, NTC 10 Kohm Siemens) wurde zwischen Kalkschale und äußerer Schalenmembran eingeführt, an der Kalkschale fixiert und die Öffnung mit Wachs luftdicht verschlossen. Zur Datenerfassung wurde der Temperaturmessfühler, der über eine Genauigkeit von 0,1 °C verfügte, über einen PC-Adapter (A/D Meßkarte 12 Bit Conrad-Electronic und Software RTX-View zur Daten-Auswertung) an einen Computer angeschlossen. Die vom Messfühler erfassten Temperaturen wurden als diskreter Datenstrom vom Computer erfasst, wobei alle 10 Minuten der aktuelle Wert gespeichert, in °C umgerechnet und in einer Zeitmatrix abgelegt wurde. Aus den so erfassten Messwerten wurden dann für die jeweiligen Bruttage Mittelwerte gebildet.

3.3 Haltung und Fütterungsregime

Die Hähne und Hennen der beiden Linien, sowohl der Maternallinie (MZL) als auch der Paternallinie (VZL) wurden entsprechend dem Management-Programm für Großelterntiere der Linie Lohmann Meat gefüttert.

Bei der Versuchsreihe I jedoch wurden die verzweigten Test-Hennen abweichend von dem oben erwähnten Fütterungsprogramm während der gesamten Versuchsperiode ad libitum gefüttert. Auf Grund der Verwendung heterozygoter Hähne (*Dwdw*) konnte eine Trennung in Normal- und Zwergtyp-Hennen mit hoher Sicherheit erst in der 18. Lebenswoche unter Verwendung der Schenkellängen- und Körpergewichtswerte erfolgen. Deshalb konnten die normalwüchsigen Junghennen erst ab der 18. Lebenswoche von den verzweigten Hennen getrennt und bis zum Ende des Versuchsdurchgangs restriktiv gefüttert werden.

Bei der Versuchsreihe II bzw. IV erfolgte die Fütterung der Tiere während der ersten 3 Lebenswochen ad libitum und danach bei der Paternallinie (VZL) ebenso wie bei den normalwüchsigen Hennen der Mutterzuchtlinie (MZL) bis zum Ende des Versuchsdurchganges restriktiv. Die verzweigten Tiere wurden wegen der späten Erkennbarkeit aller Genotypen bis zur 18. Lebenswoche ebenfalls restriktiv und dann ab der 18. Lebenswoche wie in der Versuchsreihe I ad libitum gefüttert.

Alle Hennen der Versuchsreihe III wurden während der gesamten Versuchsdauer ad libitum gefüttert.

Während der ersten 4 Wochen wurde ein Alleinfutter für Hühnerküken (11,0 MJ ME/kg, 18 % Rohprotein, 4 % Rohfett, 5 % Rohfaser), danach bis zum Ende der Aufzucht ein

Alleinfutter für Junghennen (10,2 MJ ME/kg, 15 % Rohprotein, 2,5% Rohfett, 5,2 % Rohfaser) und ab dem Legebeginn ein Alleinfutter für Legehennen (19,0 MJ ME/kg, 19 % Rohprotein, 5,2 % Rohfett, 4,3 % Rohfaser) angeboten.

Während der 1. Woche wurde 24 Stunden Licht geringerer Intensität angeboten. Danach wurden die Tiere sowohl während der Aufzucht als auch während der Legeperiode entsprechend den tropischen Bedingungen bei 12 Stunden Licht gehalten.

Die Tiere wurden vom Schlupf bis zur 18. (MZL) bzw. bis zur 20. Lebenswoche (VZL) in speziellen Aufzuchtkäfigen (1m x 0,7 m; 0,6 m hoch) aufgezogen. In den ersten Lebenstagen (Vers. I, Vers. II und Vers. IV) wurde die Temperatur mit Wärmelampen auf 33 °C gehalten und dann langsam auf 18 bis 20 °C abgesenkt.

Tab. 3.2 Schematische Darstellung des Haltungs- und Fütterungsregimes der Versuchshennen *schematic diagram of husbandry and feeding of experimental hens*

Zuchttypen															
mittelschwere Mutterzuchtlinie MZL										schwere Vaterzuchtlinie VZL					
Versuchsreihe															
I			II			III			IV						
Genotypen															
ffDw- ffdw- FfDw- Ffdw-			ffDw- ffdw- FFDw- FFdw-			ffDw- ffdw- FFDw- FFdw-			NaNa nana						
Haltungsform der Junghennen															
Gruppenkäfig															
Haltungsform der Legehennen															
Einzelkäfige in zwei Legestallabteilen (K und W)															
K		W		K		W						K		W	
Temperatur															
19 °C*		30 °C**		19 °C*		30 °C**		24 °C**				19 °C*		30 °C**	
Luftfeuchtigkeit															
55 %		46 %		58 %		45 %		55 %				45 %		45 %	
Fütterungsregime															
Junghennen		Legehennen		Junghennen		Legehennen		Junghennen		Legehennen		Junghennen		Legehennen	
dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-	dw-	Dw-
ad lib.	ad lib.	ad lib.	restr.	restr.	restr.	ad lib.	restr.	ad lib.	ad lib.	ad lib.	ad lib.	restr.	restr.	restr.	restr.

*variabel; **konstant; W=Warmstall; K=Kontrollstall

Mit 18 bzw. 20 Wochen erfolgte die gleichmäßige Aufteilung der Hennen der Versuchsreihen. I, II und VI (jeweilige Genotypen beider Linien) in zwei unterschiedlich temperierte Ställe mit Einzelkäfigen (0,46 m x 0,48 m; 0,56 m hoch). In einem der Ställe

(Warmstall) wurde die Temperatur auf konstant 30 °C bei einer rel. Luftfeuchte von 45 % (Temperaturstress) gehalten, und in dem anderen, als Kontrollstall bezeichneten Stall herrschten gemässigte Temperaturen von durchschnittlich ca. 19 °C (17 bis 23 °C Tagesmitteltemperatur) und eine relative Luftfeuchte von 55-58 % (50-75) (Tab.3.2)

Speziell bei der Versuchsreihe III (nur MZL) wurde eine maximale Besatzdichte von 5 kg Körpergewicht/m² für alle 4 Gruppen eingehalten, um eine indirekte Genwirkung (nicht-genbedingte Wachstumsdepression; Unterdrückung der Verzweigten) möglichst auszuschalten. Die Temperaturen wurden in den ersten Tagen auf 32 bis 33 °C gehalten und dann bis zur 4. Woche langsam auf 24 °C abgesenkt und bis zur 18. Woche beibehalten. Im Gegensatz zu Versuchsreihe I und II wurden die Hennen aller vier Genotypen der Versuchsreihe III ab der 18. Lebenswoche in nur einer Versuchskammer unter konstanten Temperaturen von ca. 24,5 °C und 55 % relativer Luftfeuchte in Einzelkäfigen gehalten (Tab.3.2).

3.4 Merkmalerfassung

Mortalität der adulten Hennen

Die Verlustrate der Versuchshennen wurden während der gesamten Versuchsabläufe erfasst und in Beziehung zu der Anzahl der Hennen zu Beginn der Versuchsperiode gesetzt.

Gewichtsentwicklung

In der Aufzucht wurden die Körpergewichte bei Versuchsreihe I in der 5. und 10. Lebenswoche (Lw) und bei den Versuchsreihen II, III und IV bis zur 10. Lebenswoche jede zweite Woche und danach in der 15., 18. und 20. Lebenswoche erfaßt. Ab der 20. bis zur 40. Lebenswoche wurden die Hennen jede 4. Woche und danach noch mal in der 56. Lebenswoche bei Versuchsreihe I und in der 72. Lebenswoche bei den Versuchsreihen II und IV gewogen. Bei Versuchsreihe III wurden während der Legeperiode keine Gewichte erhoben. Die Schenkellängen wurden in der 10., 15. und 20. Lebenswoche gemessen.

Sexuelle Reife und Legeleistung

Bei allen Versuchsdurchgängen wurde der Legebeginn (Alter beim ersten Ei) aller eingestellten Hennen erfasst. Die Legeleistung jeder einzelnen Henne wurden vom Beginn

des Legens bis zum Alter von 56 Wochen bei Vers. I, bis zum Alter von 72 Wochen bei Vers. II und IV und bis zum Alter von 52 Lebenswochen bei Versuchsreihe III aufgezeichnet. Dabei wurden auch die Wind- und Brucheier in die Aufzeichnung mit einbezogen. Die Legeleistung der vorhandenen Hennen wurde zur Darstellung der Legeintensität in Prozent der 28-Tage-Periode berechnet. Der Anteil der nichtlegenden Hennen wurde in Prozent der vorhandenen Hennen der jeweiligen Legeabschnitte berechnet.

Merkmale der Eiqualität

In der 32. und 48. Lebenswoche wurden die Merkmale der Eiqualität (Vers. I, II und IV) an maximal jeweils 4 Eiern pro Henne erhoben. Folgende Merkmale wurden aufgezeichnet: Eigewicht, Dottergewicht, Schalengewicht, Eiklar- und Dotterhöhe sowie Bruchfestigkeit. Dabei wurde das Eigewicht gemessen und das Eidotter nach manueller Trennung vom Eiklar gewogen und die Eischale mit der Schalenmembran nach zweitägiger Lufttrocknung ebenfalls gewogen, jeweils mit einer elektrischen Waage. Das Eiklargewicht wurde dann rechnerisch ermittelt. Die Werte dienten zur Berechnung des prozentualen Anteils der Eifractionen. Die Bruchfestigkeit wurde mittels eines elektrischen Gerätes bestimmt, in dem das Ei in einer horizontalen Lage zwischen zwei Druckpolen eingespannt wird, bis es bei bestimmter Druckbelastung (kp) den ersten Sprung zeigt. Ferner wurde wöchentlich ein Ei pro Henne zur Beurteilung des Bruch- bzw. Knickeianteils durchleuchtet und das Ergebnis aufgezeichnet.

Fertilität , Schlupffähigkeit und embryonale Entwicklung

Während in den Versuchsreihen II und IV (VZL und MZL) die Hennen ab der 30. bis zur 50. Lebenswoche und nach einer 4 -wöchigen Pause wieder ab der 54. Lebenswoche bis zum Ende der Versuchsperiode (72. Lw) in 36 Schlupfversuchen getestet wurden, wurden bei der Versuchsreihe I (MZL) die Hennen ab der 24. bis zur 42. und dann wieder von der 54. bis zur 64. Lebenswoche in 14 Schlupftests für die Erfassung der Befruchtungsrate und Schlupffähigkeit herangezogen. Dabei wurden die Hennen der verschiedenen Genotypgruppen wöchentlich (im Abstand von maximal 8 Tagen) mit jeweils der gleichen Menge verdünnten Mischspermas von 0,4 ml (in einem Verhältnis von 1 zu 1 mit Blumberger Verdünner verdünnt) der jeweiligen Hahnengruppe künstlich besamt (Tabelle. 3.2). Das Mischsperma wurde verwendet, um einen individuellen Einfluss der Hähne zu eliminieren. Die Bruteier wurden 3 mal täglich (einmal sofort, einmal 4 und einmal 8 Stunden nach

Beginn der Lichtperiode) gesammelt und in einem Lagerraum bis maximal 10 Tage gelagert. Die Temperatur im Lagerraum betrug durchschnittlich 13 °C. Die relative Luftfeuchte lag bei 70 Prozent.

Tab. 3.3: Anpaarungsplan für die Erfassung der Merkmale Fertilität, Schlupffähigkeit, Kükenzahl, embryonale Stellung, embryonale Mortalität und Kükengewicht.
Mating plan for data collection of fertility, hatchability, chick number, embryonic position, embryonic mortality and chick weight

Maternale Linie (MZL) Vers. I		
Hahnengenotyp		Hennengenotyp
ff DwDw	x	ff Dw- / ff dw-/Ff Dw-/Ff dw-
Ff DwDw	x	ff Dw- / ff dw-/Ff Dw-/Ff dw-
FF DwDw	x	ff Dw- / ff dw-/Ff Dw-/Ff dw-
Maternale Linie (MZL) Vers. II		
ff DwDw	x	ff Dw- / ff dw-/ FF Dw-/ FF dw-
FF DwDw	x	ff Dw- / ff dw-/ FF Dw-/ FF dw-
Paternale Linie (VZL) Vers. IV		
NaNa	x	NaNa

Bebrütet wurden die Bruteier in Brutschränken bei 37,5 °C und 55 % relativer Luftfeuchte. Am 7. und am 18. Tag des Bebrütens wurden die Bruteier geschickt. Die Schiereier wurden geöffnet, um die wahre Fertilität, den Zeitpunkt der embryonalen Mortalität und mögliche Anomalien festzustellen. Am 18. Tag wurden die Bruteier aus den Vorbrütern in die Fertigbrüter transportiert und bei 37 °C und 75 % rel. Luftfeuchte weiter bebrütet. Nach 21 Tagen wurde der Brutprozess beendet. Die geschlüpften Küken wurden gewogen und bei der Vaterzuchtlinie (VZL) nach dem Schlupf und bei der Mutterzuchtlinie (MZL) nach 10-tägiger Aufzucht visuell genetisch identifiziert. Die abgestorbenen Bruteier wurden nach folgenden Merkmalen untersucht: Anpicken der Schale (external pipping), Anpicken der inneren Schalenmembran in die Luftkammer hinein (internal pipping), embryonale Fehlstellung, Zeitpunkt des Absterbens des Embryos, der Grad des Einziehens des Dottersacks in den Embryonalkörper und sichtbare Anomalien. Bei der Beurteilung des Zeitpunktes des embryonalen Absterbens wurden die Methoden von Hamburger und Hamilton (1951) und von Freeman und Vince (1974) zugrundegelegt.

3.5 Mathematische und statistische Analyseverfahren

Mortalität der adulten Hennen

Bei der statistischen Auswertung der Mortalitätsdaten (kategorisches Merkmal) der adulten Hennen wurden lineare Modelle zugrundegelegt (Mennicken, 1995; Zeltermann, 1999). Die Analyse des Datenmaterials erfolgte mit der Schätzmethodik WLS-Prinzips und mit der Prozedur CATMOD 8.1 SAS System (SAS-Institut, 2000). Angewandt wurden folgende statistische Modelle:

Modell 1 (MZL)

$$m_{ijk} = \mu + B_i + K_j + U_k + BK_{ij} + BU_{ik} + KU_{jk} + BKU_{ijk}$$

m_{ijk} = erwartete relative Häufigkeit

μ = allgemeiner Mittelwert

B_i = fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($i=1, 2$), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=lockenfiedrig)

K_j = fixer Einfluss des Körpergrößentyps der Henne, ($j=1, 2$), (Stufe 1=normalwüchsig, 2=verzweigt)

U_k = fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($k=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)

BK_{ij} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Körpergrößentyp

BU_{ik} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur

KU_{jk} = Interaktion zwischen Körpergrößentyp und Umwelttemperatur

BKU_{ijk} = Interaktion zweiter Ordnung

Modell 2 (VZL)

$$m_{ijk} = \mu + B_i + U_j + BU_{ij}$$

m_{ijk} = erwartete relative Häufigkeit

μ = allgemeiner Mittelwert

B_i = fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($i=1, 2$), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=nackthalsig)

U_j = fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($j=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)

BU_{ij} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur

Gewicht der adulten Hennen, Eizahl, Eizahl, Legeintensität und Anteil an brutfähigen Eiern

Vor der statistischen Analyse der quantitativen Merkmale wurde das entsprechende Datenmaterial hinsichtlich der Abweichung von der Normalverteilung mit der Methode von Kolmogorov-Smirnov mit dem statistischen Programm Statistica geprüft. Die Analyse der Einflussfaktoren auf die näherungsweise normal verteilten Merkmale Gewicht der adulten

Hennen, Eiquantitätsmerkmale, sexuelle Reife, Eizahl, Legeintensität und Anteil an brutfähigen Eiern erfolgte varianzanalytisch mit der Methode der kleinsten Quadrate und der Prozedur GLM SAS System 8.1(SAS-Institut, 2000) nach folgenden Modellen:

Modell 3 (MZL)

$$y_{ijkl} = \mu + B_i + K_j + U_k + BK_{ij} + KU_{jk} + BU_{ik} + BKU_{ijk} + e_{ijkl}$$

y_{ijkl} = Wert des untersuchten Merkmals

μ = allgemeiner Mittelwert

B_i = fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($i=1, 2$),
(Stufe 1=normalbefiedert, 2=lockenfiedrig)

K_j = fixer Einfluss des Körpergrößentyps der Henne, ($j=1, 2$),
(Stufe 1=normalwüchsig, 2=verzweigt)

U_k = fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($k=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)

BK_{ij} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Körpergrößentyp

BU_{ik} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur

KU_{jk} = Interaktion zwischen Körpergrößentyp und Umwelttemperatur

BKU_{ijk} = Interaktion zweiter Ordnung

e_{ijkl} = Restfehler

Modell 4 (VZL)

$$y_{ijk} = \mu + B_i + U_j + BU_{ij} + e_{ijk}$$

y_{ijk} = Wert des untersuchten Merkmals

μ = allgemeiner Mittelwert

B_i = fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($i=1, 2$), (Stufe 1=normalbefiedert, 2= nackthalsig)

U_j = fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($j=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)

BU_{ij} = Interaktion zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur

e_{ijk} = Restfehler

Nichtlegeranteil

Die Analyse des Merkmals Nichtlegeranteil wurde deskriptiv durchgeführt. Dabei wurde für die jeweiligen Legeabschnitte der Nichtlegeranteil an insgesamt vorhandenen Hennen berechnet und graphisch dargestellt.

Fertilität und Schlupffähigkeit

Die meisten Autoren führen die statistische Analyse der Merkmale Fertilität und Schlupffähigkeit so aus, dass sie zunächst den prozentualen Anteil der fertilen bzw. geschlüpften Bruteier an den gesamten gesammelten Bruteiern einer Henne nach einem beliebigen Intervall berechnen. Die Prozentzahlen werden dann varianzanalytisch analysiert.

Die Anwendung dieser Analysemethode ist mit Nachteilen verbunden. Zum einen wird bei solchen Datentypen die Voraussetzung für eine Varianzanalyse (Additivität der systematischen Effekte, Varianzhomogenität und Normalverteilung) nicht eingehalten, auch wenn vor der Analyse eine Winkel-Transformation/Arc-sin Transformation der Daten durchgeführt wurde (Kirby und Froman, 1990; Piepho, 1998; Wishart und Staines, 1999); zum anderen ist eine erforderliche gleichzeitige Analyse der Bruteimerkmale und der Merkmale der Mutterhenne problematisch. So berücksichtigt eine Analyse der Fertilität oder der Schlupffähigkeit bezogen auf das Brutei nicht die vorhandenen Korrelationen zwischen den Eiern einer Henne.

Bei der Methode von Kirby und Froman (1990) zur Analyse der Fertilitätsdaten mittels Logit-Transformation und der Anwendung von einem Log Odds - Modell bleibt die gleichzeitige Betrachtung der Eigenschaften der Henne und der Bruteier ungelöst.

Jassim et al. (1996) entwickelten eine Methode zur Multiphase-Analyse der Fertilität und der embryonalen Mortalität, bei der neben den Merkmalen Fertilität und Schlupffähigkeit auch der Verlauf der embryonalen Mortalität während des Bebrütungszeitraums analysiert werden kann. Da diese Methode, ein nicht-lineares Regressions- Modell, jedoch auf einem iterativen Schätzverfahren basiert, führt die Anwendung dieser Methode aufgrund der Konvergenzproblematik nicht immer zu einem Ergebnis.

Bei der Analyse der Daten der Fertilität und Schlupffähigkeit wurde daher in dieser Arbeit eine Binomialverteilung zugrunde gelegt. Dabei wurden die Bruteier mit 0 (unbefruchtet) bzw. mit 1 (fertil) kodiert, um das „alternative Schätzverfahren“ (siehe Littell et al., 1999; S. 439) der Binomial-Modelle anzuwenden. Sowohl die Fertilitäts- als auch die Schlupfdaten sind mittels logistischem Modell (GLMMs) mit dem Glimmix-Makro des SAS Systems (SAS-Institut, 2000) analysiert worden. Das Makro basiert auf einem iterativen Abruf der Prozedur „Mixed“.

Um die Effekte des Genotyps des Hahnes und der Henne sowie den Einfluss der Umwelttemperatur der Henne auf die Fertilität und Schlupffähigkeit zu quantifizieren, wurden der Einfluss des Hahnengenotyps, des Hennengenotyps (paternale Linie) bzw. des Hennenbefiederungs- und -körpergrößentyps (maternale Linie) und der Umwelt als fixe Faktoren spezifiziert. Alle möglichen Interaktionen zwischen den fixen Effekten wurden in

das Modell aufgenommen

Durch die Berücksichtigung der Interaktionen zwischen Hahnengenotyp und Hennengenotyp kann ein möglicher Einfluss der Majorgendosis (embryonaler Genotyp) bzw. der Majorgenherkunft bei den jeweiligen Elternreihen aufgezeigt werden. Um die Reaktionsunterschiede der Hennengenotypen unter Temperaturstress sowie mögliche Wechselwirkungen von Hahnengenotyp und Hennenumwelt zu quantifizieren, wurden die Interaktionen zwischen Hahnengenotyp und Hennengenotyp mit der Umwelt sowie die Interaktionen zwischen allen drei Haupteffekten in das Modell aufgenommen.

Zusätzlich zu dem oben beschriebenen einfachen Modell wurden in weiteren Modellen die Einflussfaktoren Hennengewicht, Eigewicht, Eigewichtsverlust, Lagerdauer, Schalenstabilität und Alter der Henne als Kovariablen berücksichtigt, um insbesondere ihre mögliche Wechselwirkung mit den Hauptfaktoren zu analysieren. Interaktionen zwischen den Hauptfaktoren und den Kovariablen (lineare und höhere Dimensionen) sowie zwischen verschiedenen Kovariablen sind im Modell berücksichtigt (s. Kap. 4).

Da die Bruteier einer Henne, die im Laufe einer Legeperiode gelegt werden, in ihren Eigenschaften miteinander korreliert sein können (Korrelation der Fehler) bzw. es sich hier streng genommen um wiederholte Messungen innerhalb eines Tieres handelt, ist die Berücksichtigung einer Autokorrelation im Modell notwendig. Da die Zeitabstände zwischen den Ovipositionen unterschiedlich sind, kommen bei der Modellierung der Korrelation räumliche Modelle (Verallgemeinerung des autoregressiven Modells) in Betracht, wobei eine Zeitvariable anstelle räumlicher Koordinaten verwendet wird.

Die Kovarianz-Matrix-Struktur (Struktur der seriellen Korrelation) für solche Daten kann exponential, gaussisch, linear, log linear, von höherer Potenz (power) oder sphärisch sein (Littell et al., 1999, S. 303; persönliche Mitteilung, Piepho, 2000). Die Modellierung dieser unterschiedlichen Kovarianz-Strukturen ist in SAS/STAT 6,12 (Prozedur Proc Mixed, 1997 S. 625) nach Littell et al. (1999, S. 127 und S. 305) möglich.

Die Varianz der Restfehler bei der Modellierung einer seriellen Korrelation besteht aus zwei Komponenten und kann zerlegt werden in die Komponente der seriellen Korrelation und in die Komponente der Messfehler. Da die oben genannten Kovarianz-Modelle jedoch an Daten mit abrupten Veränderungen bei relativ kleinen Abständen (Distanzen) zwischen

wiederholten Beobachtungen nicht gut angepasst sind, wurde zusätzlich ein sogenannter Nugget Effekt (SAS-Option Local) in das Modell eingefügt (Verbeke und Molenberghs, 1997; Littell et al., 1999, Kapitel Spatial Variability). Da außerdem eine zufällige Streuung zwischen den Hennen besteht, wurde auch der zufällige Effekt der einzelnen Hennen im Modell zunächst berücksichtigt.

Bei der Auswahl der Modelle bzw. der Kovarianz- Struktur werden die Modellanpassungskriterien (model fitting criteria) der verschiedenen Modelle miteinander verglichen. Das am besten angepasste Modell ist das Modell mit dem höchsten „Schwarz-„ bzw. „Akaike –Kriterienwert“ (Littell et al., 1999, S. 101).

Nach der Selektion der geeigneten Kovarianz-Struktur wurden die Hauptfaktoren- und Kovariablen, die nicht signifikant waren ($P > 0,05$) aus dem Modell genommen. Die Analyse der Daten basiert auf dem REML-Schätzprinzip.

Die berechneten statistischen Analysemodelle sind tabellarisch in Form der SAS-Syntax im Anhang 1 bis 12 wiedergegeben, wobei das ausgewählte Modell gekennzeichnet (unterstrichen) ist. Dementsprechend wurden folgende statistische Modelle für die Analyse der Fertilität und Schlupfdaten der Vaterzuchtlinie aufgestellt.

Modell 5.1 (VZL)

$$\text{Logit}(\pi_{rst}) = \eta_{rst} = \log(\pi_{rst}/1 - \pi_{rst}). \quad = \quad \varphi + \alpha_r + \beta_s + \tau_t + \alpha\beta_{rs} + \alpha\tau_{rt} + \beta\tau_{st} + \alpha\beta\tau_{rst}$$

- π_{rst} = Ereigniswahrscheinlichkeit
- φ = Gesamteffekt
- α_r = fixer Effekt des Hahnengenotyps, ($r=1, 2$),
(Stufe 1=normalbefiedert, 2=nackthalsig)
- β_s = fixer Effekt des Hennengenotyps ($s=1, 2$),
(Stufe 1=normalbefiedert, 2=nackthalsig)
- τ_t = fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($t=1, 2$),
(Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)
- $\alpha\beta_{rs}, \alpha\tau_{rt}, \beta\tau_{st}, \alpha\beta\tau_{rst}$ = Effekte der entsprechenden Interaktionen

Eine beliebige Beobachtung y wird im verallgemeinerten linearen Model durch die additive Funktion der systematischen und zufälligen Komponenten beschrieben. Die systematische Komponente entspricht dem Erwartungswert $E(y)$ und die zufällige Komponente dem Fehler, wobei $E(y)$ durch μ und der Fehler durch e gekennzeichnet wird. Dementsprechend gilt $y = \mu + e$.

Im verallgemeinerten fixen linearen Modell ist die Varianz von y , V gleich der Varianz der Fehler $V(e)$.

Die Grundform des verallgemeinerten linearen Modells wird durch $\eta = X\beta$ beschrieben, wobei $\eta = g[\mu]$ ist. $g[\mu]$ wird Link-Funktion genannt, da es den Erwartungswert der Zielgröße μ mit einem linearen Prediktor η der Einflussgrößen (X) verknüpft. Das logistische Modell verwendet als Link-Funktion $g(\mu) = X\beta$ für den linearen Prediktor η die Logit-Funktion

$$\eta = \log(\mu/1-\mu).$$

Da der Erwartungswert von μ gleich der Ereigniswahrscheinlichkeit π ist, gilt

$$\eta = \log(\pi/1-\pi).$$

Die inverse Link-Funktion ist definiert als $h(\eta) = \mu = g^{-1}(\eta) = g^{-1}(X\beta)$. Da η durch $X\hat{\beta}$ geschätzt wird, kann der Wert von μ als $\hat{\mu} = h(X\hat{\beta})$ geschätzt werden.

Für normal verteilte Daten gilt $h(X\beta) = X\beta$, da $\eta = \mu$ ist. Für binomial verteilte Daten, wo $\eta = \log(\pi/1-\pi)$ und $\pi = h(X\beta)$ ist, gilt durch die inverse Transformation

$$\pi = \mu = \exp(X\beta) / (1 + \exp(X\beta)).$$

Der Maximum Likelihood Schätzer für β erfolgt iterativ durch die Lösung von $X'WX\beta = X'Wy$ wobei,

$$W = D'R^{-1}D, \quad y = \hat{\eta} + (y - \hat{\mu})D^{-1}, \quad D = [\partial\mu / \partial\eta] \quad \text{und} \quad R = \text{var}(e) = R_{\mu}^{1/2} A R_{\mu}^{1/2} \text{ ist.}$$

A besitzt für das oben geschilderte Modell eine räumliche Korrelationsstruktur und R_{μ} ist eine Diagonalmatrix mit der Varianzfunktion $V(\mu) = \pi(1-\pi)$; $e_{rstv} = (e_{rstv1}, e_{rstv2}, \dots)$ stellt den Fehlervektor eines Tieres dar (Littell et al., 1999, S. 439).

Für die Hennen der Mutterzuchtlinie (MZL) wurden im Modell anstelle des Hennengenotyps die Faktoren Hennenbefiederungstyp und Hennenkörpergröße aufgenommen.

Modell 5.2 (MZL)

$$\text{Logit}(\pi_{rstv}) = \log(\pi_{rstv}/1 - \pi_{rstv}) = \eta_{rstv} = \varphi + \alpha_r + \beta_s + \tau_t + \lambda_v + \alpha\beta_{rs} + \alpha\tau_{rt} + \alpha\lambda_{rv} + \beta\tau_{st} + \beta\lambda_{sv} + \tau\lambda_{tv} + \alpha\beta\tau_{rst} + \alpha\beta\lambda_{rsv} + \beta\tau\lambda_{stv} + \alpha\beta\tau\lambda_{rstv}$$

π_{rstv}	= Ereigniswahrscheinlichkeit
φ	= Gesamteffekt
α_r	= Fixer Effekt des Hahnengenotyps, (Versuch I r=1, ..., 3), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=heterozygot lockenfiedrig 3=homozygot lockenfiedrig), (Versuch II r=1,2), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=heterozygot lockenfiedrig)
β_s	= Fixer Effekt des Hennenbefiederungstyps, (s=1, 2), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=lockenfiedrig)
τ_t	= fixer Effekt der Hennenkörpergröße (t=1, 2), (Stufe 1=normalwüchsig, 2=verzwergt)
λ_v	= fixer Effekt der Umwelttemperatur, (v=1, 2), (Stufe 1=gemäßigt 2=warm)
$\alpha\beta_{rs}, \alpha\tau_{rt}, \alpha\lambda_{rv}, \beta\tau_{st}, \beta\lambda_{sv}, \tau\lambda_{tv}, \alpha\beta\tau_{rst}, \alpha\beta\lambda_{rsv}, \beta\tau\lambda_{stv}, \alpha\beta\tau\lambda_{rstv}$	= Effekte der entsprechenden Interaktionen

Embryonale Stellung

Wie bereits im Kapitel 2 beschrieben, wurde die Lage der abgestorbenen Embryonen im Ei neben der Normalstellung in 7 unterschiedliche Fehlstellungen klassifiziert.

Die Auswertung des Datenmaterials wurde in der Weise vorgenommen, dass zunächst die Häufigkeit der Normalstellung des Embryos im Ei gegenüber der Summe aller Fehlpositionen bei Annahme einer Binomialverteilung mit Hilfe eines logistischen Modells analysiert wurde. Dabei wurden wie bereits für das Merkmal Fertilität erläutert, ähnliche Verfahren wie bei der statistischen Analyse der Fertilitäts- und Schlupfdaten angewandt. Um eine mögliche Majorgenwirkung bzw. einen Einfluss der Umwelttemperatur auf die Entstehung bestimmter Fehlstellungen des Embryos zu prüfen, wurde anschließend die Häufigkeit der Normalstellung des Embryos gegenüber der jeweiligen Fehlstellung analysiert.

Zeitpunkt der embryonalen Mortalität

Bei der Analyse des Zeitpunkts der embryonalen Mortalität wurde zunächst das aufgezeichnete Datenmaterial über den gesamten Bebrütungszeitraum in folgende drei Kategorien unterteilt:

1. vor dem 8. Bruttag abgestorbene Embryonen (frühe embryonale Mortalität)

2. zwischen dem 8. und 17. Bruttag abgestorbene Embryonen (mittlere embryonale Mortalität)
3. zwischen dem 18. und 21. Bruttag abgestorbene Embryonen (späte embryonale Mortalität).

Die abgestorbenen Embryonen der drei Kategorien wurden mit 0 und die befruchteten Bruteier der Einlage mit 1 kodiert. Die so entstandenen binomialverteilten Daten der jeweiligen Kategorien wurden ebenfalls mit logistischen Modellen (GLMMs) und dem Glimmix-Makro von SAS 8.1 (SAS System, SAS Institut, 2000) ähnlich wie bei der statistischen Analyse von Fertilität und Schlupfdaten analysiert. Die Modell-Auswahlkriterien wurden für dieses Merkmal nicht aufgelistet.

Der Verlauf der embryonalen Überlebensfähigkeit während des Brutzeitraums wurde nach der Kaplan-Meier-Methode (Überlebenszeitanalyse) dargestellt. Dabei wurde die Prozedur LIFETEST des SAS-Systems (SAS 8.1, SAS-System, SAS Institut, 2000) angewandt.

Embryonaler Sauerstoffverbrauch

Für die Auswertung des embryonalen Sauerstoffverbrauches wurden zwei statistische Modelle zugrunde gelegt. Für den 14. bis 19. Bruttag wurde ein Modell (5.1) mit den fixen Effekten Genotyp des Embryos, Schlupf bzw. Tod des Embryos, Untersuchungstag, Versuchskammer sowie deren Interaktionen ausgewählt. Der Effekt des Rangs (der Reihenfolge der Messungen am jeweiligen Messtag) als Kovariable und der Einfluss der Hennen als zufälliger Effekt waren ebenfalls im Modell enthalten.

Da das Küken am 20. Tag des Erbrütens die Eischale durchbricht und den Luftsauerstoff ohne Hindernis einatmen kann, wurde bei der Analyse der O₂-Verbrauchsdaten für den 20. Bruttag das Anpicken der Schale (external pipping) in das Modell eingefügt. Da nur die Daten des Schlupftages in das Analysemodell eingehen, wird eine Berücksichtigung des Bruttages überflüssig. Die Auswertung der Daten erfolgte varianzanalytisch mit der Prozedur Mixed 8.1 (SAS System, SAS Institut, 2000) mit Hilfe der Schätzmethode REML.

Modell 6.1 Sauerstoffverbrauch am 14. – 19. Bruttag, (VZL)

Y_{ijklmn}	=	$\mu + G_i + S_j + T_k + K_l + H_m + \beta X_{ijkl} + GS_{ij} + ST_{jk} + GT_{ik} + GST_{ijk} + e_{ijklmn}$
Y_{ijklmn}	=	Sauerstoffverbrauch in ml/h/Gramm Ei
μ	=	Allgemeiner Mittelwert
G_i	=	fixer Einfluss des embryonalen Genotyps ($i=1, \dots, 3$), (Stufe 1=nana, 2= Nana, 3=NaNa)
S_j	=	fixer Einfluss des Schlüpfens ($j=1, 2$), (Stufe 1=schlupffähig, 2= schlupfunfähig)
T_k	=	fixer Einfluss des Versuchstags ($k= 14$ bis 19)
K_l	=	fixer Einfluss der Inkubationskammer ($l= 1$ bis 4)
H_m	=	zufälliger Effekt der Henne
β	=	Regressionskoeffizient für den Rang (X_{ijkl}) der 1. – nten Messung am jeweiligen Einlegetag
$GS_{ij}, GT_{ik}, ST_{jk}, GST_{ijk}$	=	Effekte der entsprechenden Interaktionen
e_{ijklmn}	=	Restfehler

Modell 6.2 Sauerstoffverbrauch am Schlupftag, (VZL)

Y_{ijklmn}	=	$\mu + G_i + S_j + P_k + K_l + H_m + \beta X_{ijkl} + GS_{ij} + GP_{ik} + SP_{jk} + GST_{ijk} + e_{ijklmn}$
Y_{ijklmn}	=	Sauerstoffverbrauch in ml/h/Gramm Ei
μ	=	Allgemeiner Mittelwert
G_i	=	fixer Einfluss des embryonalen Genotyps ($i=1, \dots, 3$), (Stufe 1=nana, 2= Nana, 3=NaNa)
S_j	=	fixer Einfluss des Schlüpfens ($j=1, 2$), (Stufe 1=schlupffähig, 2= schlupfunfähig)
P_k	=	fixer Einfluss des Anpickens der Schale ($k=1,2$), (Stufe 1=angepickt, $k=2$ nicht angepickt)
K_l	=	fixer Einfluss der Inkubationskammer ($l= 1$ bis 4)
H_m	=	zufälliger Effekt der Henne
β	=	Regressionskoeffizient für den Rang (X_{ijkl}) der 1. – nten Messung am jeweiligen Einlegetag
$GS_{ij}, GP_{ik}, SP_{jk}, GSP_{ijk}$	=	Effekte der entsprechenden Interaktionen
e_{ijklmn}	=	Restfehler

Embryonale Temperaturentwicklung

Die statistische Auswertung der Daten der embryonalen Temperaturentwicklung erfolgte varianzanalytisch mit Hilfe der Prozedur GLM 8,1 SAS System (SAS Institut, 2000) mit der Methode der Kleinsten Quadrate nach folgendem statistischen Modell:

Modell 7 Embryonale Temperaturentwicklung, (VZL)

Y_{ijkl}	=	$\mu + G_i + S_j + T_k + GS_{ij} + GT_{ik} + ST_{jk} + GST_{ijk} + e_{ijkl}$
Y_{ijkl}	=	embryonale Temperatur (°C)
μ	=	allgemeiner Mittelwert
G_i	=	fixer Einfluss des embryonalen Genotyps ($i=1, \dots, 3$), (Stufe 1=nana, 2= Nana, 3=NaNa)
S_j	=	fixer Einfluss des Schlüpfens ($j=1, 2$), (Stufe 1=schlupffähig, 2= schlupfunfähig)
T_k	=	fixer Einfluss des Bruttages ($k= 16$ bis 21)
$GS_{ij}, ST_{jk}, GT_{ik}, GST_{ijk}$	=	Effekte der entsprechenden Interaktionen
e_{ijkl}	=	Restfehler

Anzahl Küken je Anfangshenne

Die statistische Analyse des Merkmals Anzahl der Küken je Anfangshenne erfolgte ebenfalls varianzanalytisch mit Hilfe der Prozedur GLM 8,1 SAS System (SAS Institut, 2000) mit der Methode der Kleinsten Quadrate, wobei folgende Modelle zugrunde lagen:

Modell 8.1 Anzahl der Küken je Anfangshenne, (MZL)

Y_{ijkl}	=	$\mu + M_i + K_j + U_k + MK_{ij} + MU_{ik} + KU_{kl} + MKU_{ijk} + e_{ijkl}$
Y_{ijkl}	=	Anzahl der Küken je Anfangshenne
μ	=	Allgemeiner Mittelwert
M_i	=	fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($i=1, 2$), Stufe $j=1$ (normalbefiedert), $j=2$ (lockenfiedrig)
K_j	=	fixer Einfluss des Körpergrößentyps der Henne, ($j=1, 2$), (Stufe 1=normalwüchsig, 2=verzweigt)
U_k	=	fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($k=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)
$MK_{ij}, MU_{ik}, KU_{jk}, MKU_{ijk}$	=	Effekte der entsprechenden Interaktionen
e_{ijkl}	=	Restfehler

Modell 8.2 Anzahl der Küken je Anfangshenne, (VZL)

Y_{ijkl}	=	$\mu + V_i + M_j + U_k + VM_{ij} + VU_{jk} + MU_{ik} + VMU_{ijk} + e_{ijkl}$
Y_{ijkl}	=	Anzahl der Küken je Anfangshenne
μ	=	Allgemeiner Mittelwert
V_i	=	fixer Einfluss des Befiederungstyps des Hahns, ($i=1, 2$), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=nackthalsig)
M_j	=	fixer Einfluss des Befiederungstyps der Henne, ($j=1, 2$), (Stufe 1=normalbefiedert, 2=nackthalsig)
U_k	=	fixer Einfluss der Umwelttemperatur, ($k=1, 2$), (Stufe 1=gemäßigt, 2=warm)
$VM_{ij} + VU_{jk} + MU_{ik} + MVU_{ijk}$	=	Effekte der entsprechenden Interaktionen
e_{ijkl}	=	Restfehler

Kükengewicht

Da das Kükengewicht unmittelbar vom Eigewicht beeinflusst wird, wurden der Analyse des Merkmals Kükengewicht zwei unterschiedliche Modelle zugrunde gelegt. In einem Modell wurde das Eigewicht als Kovariable im Modell berücksichtigt, um eine eigewichtsunabhängige Auswirkung der in das Modell aufgenommenen Hauptfaktoren (paternale Linie: Hahnengenotyp, Hennenbefiederungstyp und Umwelttemperatur; maternale Linie: Hahnengenotyp, Hennenbefiederungstyp, Hennenkörpergrößentyp und Umweltbedingung) und Faktorkombinationen auf das Kükengewicht aufzuzeigen. Auf diese Weise gewährleistet die Berücksichtigung des Eigewichtes im Modell, dass die geschätzten Effekte nicht durch das Eigewicht determiniert werden. Da bei den Schlupftests die Bruteier einer Henne gemeinsam bebrütet wurden, war eine eindeutige Zuordnung der Küken zum jeweiligen Brutei nicht möglich. Demzufolge wurde bei dem oben beschriebenen varianzanalytischen Modell der Mittelwert der Bruteigewichte einer Henne des jeweiligen Schlupftests zu dem entsprechenden Mittelwert der Kükengewichte in Beziehung gesetzt. Bei der regressionsanalytischen Prüfung des so gewonnenen Datenmaterials bestand eine enge positive Beziehung zwischen dem Mittelwert der Kükengewichte und dem Mittelwert der Bruteigewichte: $r^2=0,70$ ($P \leq 0,0001$) bei Vaterzuchtlinie ; $r^2=0,84$ ($P \leq 0,0001$) bei Mutterzuchtlinie.

Im zweiten Modell wurde keine Korrektur der Eigewichtswirkung auf das Kükengewicht vorgenommen, so dass der Einfluss des Eigewichtes und die Wirkungen der Hauptfaktoren auf das Kükengewicht vermengt sind. Dementsprechend geben die Mittelwerte die tatsächlich produzierten Gewichte wieder. Die Auswertung des Datenmaterials (normalverteilt) erfolgte ähnlich wie die statistische Auswertung der Fertilitätsdaten mit Hilfe der Prozedur Mixed 8.1 SAS System (SAS Institut, 2000) und dem Schätzverfahren REML (s. Anhang 10).

4. Ergebnisse

4.1 Mortalität der Broiler-Elternhennen

Bei der *F/dw*-Mutterzuchtlinie (MZL) lässt sich eine dominierende Wirkung hoher Dauertemperaturen auf die Abgangsrate in den Versuchsdurchgängen I und II hochsignifikant absichern (Tabelle 4.1). Dies liegt darin begründet, dass außer den homozygot gelockten Zwergen des Versuchsdurchgangs II alle Genotypen der beiden Versuchsdurchgänge unter hohen Umwelttemperaturen (Warmstall) eine höhere Mortalitätsrate aufweisen als unter gemäßigten Umwelttemperaturen (Kontrollstall). Allerdings besteht eine klare Differenzierung im Ausmaß der temperaturbedingten Mortalitätsrate zwischen den jeweiligen Genotypen. Die Einzüchtung des Lockengens (*F*) sowohl in einfacher (Vers. I) als auch in doppelter Gendosis (Vers. II) führt zu einer Reduktion der Abgangsrate unter hohen Temperaturen.

Dabei bleibt die Wirkung des Lockengens in heterozygoter Form auf die Verringerung der wärmebedingten Mortalitätsrate hinter der Wirkung des Gens in homozygoter Form zurück, so dass die Wirkung des Faktors Federstruktur in der ersten Versuchsreihe (Vers. I) tendenziell bestätigt wird und in der zweiten Versuchsreihe (Vers. II) hochsignifikant abzusichern ist. Aus statistischer Sicht liegt die Ursache hierfür in einer hochsignifikant abgesicherten Wechselwirkung zwischen Federstruktur und Umwelttemperatur in der zweiten Versuchsreihe, die im ersten Versuchsdurchgang nicht auftrat. Aus biologischer Sicht liegt dieser Sachverhalt hauptsächlich darin begründet, dass die homozygoten Hennen aufgrund einer effektiveren Wärmeabgabe eine höhere Wärmetoleranz aufweisen als die heterozygoten Hennen.

Aufgrund der längeren Versuchsdauer des zweiten Versuchsdurchgangs ist die Abgangsrate der Hennen des Versuchsdurchgangs II insgesamt höher als in Versuchsdurchgang I. Im ersten Versuchsdurchgang zeigen die Lockenhennen unter hohen Temperaturen im normalwüchsigen Typ eine um 11,5 % (10,7 % vs. 22,2 %) und im Zwergtyp eine um 10 % (4,8 % vs. 15,0 %) niedrigere Abgangsrate als die normalfiedrigen Hennen. Im zweiten Versuchsdurchgang ist die Abgangsrate unter Temperaturstress der normalwüchsigen Lockenhennen um 30 % (10 % vs. 40 %) und der zwergwüchsigen Hennen um 25 % (10 %

vs. 35 %) niedriger als bei den normalfiedrigen Hennen beider Körpergrößentypen.

Tab. 4.1 : Einfluss der Majorgene *F* und *dw* und der Umwelttemperatur auf die Mortalität während der Legeperiode bei der Mutterzuchtlinie (MZL)
Effect of the major genes F and dw and environmental temperature on the mortality of hens housed during laying weeks in the maternal breeding line (MZL)

Faktor	Stufe	Vers. I*		Vers. II**	
		Mortalitätsrate	χ^2 -Wert u. Sig.-niveau	Mortalitätsrate	χ^2 -Wert u. Sig.-niveau
μ		8,07		15,2	
Umwelttemperatur (U)			6,9		10,62
	W	13,2	$\leq 0,0085$	23,7	$\leq 0,0011$
	K	2,9		6,6	
Federstruktur (F)			2,81		7,74
	F.	4,8	$\leq 0,0939$	7,9	$\leq 0,0054$
	ff	11,3		22,5	
Körpergrößentyp(K)			0,63		0,16
	dw-	6,5	$\leq 0,4268$	16,2	$\leq 0,6900$
	Dw-	9,6		14,1	
U x F			1,2		6,06
	F. x W	7,8	$\leq 0,2730$	10,0	$\leq 0,0138$
	F. x K	1,8		5,8	
	ff x W	18,6		37,5	
	ff x K	4,0		7,5	
U x K			0,77		0,77
	dw- x W	9,9	$\leq 0,3798$	22,5	$\leq 0,3815$
	dw- x K	3,0		10,0	
	Dw- x W	16,4		25,0	
	Dw- x K	2,7		3,3	
F x K			0,0		0,16
	F. x dw-	3,2	$\leq 0,9954$	10,0	$\leq 0,6903$
	F. x Dw-	6,3		5,8	
	ff x dw-	9,8		22,5	
	ff x Dw-	12,8		23,7	
F x K x U			0,03		0,01
	F. x dw- x W	4,8	$\leq 0,8636$	10,0	$\leq 0,9377$
	F. x dw- x K	1,6		10,0	
	ff x dw- x W	15,0		35,0	
	ff x dw- x K	4,5		10,0	
	F. x Dw- x W	10,7		10,0	
	F. x Dw- x K	1,9		1,6	
	ff x Dw- x W	22,2		40,0	
	ff x Dw- x K	3,5		5,0	

* Ff-Genotypen; ** FF-Genotypen; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Versuchsdauer: Vers. I= bis zur 56. Lw; Vers. II= bis zur 72. Lw; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: N=224; Vers. II: N= 160;

Numerisch ist zwar eine Verbesserung der Wärmetoleranz durch das Verzweigungsgen insbesondere im Versuchsdurchgang I festzustellen, die Wirkung des Verzweigungsgens auf

die Überlebensrate der eingestellten Hennen ist jedoch in beiden Versuchsdurchgängen nicht signifikant.

Für die Hennen der Nackthals-Vaterzuchtlinie (VZL) ist die Mortalitätsrate der unterschiedlichen Genotypen in Abhängigkeit von der Umwelttemperatur (Vers. IV) in Tabelle 4.2 dargestellt. Wie aus der Tabelle 4.2 hervorgeht, liegt die Mortalitätsrate unter hohen Umwelttemperaturen bei 20 Prozent. Unter gemäßigten Umwelttemperaturen liegt die Abgangsrate dagegen nur bei 3,7 Prozent. Diese hohe Differenz in der Mortalitätsrate liegt hauptsächlich in der erheblich höheren Abgangsrate der normalbefiederten Hennen gegenüber den nackthalsigen Hennen unter Temperaturstress begründet, was zu einer hoch signifikanten Absicherung der Genotyp - Umwelt - Interaktion führt. Während unter dem Temperaturstress 37,5 % der normalbefiederten Hennen vorzeitig verenden, beträgt die Abgangsrate bei den nackthalsigen Hennen unter den hohen Umwelttemperaturen lediglich 5 Prozent. Demgegenüber besteht zwischen beiden Genotypen unter den gemäßigten Umwelttemperaturen kein Unterschied. Die Mortalitätsrate der beiden Genotypen liegt unter den gemäßigten Umwelttemperaturen bei jeweils 2,5 Prozent.

Tab. 4.2: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) und der Umwelttemperatur auf die Mortalität während der Legeperiode bei der Vaterzuchtlinie (VZL)
Effect of naked neck -gene (Na) and environmental temperature on the mortality of hens housed during laying weeks in paternal breeding line (VZL)

Effekt	Stufe	Mortalitätsrate	χ^2 -Wert	P-Wert
μ		11,87		
Umwelttemperatur			17,1	$\leq 0,0001$
	W	21,2		
	K	2,5		
Hennengenotyp			12,8	$\leq 0,0004$
	NaNa	3,7		
	nana	19,9		
Hennengenotyp x Umwelttemperatur			12,8	$\leq 0,0004$
	NaNa x W	5,0		
	NaNa x K	2,5		
	nana x W	37,5		
	nana x K	2,5		

W= Warmstall; K= Kontrollstall

4.2 Gewichtsentwicklung

Vor der statistischen Analyse wurden die Gewichtsdaten auf die Normalverteilung geprüft. Zur Schätzung der fixen Einflussfaktoren wurden die Gewichtsdaten varianzanalytisch ausgewertet.

Dabei wurden die Gewichtsdaten der jeweiligen Messzeitpunkte getrennt analysiert. Dementsprechend stellen die Verbindungslinien zwischen den LSQ-Mittelwerten der jeweiligen Messzeitpunkte, die zur Veranschaulichung der Entwicklung der Körpergewichte von unterschiedlichen Genotypen schematisch dargestellt sind, keine Regressionsgeraden der Gewichte in Abhängigkeit vom Faktor Zeit dar.

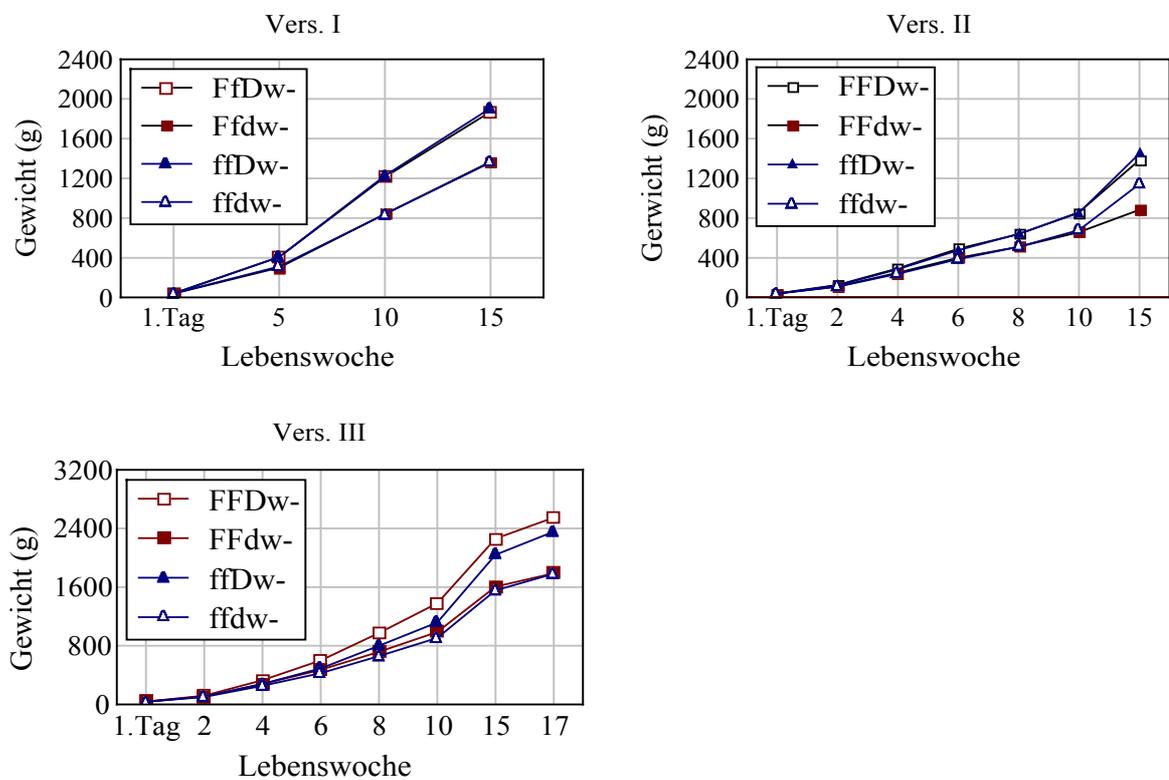


Abb. 4.1: Einfluss des Locken - (F) und Verzweigungsgens (dw) auf die Gewichtsentwicklung in der Aufzuchtphase (LSQ-Mittelwerte)
Effect of the F and dw genes on the development of juvenile body weight (LSQ-means)

Für die mütterliche Broilerzuchtlinie (MZL) wurde in allen drei Versuchsdurchgängen (s.

Kapitel 3) der Einfluss des *F*-Gens in doppelter bzw. einfacher Gendosis und jeweils vergleichend in Kombination mit dem Gen für Zwerg- bzw. Normalwüchsigkeit auf die Körpergewichtsentwicklung nur bei weiblichen Tieren aufgezeichnet.

Im Versuchsdurchgang I (n= 240) wurden nur die heterozygoten, im II. (n= 390) und im III. (n= 240) Versuchsdurchgang die homozygoten Frizzletiere mit den normalfiedrigen Tieren verglichen. Die Gewichtsentwicklung der unterschiedlichen Genotypen der drei Versuchsdurchgänge sind in Abbildung 4.1 zusammen dargestellt.

Während der gesamten Aufzuchtperiode (15 Wochen) des ersten Versuchsdurchgangs besteht kein signifikanter Unterschied bei der Körpergewichtsentwicklung der unterschiedlichen Befiederungstypen (*ff* vs. *Ff*), wohl aber ein hoch signifikanter Einfluss des Körpergrößentyps auf die Körpergewichtsdifferenzierung. Die verzwerten Tiere sind in der 5., 10. und 15. Lebenswoche (25 bis 30 %) signifikant leichter als die normalwüchsigen Tiere. Dabei besteht keine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Körpergrößentyp und dem Befiederungstyp.

Ähnlich wie in der Versuchsreihe I lässt sich erwartungsgemäß in der Versuchsreihe II und III eine signifikante Gewichtsreduktion durch die Zwergwüchsigkeit bereits ab der 2. Lebenswoche nachweisen, wobei sich die Gewichts Differenz zwischen beiden Körpergrößentypen mit zunehmendem Alter der Jungtiere während der Aufzucht von 7 % auf 30 % erhöht.

Im zweiten Versuchsdurchgang (Vers. II) sind bis zur 10. Lebenswoche weder ein signifikanter Einfluß des *F*-Gens (*FF*) noch Interaktionseffekte zwischen Befiederungs- und Körpergrößentyp vorhanden. Erst in der 15. Woche ist neben einer depressiven Wirkung des homozygoten *F*-Gens auch eine Interaktion zwischen den beiden Majorgenen signifikant abzusichern. Die normalwüchsigen gelockten Tiere (*FFDw*-) sind in ihrem 15-Lebenswochengewicht gegenüber den normalwüchsigen und -fiedrigen (*ffDw*-) Tieren um 4,5 % leichter. Das Ausmaß der depressiven Wirkung des Lockengens in Kombination mit dem Verzweigungsgen ist deutlich stärker. Die Kombination der beiden Gene führt zu einer Reduktion des 15 -Lebenswochengewichtes der *FFdw*- Tiere gegenüber den verzwerten normalfiedrigen Junghennen (*ffdw*-) um 18 Prozent.

Unter den Versuchsbedingungen der Versuchsperiode III ist der Effekt des *F*-Gens bereits ab der 2. Lebenswoche signifikant und bleibt bis zum Ende der Aufzuchtperiode (17. Lw) erhalten. Der Interaktionseffekt zwischen den Majorgenen ist ab der 4. Lebenswoche wirksam

und bleibt ebenfalls bis zum Ende der Aufzuchtperiode vorhanden. In der Versuchsreihe III führt die Einzüchtung des *F*-Gens (*FF*) zu einer signifikanten Erhöhung der Gewichte sowohl bei den normalwüchsigen als auch bei den verzwertgen Junghennen. Allerdings fällt das Ausmaß der Überlegenheit, die durch Einzüchtung des *F*-Gens verursacht ist, bei den Zwerghenen geringer aus als bei den Normalwüchsigen, was wiederum den vorliegenden Interaktionseffekt erkennen läßt. In der 10. Lebenswoche, in der die höchsten Differenzen in den Mittelwerten zwischen den gelockten- und normalfiedrigen Junghennen liegen, weisen die *FFDw*-Tiere gegenüber den *ffDw*-Tieren um 23 % und die *FFdw*-Tiere gegenüber den *ffdw*-Tieren um 9 % höhere Gewichte auf. In der 15. und 17. Lebenswoche gehen die Differenzen in den Mittelwerten zwischen den gelockten- und normalfiedrigen Junghennen in der Körpergewichtsentwicklung zurück. In der 17. Lebenswoche sind die *FFDw*-Junghennen nur noch um 8 % schwerer als die der Kontrollgruppe (*ffdw*-) und zwischen den Zwerghenen beider Befiederungstypen ist kein signifikanter Unterschied mehr nachzuweisen.

Die Interpretation der Darstellung 4.2 läßt folgende Schlüsse zu: die Einzüchtung des *F*-Gens in homozygoter Form führt unter gemäßigten Umwelttemperaturen (18-19 °C), restriktivem Fütterungsregime und hoher Besatzdichte sowie starkem Konkurrenzdruck mit hohem Federabrieb zu einer reduzierten Gewichtsentwicklung. Bedingt durch reduziertes Federkleid wird unter gemäßigten Umwelttemperaturen von den gelockten Junghennen wahrscheinlich ein größerer Anteil an aufgenommener Energie für die Aufrechterhaltung der Körperwärme und Wärmeproduktion verbraucht und steht nicht für die Umwandlung in Körpermasse zur Verfügung. Aufgrund reduzierter Futteraufnahmekapazität der verzwertgen Tiere führt die Kombination beider Gene (*FF* und *dw*-) zu einer Verstärkung dieser Wachstumsdepression. Unter mittlerer Aufzuchttemperatur von ca. 25 °C und ad libitum-Fütterung (Vers. III) führt die Einzüchtung des *F*-Gens in homozygoter Form sogar zu einer Verbesserung der Gewichtsentwicklung und somit wirkt eine erhöhte konvektive Wärmeabgabe der wärmebedingten Wachstumsdepression entgegen.

Anhand eines Stichprobenumfanges von 450 Küken (Versuchsdurchgang IV) wurde der Einfluss des Nackthalsgens auf die Gewichtsentwicklung der Broilerhennen der Vaterlinie (VZL) während der Aufzuchtphase bis zur 15. Lebenswoche sowohl bei männlichem als auch

bei weiblichen Küken untersucht. In der Aufzucht wurden die Tiere unter normaler Temperatur gehalten. Die Aufzuchtbedingungen sind in Kapitel 3 beschrieben.

Bereits ab der zweiten Lebenswoche zeichnet sich eine signifikant verbesserte Gewichtsentwicklung der homozygot nackthalsigen Mastküken, sowohl der männlichen als auch der weiblichen, gegenüber den normalbefiederten Küken ab (Abb. 4.2).

Die nackthalsigen Jungtiere sind in dieser Zeitperiode im Durchschnitt um 5 bis 13 % deutlich schwerer als die des normalbefiederten Typs. Vermutlich ist eine höhere Vitalität der nackthalsigen Jungtiere insbesondere unter restriktivem Fütterungsregime und hoher Besatzdichte für diese unerwartet bessere Gewichtsentwicklung der Nackthalstiere anzunehmen. Aufgrund der phänotypischen Selektion auf Kondition in den Aufzuchtkäfigen in der 10. Lebenswoche ist die Gewichtsdivergenz zwischen beiden Genotypen in der 15. Lebenswoche erwartungsgemäß nicht mehr signifikant.

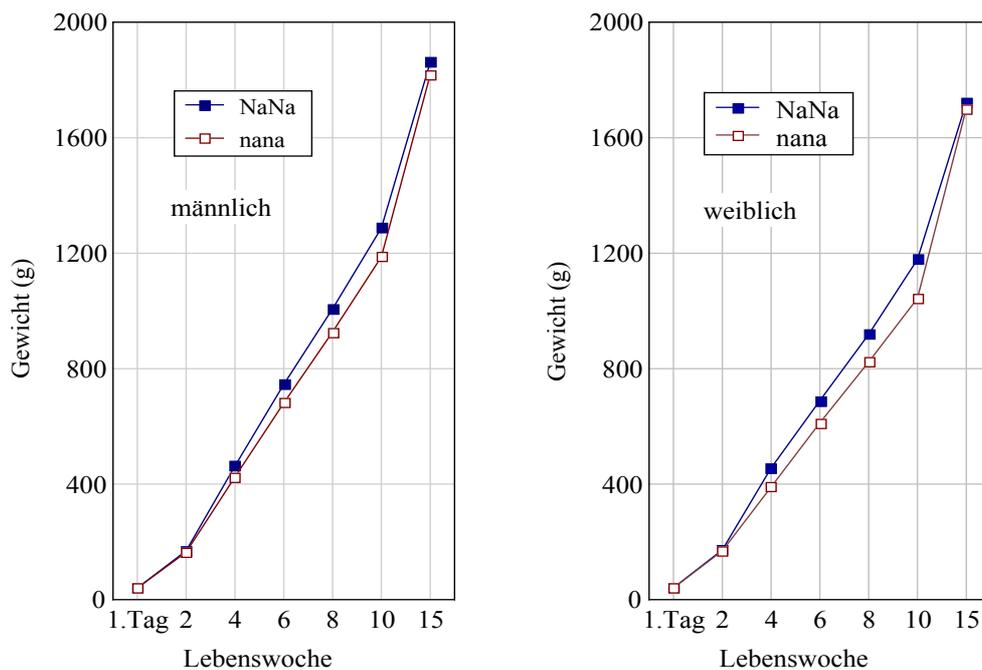


Abb. 4.2: Einfluss des Nackthalsgens (Na) auf die Körpergewichtsentwicklung während der Aufzucht (LSQ-Mittelwerte)

Effect of the naked neck gene (Na) on the development of juvenile body weight (LSQ-means)

Im Alter von 18 Wochen wurden Junghennen der Mutterzuchtlinie (MZL) entsprechend ihrer Kondition und Elternleistung selektiert und in zwei Klimakammern umgestallt.

Bei diesen Hennen lässt die statistische Analyse der Gewichtsdaten der Versuchsreihe I zu allen Messzeitpunkten einen signifikanten Einfluss sowohl des Verzweigungsgens als auch der Umwelttemperatur erkennen, jedoch keine signifikante Wirkung des Lockengens. Ebenso wenig sind die Wechselwirkungen erster und zweiter Ordnung nachzuweisen. Da jedoch die Entwicklung der Körpergewichte von *ffDw*-Hennen unter Temperaturstress flacher als bei den anderen Genotypen verläuft, ist zu folgern, dass die Körpergewichtsentwicklung der *ffDw*-Hennen unter Temperaturstress gegenüber den *FfDw*-Hennen des Warm- und Kontrollstalls sowie gegenüber den *ffDw*-Hennen des Kontrollstalls reduziert ist (Abb. 4.3, Vers. I).

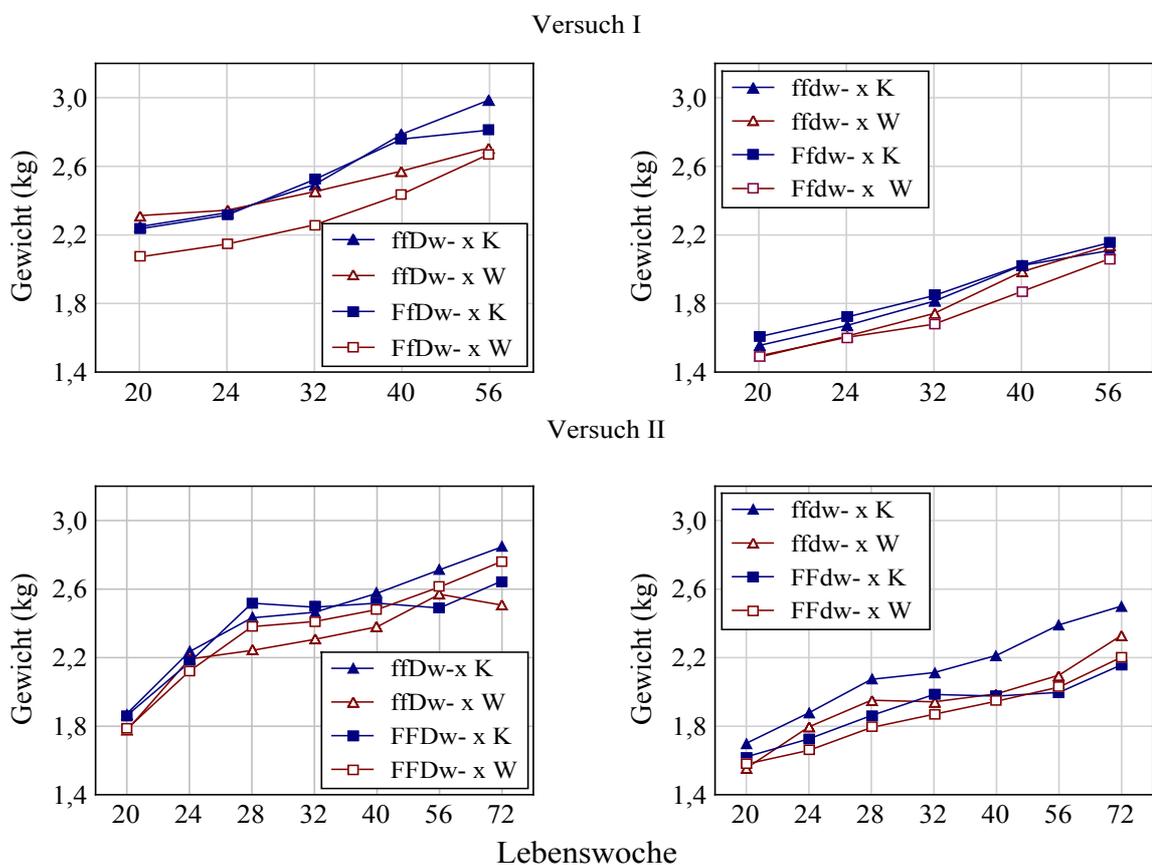


Abb. 4.3: Einfluss des Lockengens (*F*) und des Zwerggens (*dw*) auf die Körpergewichtsentwicklung über die gesamte Legeperiode bei der Broilermutterlinie (MZL) (LSQ-Mittelwerte)
*Effect of the frizzle gene (*F*) and the dwarf gene (*dw*) on body growth of broiler breeder hens (MZL) during the laying period (LSQ means)*

Bei verzweigten Hennen besteht offensichtlich weder ein Unterschied zwischen den beiden

Befiederungstypen noch eine Wechselwirkung zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur bei der Entwicklung des Körpergewichtes im Verlauf der Versuchsperiode. Eine nach Körpergrößentyp getrennte Analyse der Daten bestätigte diese Tatsache und ergab darüber hinaus, dass der Einfluss des Hauptfaktors Umwelttemperatur bei verzwertgen Hennen nahezu unwirksam ist. Ähnlich wie der Versuchsdurchgang I ist erwartungsgemäß im Versuchsdurchgang II der Effekt des Verzweigungsgens bei allen Messzeitpunkten hoch signifikant. Die verzwertgen Hennen zeigen während der gesamten Versuchsperiode ein im Vergleich zu normalwüchsigen Tieren deutlich geringeres Gewicht auf. Während von der 20. bis zur 40. Lebenswoche die Umwelttemperatur eine signifikante Wirkung auf die Körpergewichte ausübt, besteht in der 56. und 72. Lebenswoche keine direkte Wirkung der Umwelttemperatur auf das Körpergewicht. Ab der 56. Lebenswoche jedoch wirkt die Umwelttemperatur in Wechselwirkung mit dem Befiederungstyp. Dies liegt, wie aus der Abbildung 4.3 hervorgeht, an der retardierenden Wirkung des Lockengens auf die Entwicklung der Gewichtszunahme unter gemäßigten Temperaturen und an der verbesserten Wärmeabgabe unter Temperaturstress, welche mit einer Verbesserung der Gewichtsentwicklung unter Wärmebelastung verbunden ist und damit den gegensinnigen Verlauf der Körpergewichtsentwicklung von Lockenhennen des Warm- und Kontrollstalls erklärt. Ab der 28. Lebenswoche bei Normalwüchsigen und ab der 32. bei Zwergen ist - bis jeweils zur 56. Lebenswoche - sogar eine Stagnation der Körpergewichtsentwicklung durch die Einkreuzung des *F*-Gens zu beobachten. Diese führt in statistischer Sicht auch dazu, dass der Einfluss der Temperatur bei den Messzeitpunkten 56. und 72. Lebenswoche unter der Anwendung des vollständigen Modells nicht abzusichern ist.

Bei einer getrennten Analyse der Daten nach Befiederungstyp ist insgesamt ein reduzierender Einfluss der Umgebungstemperatur bei den normalfiedrigen Hennen über die gesamte Legeperiode signifikant vorhanden. Wie im einzelnen aus der Abbildung 4.3 hervorgeht, führt die hohe Umwelttemperatur bei normalfiedrigen *D_w*-Hennen zu einer deutlichen Gewichts differenzierung, die insbesondere von der 24. bis zur 28. Woche deutlich zunimmt. Ab der 28. Woche laufen beide Gewichtsentwicklungskurven dann weitgehend parallel. Ebenso ist ein paralleler Verlauf der Körpergewichtskurven der *FFD_w*-Hennen des Warmstalls und *ffd_w*-Hennen des Kontrollstalls festzustellen. Somit wirkt die Einzüchtung des Lockengens in homozygoter Form der temperaturbedingten Depression der

Körpergewichtsentwicklung entgegen.

Die Verknüpfung des Lockengens in homozygoter Form mit dem hemizygoten Verzweigungsgen führt sowohl unter den warmen als auch unter den gemäßigten Umwelttemperaturen zu einer generellen Depression in der Körpergewichtsentwicklung, so dass die Körpergewichtsdifferenzen zwischen den gelockten Hennen und normalbefiederten Zwerghennen des Kontrollstalls von der 20. Lebenswoche an bis zum Ende der Versuchsperiode zunehmen.

Im Alter von 20 Wochen wurden die Junghennen der Vaterzuchtlinie (VZL) (Vers. IV) entsprechend ihrer Kondition und Elternleistung selektiert und in zwei Klimakammern umgestellt. Der Einfluss der hohen Temperaturen ist bis zum Messzeitpunkt 32. Lebenswoche und die Wechselwirkung zwischen den Hauptfaktoren ab dem Messzeitpunkt 32. Lebenswoche bis zum Ende der Versuchsperiode (Messzeitpunkt 72. Lebenswoche) signifikant (Abb. 4.4).

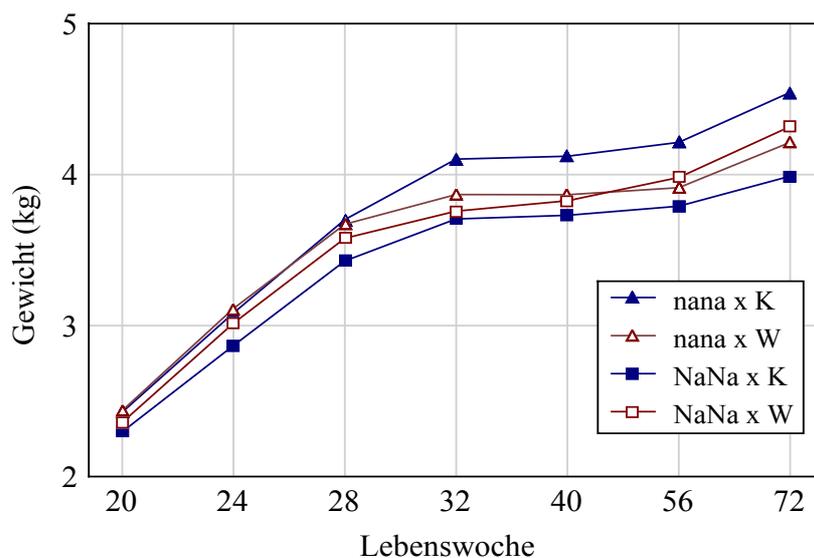


Abb. 4.4: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) auf die Gewichtsentwicklung schwerer Broilerhennen (VZL) während der Legeperiode unter gemäßigten (K) und warmen Umwelttemperaturen (W) (LSQ-Mittelwerte)

*Effect of the naked neck gene (*Na*) and of environmental temperature (*K*, *W*) on body growth of heavy broiler hens during 52 laying weeks (VZL) (LSQ-means)*

Unter gemäßigter Temperatur sind die normalbefiederten Hennen während der gesamten

Versuchsperiode den Nackthalshennen in ihrer Gewichtsentwicklung überlegen. Die Überlegenheit der *nana*-Hennen nimmt mit zunehmendem Alter zu, so dass am Ende der Versuchsperiode die Gewichts Differenz der Genotypen am größten ist. Am Ende der Versuchsperiode sind die normalbefiederten Hennen um 12 % schwerer als die Nackthalshennen.

Unter den hohen Umgebungstemperaturen führt der Interaktionseffekt zu einem Überkreuzen der Gewichtsentwicklungslinien der beiden Genotypen. Während bis zur 40. Lebenswoche die normalbefiederten Hennen (*nana*) schwerer als die Nackthalshennen (*NaNa*) sind, ist ab der 56. Lebenswoche das Gegenteil der Fall. Da die normalbefiederten Hennen (*nana*) im Durchschnitt der beiden Umwelten über die gesamte Legeperiode schwerer sind als die Nackthalshennen (*NaNa*), führt dies zu einer signifikanten Absicherung der Wirkung des Nackthalsgens über die gesamte Legeperiode.

Die Nackthalshennen weisen unter gemäßigten Umwelttemperaturen eine geringere Gewichtszunahme im Verlauf der Legeperiode auf als unter hohen Umwelttemperaturen.

4.3 Geschlechtsreife

Während in der ersten Versuchsreihe bei den Hennen der Mutterzuchtlinie (MZL) kein signifikanter Einfluss der Temperatur auf die Legereife festzustellen ist (Tab. 4.3), führten hohe Temperaturen in der zweiten Versuchsreihe zu einer Vorverlegung der sexuellen Reife. Insgesamt sind die Hennen der Mutterzuchtlinie unter den Versuchsbedingungen der Versuchsreihe I früher sexuell reif als unter den Bedingungen der Versuchsreihe II.

Tab. 4.3: F-Werte und Signifikanzniveau für das Merkmal Geschlechtsreife (MZL)
F-values with level of significance for sexual maturity (MZL)

Varianzursache	Vers. I*		Vers. II**		Vers. III**	
	F-Wert	P-Wert	F-Wert	P-Wert	F-Wert	P-Wert
Umwelttemperatur	0,63	≤0,4268	4,96	≤0,0274		
Körpergrößentyp	17,65	≤0,0001	18,2	≤0,0001	3,81	≤0,0530
Federstruktur	1,55	≤0,2145	80,91	≤0,0001	0,69	≤0,4065
Federstruktur x Körpergrößentyp	0,04	≤0,8442	19,17	≤0,0001	0,07	≤0,7626
Körpergrößentyp x Umwelttemperatur	0,34	≤0,5601	0,58	≤0,4486		
Federstruktur x Umwelttemperatur	0,11	≤0,7419	0,04	≤0,8517		
Federstruktur x Körpergrößentyp x Umwelttemperatur	0,01	≤0,9357	5,9	≤0,0163		

* *Ff*-Genotypen; ** *FF*-Genotypen

Dies ist darin begründet, dass die Hennen aus der Versuchsreihe I aufgrund von ad libitum Fütterung während der Aufzuchtperiode eine höhere Gewichtsentwicklung aufweisen und somit bei der Einstellung schwerer als die Hennen der Versuchsreihe II sind.

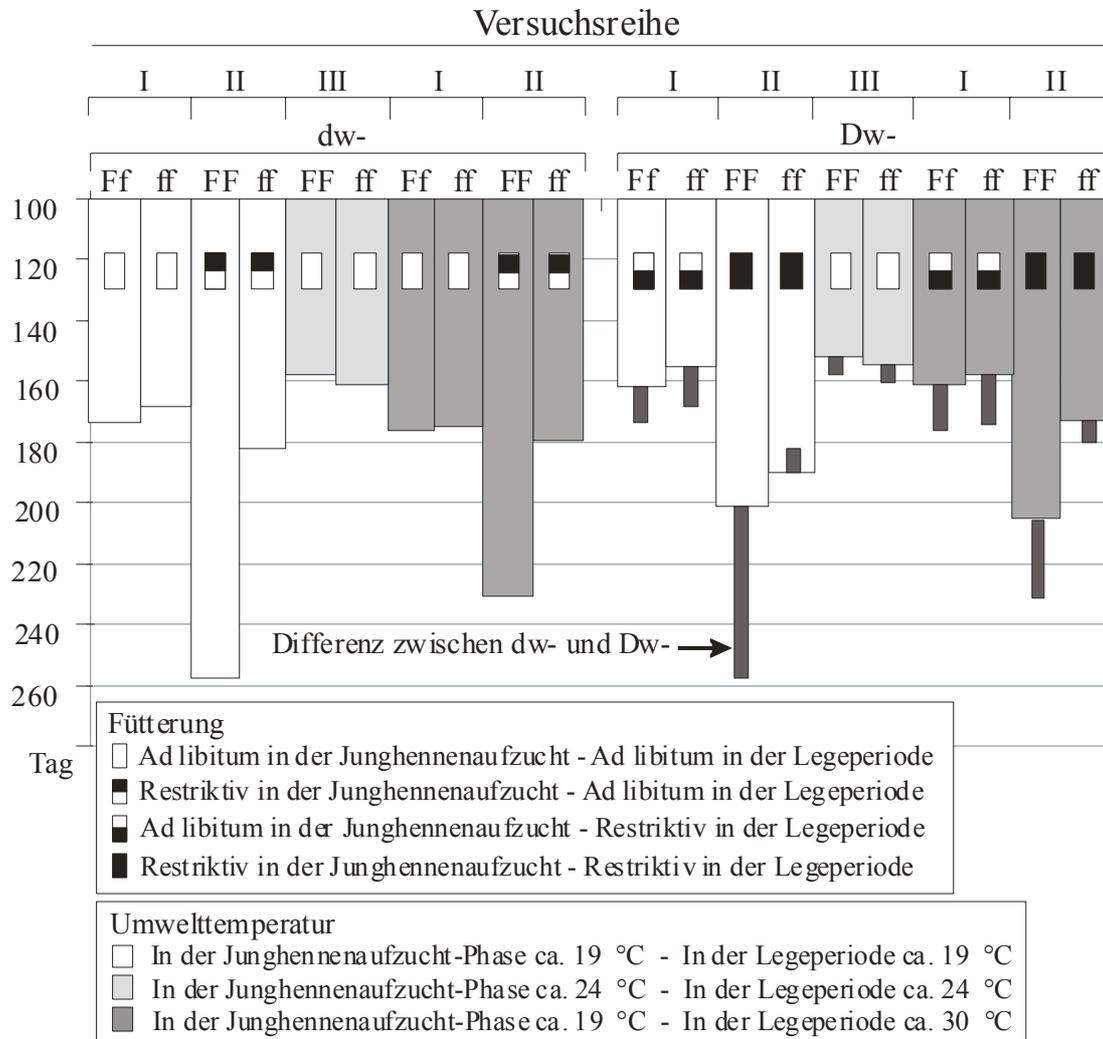


Abb. 4.5: Einfluß der Majorgene *F* und *dw*, der Umwelttemperatur und des Fütterungsregimes während der Aufzucht und in der Legeperiode auf die sexuelle Reife der Broiler-Mutterhennen (MZL)

Effect of the major genes F and dw, environmental temperature and feed allowance during rearing and breeding on sexual maturity of maternal meat genotypes (MZL)

Von daher ist die Temperaturwirkung bei den Hennen des Versuchsdurchgangs I bis zum Beginn der Legereife von kürzerer Dauer als bei den Hennen des Versuchsdurchgangs II, was als eine mögliche Ursache für eine nicht nachweisbare Temperaturwirkung auf die sexuelle Reife im Versuchsdurchgang I betrachtet werden kann. Demgegenüber lassen sich für die

Versuchsreihe II ein signifikanter Effekt der Umwelttemperatur sowie eine Wechselwirkung zwischen allen drei Hauptfaktoren erkennen. Die hohen Temperaturen führen im Versuchsdurchgang II zu einer früheren sexuellen Reife (Tabelle 4.4 und Abb. 4.5).

Tab. 4.4: Einfluss der Majorgene F und dw und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Geschlechtsreife (LSQ-Mittelwerte)
Effect of the major genes F and dw and environmental temperatures on sexual maturity (LSQ means)

Varianzursache	Legebeginn (Tag)		
	Vers. I*	Vers. II**	Vers. III**
μ	163,3	196,3	152,8
Umwelttemperatur			
W	163±2,1	191±3,2 ^a	
K	161±2,3	201±3,2 ^b	
Federstruktur			
F.	164±2,2	216±3,2 ^a	152±1,9
ff	160±2,5	176±3,5 ^b	154±1,9
Körpergrößentyp			
dw-	169±2,2 ^a	206±3,2 ^a	156±2,0
Dw-	155±2,3 ^b	187±3,2 ^b	150±1,9
Federstruktur x Umwelttemperatur			
F. x W	165±2,5	211±4,4	
F. x K	163±2,8	222±4,4	
ff x W	162±3,8	172±4,4	
ff x K	158±3,3	181±4,4	
Körpergrößentyp x Umwelttemperatur			
dw- x W	171±3,1	199±4,4	
dw- x K	167±3,1	212±4,4	
Dw- x W	156±3,6	184±4,4	
Dw- x K	155±3,2	190±4,4	
Federstruktur x Körpergrößentyp			
F. x dw-	171±2,6	236±4,5 ^a	154±2,7
F. x Dw-	157±3,0	197±4,5 ^b	149±2,9
ff x dw-	167±3,5	176±4,4 ^c	157±3,3
ff x Dw-	153±3,5	176±4,4 ^c	151±2,5
Federstruktur x Körpergrößentyp x Umwelttemperatur			
F. x dw- x W	172±3,6	223±6,4 ^a	
F. x dw- x K	169±3,8	248±6,4 ^b	
ff x dw- x W	170±5,1	175±6,2 ^c	
ff x dw- x K	164±5,0	177±6,2 ^c	
F. x Dw- x W	157±4,4	199±6,2 ^d	
F. x Dw- x K	158±4,2	195±6,4 ^d	
ff x Dw- x W	154±5,7	168±6,2 ^c	
ff x Dw- x K	152±4,3	185±6,2 ^{d,c}	

* Ff -Genotypen; ** FF -Genotypen; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei $P \leq 0,05$; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: $N=216$; Vers. II: $N=160$; Vers. III: $N=103$;

Die Einzüchtung des Lockengens führt nur in der Versuchsreihe II zu einer signifikanten Verzögerung der Legereife. Demgegenüber ist die retardierende Wirkung des Verzweigungsgens bei den Versuchsreihen I und II signifikant und bei der Versuchsreihe III zumindest tendenziell zu beobachten ist (Tab 4.3).

Während die Kombination der beiden Gene unter den Versuchsbedingungen I und III (*Ffdw*- ; *FFdw*-) keine signifikante Wirkung auf die sexuelle Reife ausübt, führt sie in der Versuchsreihe II insbesondere unter gemäßigten Umgebungstemperaturen zu einer erheblichen Verzögerung der Legereife (Abb.4.5, Tabelle 4.4).

Der Einfluss des Nackthalsgens auf die sexuelle Reife unter unterschiedlichen Umwelttemperaturen ist für die Hennen der Vaterzuchtlinie (VZL) in der Tabelle 4.5 dargestellt. Hierbei zeigt sich zunächst deutlich, dass sich unter hohen Temperaturen die sexuelle Reife signifikant früher eintritt. Überdies sind unter Warmstall- ebenso wie unter Kontrollstallbedingungen die Nackthalshennen (*NaNa*) früher reif. Es besteht also keine signifikante Wechselwirkung zwischen beiden Hauptfaktoren. Die Einkreuzung des Nackthalsgens führt insgesamt zu einer Vorverlegung der Legereife um 8 Tage.

Tab. 4.5: LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal sexuelle Reife bei der Vaterzuchtlinie (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with level of significance for sexual maturity of paternal breeding line (VZL)

Varianzursache	Alter bei Legebeginn (Tag)	F-Wert mit Signifikanzniveau
μ / R^2	201,3	0,17
Umwelttemperatur		23,5
W	194±2,0	≤0,0001
K	208±2,0	
Genotyp		6,5
NaNa	197±2,0	≤0,0114
nana	205±2,0	
Umwelttemperatur x Genotyp		0,6
NaNa x W	189±2,9	≤0,3282
NaNa x K	206±2,9	
nana x W	199±2,9	
nana x K	210±2,0	

n=160 Hennen; W=Warmstall, K=Kontrollstall

4.4 Legeleistung

In Abbildung 4.6 ist für die am *F* - und *dw*-Genort segregierenden Hennen der

Mutterzuchtlinie der durchschnittliche Legeleistungsverlauf der Versuchsdurchgänge I und II dargestellt. Zusätzlich ist die durchschnittliche Legeleistung je Anfangshenne sowie je vorhandene Henne als Säulendiagramm wiedergegeben.

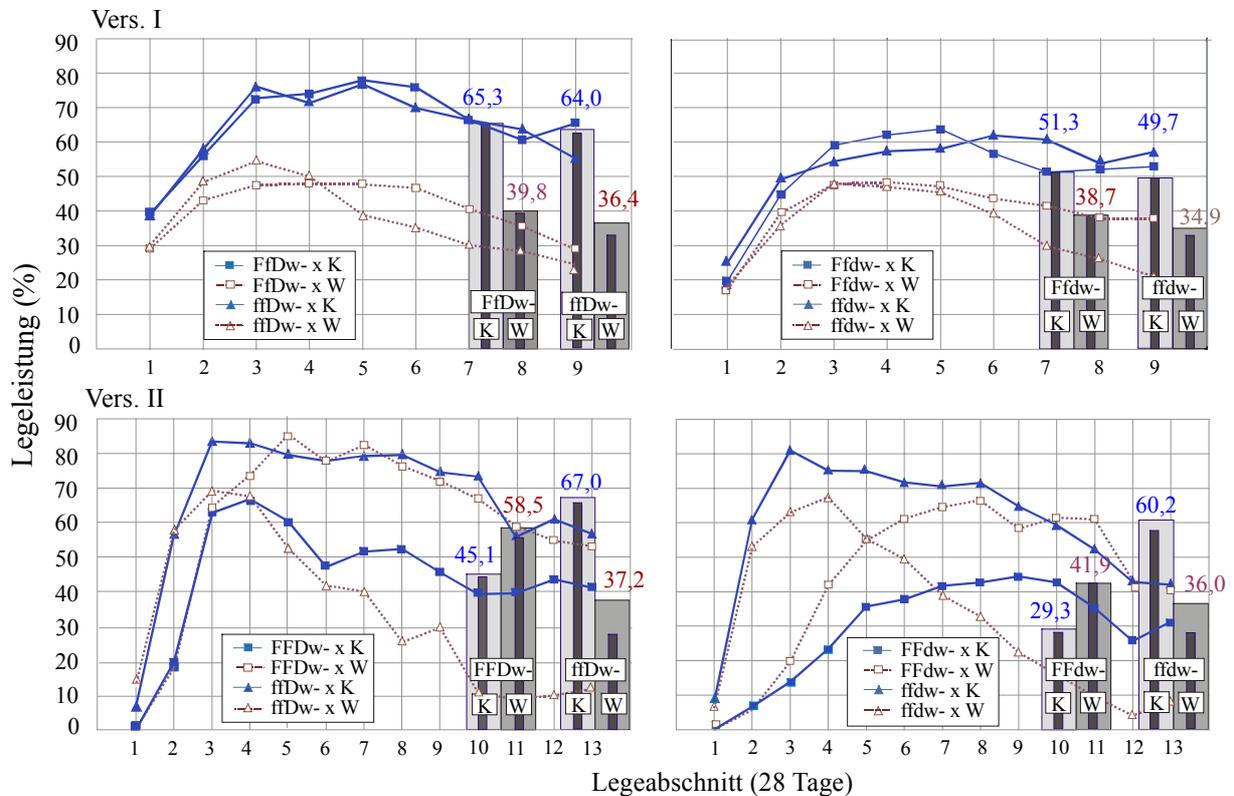


Abb. 4.6: Einfluss des Lockengens (F) und des Verzweigungsgens (dw) auf die Entwicklung der Legeleistung je vorhandene Henne. Die Balkendiagramme stellen den Einfluss des Locken- und Verzweigungsgens auf die mittlere Legeleistung je vorhandene (äußere Säulen) und je Anfangshenne (innere Säulen) über die gesamte Legeperiode unter hohen (W) und gemäßigten Umwelttemperaturen (K) dar (LSQ-Mittelwerte).

Effect of F - and dw -gene on laying intensity of survivor hens under high and moderate ambient temperatures. The bar diagrams show the mean hen day production of survivor hens (outer bars) and hens housed (inner bars) under high (W) and moderate (K) ambient temperature (LSQ-means).

Bei der Betrachtung des Kurvenverlaufs der Legeleistung wird ersichtlich, dass im Versuchsdurchgang I und unter den gemäßigten Umwelttemperaturen die normalfiedrigen Hennen und die Frizzlehennen beider Körpergrößentypen ihr Leistungsmaximum jeweils im 4. und 5. Legeabschnitt erreichen, ohne eine ausgeprägte Leistungsspitze aufzuweisen. Dabei fällt die Legeintensität der normalwüchsigen Hennen ($FfDw$ - und $ffDw$ -) nach dem Erreichen der Leistungsspitze im 5. Legeabschnitt leicht ab, während bei den Zwerghennen ($Ffdw$ - und

ffdw-) die Legeintensität im weiteren Verlauf der Legeperiode ungefähr auf dem Niveau ihres jeweiligen Leistungsmaximums erhalten bleibt.

Unter hohen Umwelttemperaturen erreichen die normalfiedrigen Hennen beider Körpergrößentypen (*ffDw*- u. *ffdw*-) die maximale Legeintensität im 3. Legeabschnitt. Ab dem 3. Legeabschnitt sinkt die Legeleistung beider Genotypen kontinuierlich bis zum Ende der Legeperiode ab. Die Frizzle-Hennen beider Körpergrößentypen erreichen ihr Leistungsmaximum im 4. und 5. Legeabschnitt, wobei die normalwüchsigen Lockenhennen (*FfDw*-) gegenüber den gelockten Zwergen (*Ffdw*-) ab dem 6. Legeabschnitt mit einer stärkeren Leistungseinbuße reagieren.

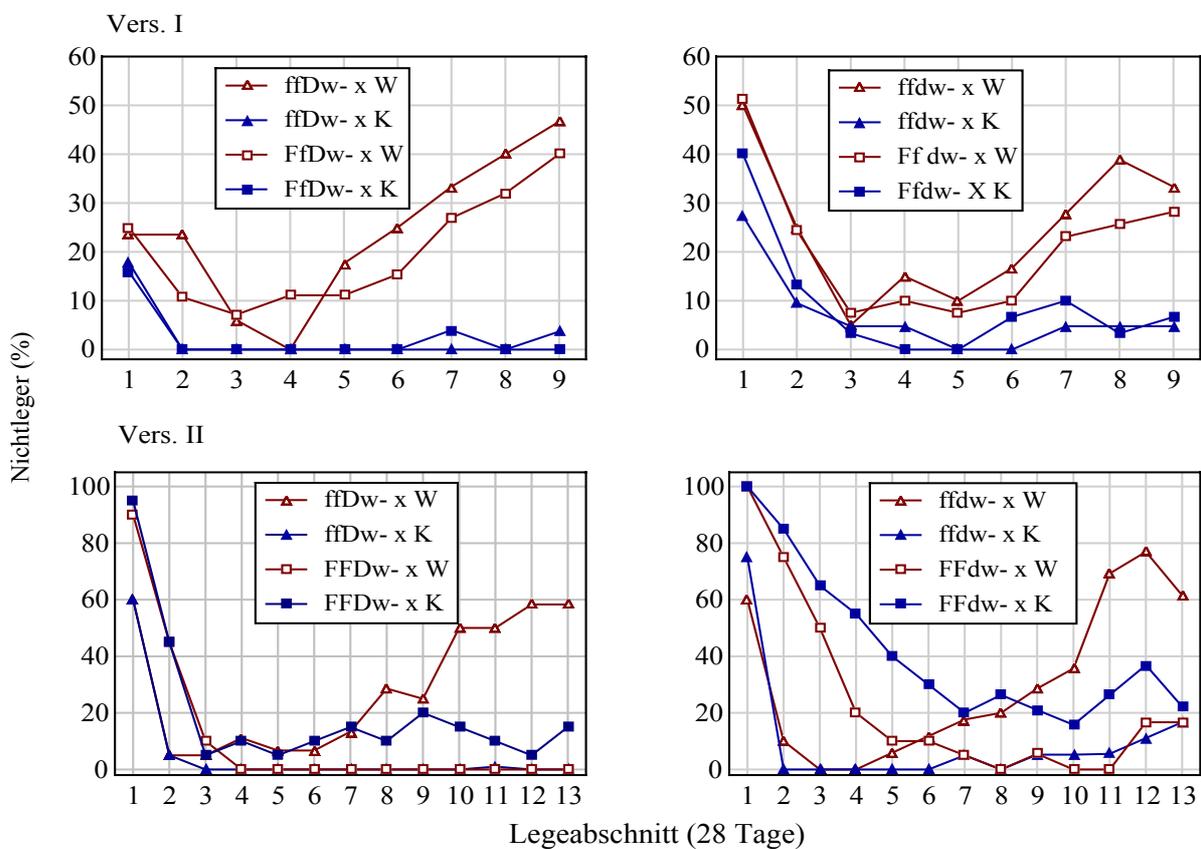


Abb. 4.7: Der Einfluss des *F*- und des *dw*-Gens auf den Anteil nicht legender Hennen unter hohen (W) und gemäßigten (K) Umwelttemperaturen
Effect of genes F and dw on proportion of non laying hens under high (W) and moderate (K) environmental temperatures

Im Hinblick auf die Wirkung der Federstruktur auf die Legeleistung bei unterschiedlichen Umwelttemperaturen ist zu beobachten, dass unter den gemäßigten Umwelttemperaturen über

die gesamte Legeperiode ein signifikanter Unterschied weder zwischen den beiden Befiederungstypen des Normalwuchses (*ffDw*- vs. *FfDw*-) noch zwischen den beiden Befiederungstypen des Zwergwuchses (*ffdw*- vs. *Ffdw*-) besteht. (Abb. 4.6).

Ähnlich fallen die Ergebnisse unter der Temperaturbelastung aus. Jedoch ist unter dem Temperaturstress eine tendenzielle Verringerung der Legetätigkeit der normalfiedrigen Hennen beiden Körpergrößentyps ab dem 5. Legeabschnitt gegenüber den Lockenhennen zu beobachten. Insgesamt ist die leistungslimitierende Wirkung der hohen Umwelttemperaturen bei beiden Genotypen signifikant vorhanden. Ein wesentlicher Grund für die temperaturbedingte Leistungsdepression liegt im deutlich höheren Anteil nicht legender Hennen unter Temperaturstress (Abb. 4.7). Im Gegensatz zum Faktor Federstruktur besteht unter gemäßigten Umwelttemperaturen durch den Verzweigungsfaktor eine klare Leistungsdifferenz zu Gunsten der normalwüchsigen Hennen (*Dw*- 64,7 % vs. *dw*- 50,5 %). Unter der Temperaturbelastung ist die Differenz in der Leistungsentwicklung bei beiden Körpergrößentypen aufgrund des besseren Adaptationsvermögens der Zwerge geringer ausgeprägt und damit die durchschnittliche Legeleistung sogar annähernd gleich (*Dw*- 38,1 % vs. *dw*- 36,8 %). Es ergibt sich daher eine signifikante Absicherung des Einflusses des Faktors Körpergrößentyp sowie der Wechselwirkung zwischen Körpergrößentyp und Umwelttemperatur bei der durchschnittlichen Legeleistung je überlebende Henne bzw. je Anfangshenne.

Wie bereits oben für die durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne beschrieben, sind die Einflüsse der Hauptfaktoren Umwelttemperatur und Körpergrößentyp sowie ihrer Wechselwirkung erwartungsgemäß auch bei der Gesamteizahl je Anfangshenne signifikant. Der Faktor Federstruktur sowie dessen Wechselwirkung mit anderen Einflussfaktoren war für die Eizahl je Anfangshenne ebenfalls unbedeutend (Tabelle 4.6). Die Mittelwerte für das Merkmal Eizahl je Anfangshenne sind in Tabelle 4.7 ausgewiesen. Die Überlegenheit der normalwüchsigen Hennen gegenüber den Zwerghenen unter gemäßigten Temperaturen beträgt für das Merkmal Legeleistung je Anfangshenne 21 % (160 vs. 126). Demgegenüber besteht unter Temperaturstress zwischen beiden Zwerg-Genotypen kein Unterschied (91 vs. 90). Im Vergleich zu den heterozygoten Hennen des Versuchsdurchgangs I sind die Prüfhennen des Versuchsdurchgangs II im Locken-Genort homozygot.

Homozygot führt das Lockengen im Vergleich zu der heterozygoten Form zu einer wesentlich

höheren Reduktion der isolierenden Wirkung des Federkleides und somit zu einer höheren sensiblen Wärmeabgabe mit dem Ergebnis, dass im Gegensatz zur Versuchsreihe I in der Versuchsreihe II eine ausgeprägte Wechselwirkung zwischen Federstruktur und Umwelttemperatur besteht. Darüberhinaus sind zwischen diesen beiden Hauptfaktoren (F; U) deutliche Wechselwirkungen im Verlauf der Legeleistung aller Hennengenotypen zu erkennen (Abb. 4.6).

Tab. 4.6: F-Werte und Signifikanzniveau für die Gesamteizahl je Anfangshenne (MZL)
F-values and level of significance for total number of eggs per hen housed (MZL)

Varianzursache	Vers. I*		Vers. II**		Vers. III**	
	0,30		0,49		0,07	
R ²	F-Wert	P-Wert	F-Wert	P-Wert	F-Wert	P-Wert
Umwelttemperatur (U)	76,4	≤0,0001	21,9	≤0,0001		
Körpergrößentyp (K)	7,9	≤0,0052	17,1	≤0,0001	3,95	≤0,0495
Federstruktur (F)	2,53	≤0,1130	1,09	≤0,2991	2,97	≤0,0879
F x K	0,04	≤0,8386	5,33	≤0,0223	0,71	≤0,4024
K x U	7,7	≤0,0058	1,35	≤0,2473		
F x U	0,37	≤0,5433	102,0	≤0,0001		
F x K x U	0,01	≤0,9149	0,49	≤0,4843		

* *Ff*- Genotypen; ** *FF* - Genotypen

Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen kommt es bei beiden Körpergrößentypen zu einer klaren Leistungsdifferenzierung zwischen den Befiederungstypen (*FF* vs. *ff*) zu Gunsten des normalen Befiederungstyps, während unter den hohen Umwelttemperaturen der Lockentyp im Vorteil ist. Die normalwüchsigen Hennen beider Befiederungstypen (*FFDw*- u. *ffDw*-) erreichen unter den gemäßigten Umwelttemperaturen ihr jeweiliges Leistungsmaximum im dritten Legeabschnitt, wobei ab diesem Legeabschnitt die Legeleistungskurve beider Hennengenotypen kontinuierlich bis zum Ende der Legeperiode absinkt. Das Leistungsniveau der gelockten Hennen bleibt über die gesamte Legeperiode unter dem Leistungsniveau der normalfiedrigen Hennen, was sich in einer Differenz in der durchschnittlichen Legeleistung je überlebende Henne von 21,9 % zwischen beiden Genotypen ausdrückt (*ffDw*- 67,0 % vs. *FFDw*- 45,1 %) (Abb. 4.6).

Ähnlich wie bei den normalwüchsigen, normal befiederten Hennen (*ffDw*-) zeigt auch der Leistungsverlauf der normalfiedrigen Zwergghennen (*ffdw*-) einen steilen Anstieg und nach Erreichen der Leistungsspitze im dritten Legeabschnitt einen kontinuierlichen Rückgang bis zum Ende der Legeperiode. Demgegenüber zeigt die Legekurve von gelockten Zwergghennen

(*FFdw*-) einen langsamen Anstieg, wobei das Leistungsmaximum der Hennen im neunten Legeabschnitt, also sehr spät, erreicht wird, ohne eine ausgeprägte Leistungsspitze aufzuweisen. Die Ursache ist in der vom Lockengen hervorgerufenen und in Kombination mit dem Verzweigungsgen verstärkten Verzögerung der sexuellen Reife und damit verbunden einem höheren Anteil an nichtlegenden Hennen am Anfang der Legeperiode zu suchen (Abb. 4.7). Insgesamt bleibt daher das Leistungsniveau von gelockten Zwergghennen unter den gemäßigten Umwelttemperaturen über die gesamte Legeperiode erheblich unter dem Niveau der normalfiedrigen Zwergghennen. Die Leistungsdifferenz in der durchschnittlichen Legeleistung zwischen beiden Genotypen liegt bei 30,9 % (*ffdw*- 60,2 % vs. *FFdw*- 29,3 %) und fällt somit noch deutlicher aus als bei den normalwüchsigen Hennen.

Unter dem Temperaturstress liegt die Leistungsspitze der normalfiedrigen Hennen beider Körpergrößentypen (*ffDw*- und *ffdw*-) bei einem steilen Anstieg der Frühleistung im dritten bzw. im vierten Legeabschnitt. Dabei ist zu beobachten, dass infolge wärmebedingter Leistungsdepression die Legeleistung beider Genotypen im Laufe der Legeperiode relativ stark absinkt. Demgegenüber erreichen beim normalwüchsigen Genotyp die Frizzlehennen (*FFDw*) ihr Leistungsmaximum im fünften Legeabschnitt auf einem höheren Niveau als die normalfiedrigen Hennen (*ffDw*-) und verbleiben in ihrer Legeleistung ab dem vierten Legeabschnitt deutlich über dem Leistungsniveau der normalfiedrigen Hennen, was zu einer Differenz von 21,3 % in der Legeleistung führt (*ffDw*- 37,2 % vs. *FFDw*- 58,5 %).

Aufgrund des insgesamt verspäteten Legebeginns bei den gelockten Zwergghennen ist die Differenz zwischen der Legeleistung der normalfiedrigen und der gelockten Zwergge relativ gering; sie liegt lediglich bei 5,9 % (*ffdw*- 36,0 % vs. *FFdw*- 41,9 %) (Abb. 5.7).

Bei den Merkmalen durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne und eingestellte Anfangshenne ist jeweils die Wechselwirkung zwischen den beiden Hauptfaktoren Federstruktur und Körpergrößentyp signifikant, was in dem niedrigen Leistungsniveau der gelockten Zwergghennen unter beiden Umwelttemperaturen begründet liegt. Insgesamt übt der Faktor Befiederungsstruktur einen signifikanten Einfluss auf das Merkmal durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne aus. Die Differenz von 6,4 % in der Legeleistung je überlebende Henne (*ff* 50,14 % vs. *FF* 43,74 %) und von 3,4 % in der durchschnittlichen Legeleistung je eingestellte Anfangshenne zwischen beiden Befiederungstypen (*ff* 45,0 % vs.

FF 42,6 %) ist auf die höhere Mortalitätsrate der normalfiedrigen Hennen unter Temperaturstress zurückzuführen.

Das Leistungsniveau der Gesamteizahl (Tabelle 4.7) liegt unter den hohen Umwelttemperaturen insgesamt niedriger als unter den gemäßigten Umwelttemperaturen. Die Ursache hierfür ist die stärkere temperaturbedingte hohe Leistungsdepression der normalbefiederten Hennen.

Ebenso wie in der Versuchsreihe I besteht auch bei Versuchsreihe II ein hochsignifikanter Effekt des Verzweigungsgens im Merkmal Eizahl (Tabellen 4.6 und 4.7). Die Legeleistung der Zwerge beider Befiederungstypen liegt in beiden Umwelttemperaturen unter der der normalwüchsigen Hennen. Die Leistungsdifferenz zwischen den normalfiedrigen Zwerg- (*ffDw-*) und den normalwüchsigen (*ffdw-*) Hennen ist unter Temperaturstress (110,8 vs. 102,1) geringer als unter gemäßigten Umwelttemperaturen (241,2 vs. 210,4), aber es besteht keine signifikante Wechselwirkung zwischen Körpergrößentyp und Umwelttemperatur. Dies kann als besseres Adaptationsvermögen der Zwergghennen unter dem Temperaturstress interpretiert werden.

Ähnlich wie in den Versuchsreihen I und II erbrachte die Einzüchtung des Verzweigungsgens in der Versuchsreihe III ebenfalls eine signifikante Leistungsverminderung und zwar von 10 Prozent. Zwar bestehen wegen der besonderen Aufzuchtbedingungen in Versuch III keine signifikanten Unterschiede in dem Merkmal der sexuellen Reife zwischen allen Genotypen, aber bei den Lockenhennen zeigt sich - im Hinblick auf die Einzüchtung des *F*-Gens in doppelter Dosis - auch bei mittleren Umwelttemperaturen von 24 °C tendenziell eine Leistungsreduktion ($P=0,087$).

Die Betrachtung aller drei Versuchsdurchgänge lässt folgende Schlüsse zu: die Einzüchtung des Verzweigungsgens führt zu einer Verringerung der Legeleistung. Diese Leistungsdepression liegt unter den gemäßigten Umwelttemperaturen zwischen 13 und 20 Prozent. Unter hohen Umwelttemperaturen besteht jedoch kaum ein Unterschied zwischen Zwergghennen und normalwüchsigen Hennen in der Legeleistung, die Zwergghennen zeigen also eine bessere Wärmetoleranz.

Tab. 4.7: Einfluss der Gene *F* und *dw* und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Legeleistung (Eizahl und Intensität) je Anfangshenne
The effect of genes F and dw and environmental temperature on egg performance (egg number and mean hen-day-production) of hens housed

Varianzursache	Vers. I*						Vers. II**						Vers. III**					
	Legeleistung																	
	Eizahl		Intensität (%)		Eizahl		Intensität (%)		Eizahl		Intensität (%)							
μ	118,5				159,9				139,5									
Umwelttemperatur (U)																		
W	90±4,4 ^a		35,6		140±5,9 ^a		38,5											
K	143±4,2 ^b		57,1		179±5,9 ^b		49,2											
Federstruktur (F)																		
F.	122±3,8		48,3		155±5,9		42,6		132±5,3		59,2							
ff	112±4,8		44,3		163±5,9		45,0		145±5,3		64,8							
Körpergrößentyp (K)																		
dw-	108±4,2 ^a		43,0		142±5,9 ^a		39,0		131±5,4 ^a		58,5							
Dw-	125±4,4 ^b		49,7		176±5,9 ^b		48,6		146±5,2 ^b		65,3							
F x U																		
F.	x	W	97±5,4		38,4		178±8,3 ^a		48,9									
F.	x	K	147±5,7		58,3		132±8,3 ^b		36,4									
ff	x	W	83±7,3		32,9		102±8,3 ^c		28,0									
ff	x	K	141±6,4		55,8		226±8,3 ^d		62,0									
K x U																		
dw-	x	W	90±5,8 ^a		35,6		127±8,3		35,0									
dw-	x	K	126±6,0 ^b		50,4		157±8,3		43,1									
Dw-	x	W	91±6,5 ^a		35,7		152±8,3		41,9									
Dw-	x	K	160±5,6 ^c		63,7		201±8,3		55,3									
F x K																		
F.	x	dw-	113±5,1		44,8		128±8,3 ^a		35,2		128±7,2		57,1					
F.	x	Dw-	131±5,8		52,0		182±8,3 ^b		50,0		137±7,8		61,0					
ff	x	dw-	104±6,9		41,2		156±8,3 ^c		42,9		135±8,1		60,0					
ff	x	Dw-	120±6,8		47,5		171±8,3 ^{bc}		47,1		156±6,8		69,7					
F x K x U																		
F.	x	dw-	x	W	96± 6,9		38,6		153±11,8		42,0							
F.	x	dw-	x	K	129± 7,6		51,3		103±11,8		28,5							
ff	x	dw-	x	W	83±10,0		32,9		102±11,8		28,1							
ff	x	dw-	x	K	125± 9,6		49,6		210±11,8		57,8							
F.	x	Dw-	x	W	97± 8,2		38,6		203±11,8		55,7							
F.	x	Dw-	x	K	165± 8,4		65,3		161±11,8		44,3							
ff	x	Dw-	x	W	83±10,6		32,8		102±11,8		28,0							
ff	x	Dw-	x	K	156± 8,5		62,0		241±11,8		66,3							

*Ff-Genotypen; **FF-Genotypen; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \geq 0,05$); Versuchsdauer: Vers. I= bis zur 56. Lw; Vers. II= bis zur 72. Lw; Vers. III= bis zur 52. Lw; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I, N=224; Vers. II, N= 160; Vers. III, N= 105.

Es besteht eine klare Differenz in der Legeleistung von homozygoten und heterozygoten lockenfiedrigen Hennen unter unterschiedlichen Umwelttemperaturen. Unter den hohen Umwelttemperaturen führt die Einzüchtung des *F*-Gens in homozygoter Form zu einer

höheren Legeleistung, unter den gemäßigten Umwelttemperaturen aufgrund des exzessiven Körperwärmeverlustes und damit verbundener Verzögerung der sexuellen Reife jedoch zu einer Leistungsminderung. Die Kombination von Verzweigungsgenen und Lockengen führt unter gemäßigten Umwelttemperaturen zu einer noch stärkeren Leistungsbegrenzung als der Effekt des *F*-Gens in homozygoter Form bzw. des *dw*-Gens allein.

Demgegenüber übt das Lockengen in heterozygoter Form unter den gemäßigten Umwelttemperaturen keine negative dagegen unter der Wärmebelastung eine geringfügig positive Wirkung auf die Legeleistung aus.

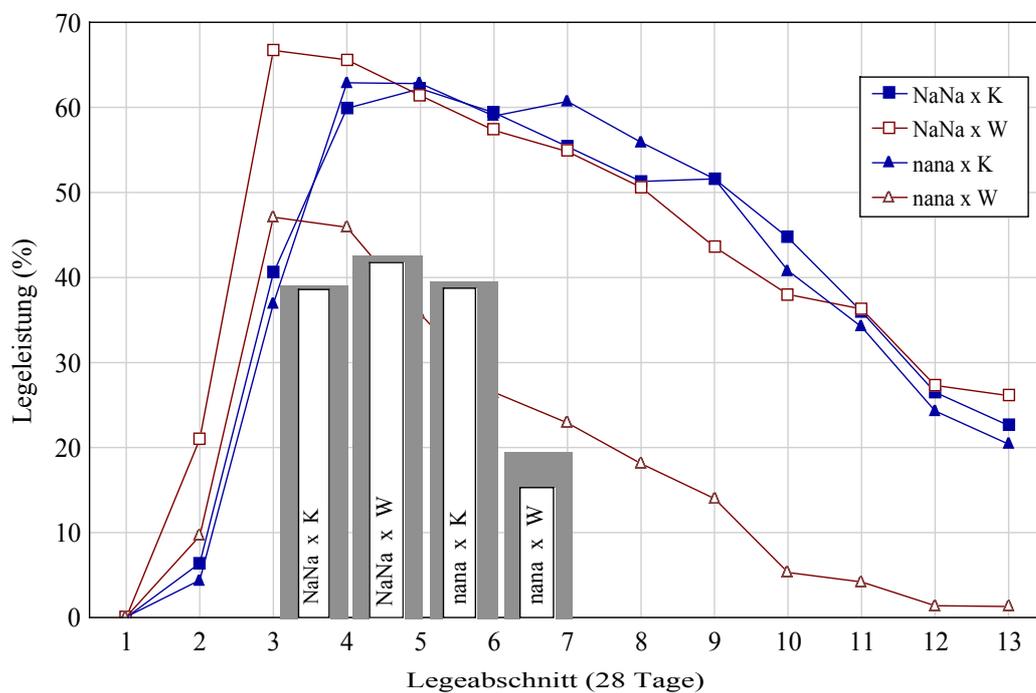


Abb. 4.8: Einfluss des *Na*-Gens und der Umwelttemperatur auf die Entwicklung der Legeleistung je überlebende Henne (LSQ-Mittelwerte). Die Säulendiagramme stellen die durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne (äußere Säulen) und je Anfangshenne (innere Säulen) dar. (W= Warmstall; K= Kontrollstall)

The effect of Na-gene and environmental temperatures on laying intensity of survivor hens (LSQ means). The bar diagrams show the means of hen-day-production of survivor hens (outer bars) and hens housed (inner bars) (W= high; K= moderate).

Die Abbildung 4.8 spiegelt den Verlauf der Legeleistungskurve je anwesende Henne für die Vaterzuchtlinie in der Versuchsreihe IV wider. Die Hauptfaktoren Umwelttemperatur und Genotyp sowie ihre Interaktionen sind ab dem zweiten Legeabschnitt bis zum Ende der

Legeperiode signifikant.

Im Warmstall erreichen die beiden Genotypen nach einem steilen Anstieg der Legeleistung die Leistungsspitze im dritten Legeabschnitt, wobei ab dem zweiten Legeabschnitt die normalbefiederten Hennen aufgrund der temperaturbedingten Legedepression ein deutlich niedrigeres Leistungsniveau gegenüber den Nackthalshennen aufweisen. Die Leistungsdifferenz zwischen beiden Genotypen liegt im zweiten Legeabschnitt bei ca. 10 % und erhöht sich in den Legeabschnitten 6 bis 11 sogar auf über 30 Prozent.

Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen zeigen die Hennen beider Genotypen ihr Leistungsmaximum im vierten bzw. fünften Legeabschnitt. Dabei besteht in der gesamten Legeperiode kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Genotypen.

Die durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne (äußere Säulen) für eine 52-wöchige Legeperiode und je Anfangshenne (innere Säulen) sind ebenfalls graphisch in gleicher Form wie oben dargestellt.

Tab. 4.8: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Legeleistung je Anfangshenne (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with level of significance for egg number of hens housed (VZL)

Varianzursache	Legeleistung je Anfangshenne		F-Wert mit Signifikanzniveau für das Merkmal Gesamteizahl
	Gesamteizahl	Intensität (%)	
μ / R^2	122,8		0,43
Umwelttemperatur			27,0
W	104±5,0 ^a	28,6	P≤0,0001
K	141±5,0 ^b	38,8	
Genotyp			45,0
NaNa	147±5,0 ^a	41,8	P≤0,0001
nana	99±5,0 ^b	38,8	
Genotyp x Umwelttemperatur			45,1
NaNa x W	152±7,2 ^a	41,8	P≤0,0001
NaNa x K	141±7,2 ^a	38,8	
nana x W	56±7,2 ^b	15,4	
nana x K	141±7,2 ^a	38,8	

Anzahl der Versuchstiere N= 160; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05); Versuchsdauer bis zur 72. Lw.

Im Warmstall liegt die durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne für *nana*-Hennen bei 19,3 und für Nackthalshennen bei 42,3 Prozent.

Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen liegen die Werte für *nana*-Hennen bei 39,5 % und für Nackthalshennen bei 39,1 Prozent. Allerdings unterscheidet sich nur die

durchschnittliche Legeleistung der *nana*-Hennen unter hohen Temperaturen von anderen Durchschnittswerten signifikant ($P \leq 0,0001$). Die Differenz in der Legeleistung je überlebende Henne und je Anfangshenne, die in Abbildung 4.8 dargestellt ist, verdeutlicht die Minderleistung, die durch die Hennen-Mortalität der unterschiedlichen Genotypen verursacht wird. Erwartungsgemäß tritt diese Differenz am deutlichsten bei normalbefiederten Hennen mit höchster temperaturbedingter Sterberate auf.

Die varianzanalytischen Ergebnisse des Merkmals Gesamteizahl je Anfangshenne sind für beide Versuchsdurchgänge in Tabelle 4.8 dargestellt. Im Merkmal Legeleistung je Anfangshenne führt eine Überlegenheit der nackthalsigen gegenüber den normalbefiederten Hennen unter warmen Umweltbedingungen und bei gleichem Leistungsniveau der beiden Genotypen unter gemäßigten Umwelttemperaturen zu einer signifikanten Wirkung der Hauptfaktoren sowie deren Interaktion. Unter hohen Dauertemperaturen liegt die Legeleistung je Anfangshenne für normalbefiederte Hennen bei 56 Eiern (15,4 %) und für nackthalsige Hennen bei 152,3 Eiern (41,8 %).

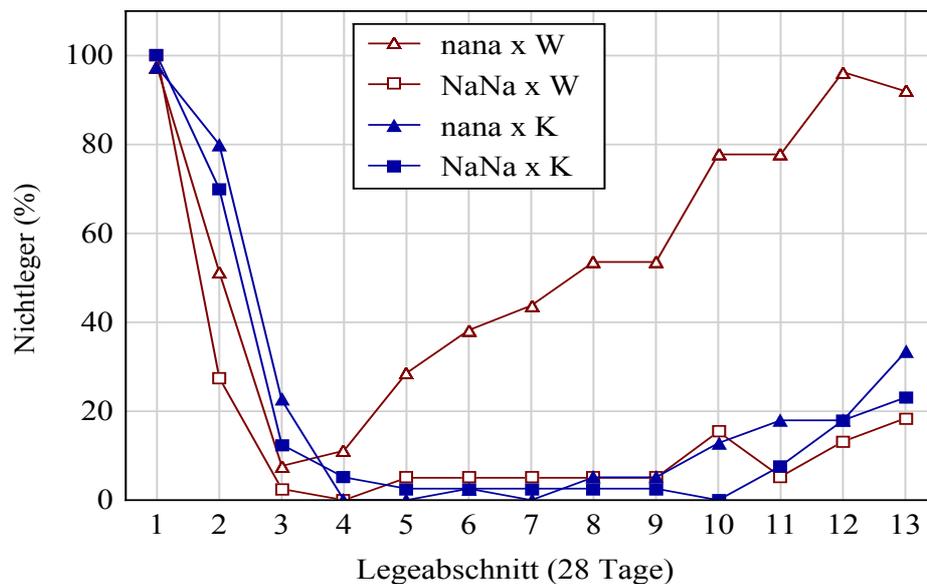


Abb. 4.9: Der Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) auf den Anteil nicht legender Hennen unter gemäßigten und hohen Umwelttemperaturen.

Effect of naked neck gene (Na) on proportion of non laying hens under high and moderate ambient temperature

Dagegen besteht in gemäßigter Umwelt kein Unterschied in der Legeleistung der beiden Genotypen. Die entsprechenden Werte liegen für die normalfiedrigen Hennen (*nana*) bei

141,4 Eiern (38,8 %) und für die Nackthalshennen (*NaNa*) bei 141,5 Eiern (38,8 %). Bedingt durch die hohe Mortalitätsrate der *nana*-Hennen unter dem Temperaturstress ist die negative Wirkung der hohen Temperatur auf die Produktivität der normalbefiederten Hennen im Merkmal Legeleistung je Anfangshenne noch deutlicher erkennbar als im Merkmal Legeleistung je überlebende Henne (Abb. 4.8).

Die deutliche Differenz in der Legebereitschaft der beiden Genotypen unter Temperaturbelastung ist also im Wesentlichen auf den höheren Anteil der nichtlegenden Hennen zurückzuführen (Abb. 4.9).

4.5 Eigewicht, Eiqualität und Bruteanteil

Für die Hennen der Mutterzuchtlinie sind die Wirkungen der beiden Majorgene *F* und *dw* auf das Eigewicht unter beiden Umwelttemperaturen in Tabelle 4.9 ausgewiesen. Erwartungsgemäß führen die anhaltend hohen Umwelttemperaturen in den beiden Versuchsreihen I und II zu einer hoch signifikanten Reduktion der Eigewichte, die bei ca. 12 % liegt. Im Hinblick auf die Wirkung des Lockengens auf das Merkmal Eigewicht besteht ein deutlicher Unterschied zwischen homozygoten und heterozygoten Genotypen.

Die Besetzung des Genortes mit einem Lockengen (*Ff*) übt keinen Einfluss auf das Eigewicht aus, weder unter gemäßigten Temperaturbedingungen noch unter Temperaturbelastung. So ist unter der Temperaturbelastung das Eigewicht von heterozygoten Hennen (*Ff*) der Versuchsreihe I in der Höhe ähnlich reduziert (12 %) wie das der normalbefiederten *ff*-Hennen.

Im Gegensatz zur Versuchsreihe I besteht in Versuchsreihe II zwischen dem Faktor Federstruktur (homozygote Genotypen) und der Umwelttemperatur eine hoch signifikante Wechselwirkung, die insbesondere auf die gravierende, wärmebedingte Eigewichtsreduktion der normalfiedrigen Hennen zurückzuführen ist. Der Leistungsunterschied unter dem Temperaturstress beträgt 21 % (*FF* 60,8 vs. *ff* 47,8), unter gemäßigten Umwelttemperaturen aber nur 7,5 % (*FF* 63,5 vs. *ff* 58,7). Vergleicht man die Mittelwerte derselben Genotypen unter den beiden Umwelttemperaturen, so wird ersichtlich, dass die Einwirkung der hohen Umwelttemperaturen auch bei homozygoten Genträgern zu einer Verringerung des Eigewichtes um 4,4 % (63,5 g vs. 60,8 g) führt, wobei insbesondere die gelockten Zwerge mit einer stärkeren Eigewichtsreduktion reagieren. Die wärmebedingte Eigewichtsreduktion bei

den normalfiedrigen Hennen beträgt dagegen 18,5 % (58,7 g vs. 47,8 g).

Tab. 4.9: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal Eigewicht (MZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance for egg weight (MZL)

Varianzursache	Vers. I*		Vers. II**	
	LSQ-Mittelwerte (g)	F-Wert mit Signifikanz- niveau	LSQ-Mittelwerte (g)	F-Wert mit Signifikanz- niveau
μ / R^2	53,3	0,34	57,7	0,69
Umwelttemperatur (U)		65,4		101,8
W	49,5±0,5 ^a	P≤0,0001	54,3±0,4 ^a	P≤0,0001
K	55,6±0,5 ^b		61,1±0,4 ^b	
Federstruktur (F)		0,46		174,8
F.	52,6±0,4	P≤0,4980	62,2±0,4 ^a	P≤0,0001
ff	52,6±0,5		53,3±0,4 ^b	
Körpergrößentyp (K)		12,5		13,5
dw-	51,7±0,5 ^a	P≤0,0322	56,5±0,4 ^a	P≤0,0003
Dw-	53,6±0,5 ^b		59,0±0,4 ^b	
F x U		0,2		36,4
F. x W	49,4±0,8	P≤0,8911	60,8±0,7 ^a	P≤0,0001
F. x K	55,7±0,6		63,5±0,7 ^b	
ff x W	49,5±0,9		47,8±0,7 ^c	
ff x K	55,6±0,6		58,7±0,7 ^a	
K x U		9,5		0,14
dw- x W	50,1±0,7 ^a	P≤0,0023	52,9±0,7	P≤0,7092
dw- x K	53,9±0,7 ^b		60,0±0,7	
Dw- x W	49,4±0,8 ^a		55,7±0,7	
Dw- x K	57,8±0,7 ^c		62,2±0,7	
F x K		0,42		1,47
F. x dw-	52,2±0,6	P≤0,5117	61,3±0,7	P≤0,2273
F. x Dw-	53,1±0,7		63,0±0,7	
ff x dw-	51,5±0,8		51,6±0,7	
ff x Dw-	53,6±0,8		54,9±0,7	
F x K x U		1,77		1,1
F. x dw- x W	49,7±0,9	P≤0,1805	59,5±0,9	P≤0,2962
F. x dw- x K	54,3±0,9		63,1±0,9	
ff x dw- x W	50,3±1,1		46,4±0,9	
ff x dw- x K	52,7±1,1		56,8±0,9	
F. x Dw- x W	49,1±0,1		62,1±0,9	
F. x Dw- x K	57,0±0,9		63,8±0,9	
ff x Dw- x W	48,8±1,3		49,2±0,9	
ff x Dw- x K	58,4±0,9		60,6±0,9	

* Ff-Genotypen; **FF-Genotypen; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); Versuchsdauer: Vers. I: bis zur 56. Lw; Vers. II: bis zur 72. Lw; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: N=224; Vers. II: N= 160.

Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen produzieren die Lockenhennen (FF) unerwartet signifikant schwerere Eier als die normalfiedrigen Hennen (ff) (63,5 g vs. 58,7 g).

Als Gründe für die Wirkungen des Genotyps auf das Eigewicht sind die verzögert einsetzende sexuelle Reife der homozygoten Frizzlehennen sowie die direkte Wirkung des Frizzlegens auf das Eigewicht zu sehen.

Unabhängig von der Temperatur reduziert das Verzweigungsgen in beiden Versuchsdurchgängen erwartungsgemäss das Eigewicht. Allerdings ist im Versuch I die Wechselwirkung zwischen dem Verzweigungsgen und der Umwelttemperatur hoch signifikant, so dass unter der Temperaturbelastung aufgrund der besseren Wärmetoleranz und der geringeren Belastung der Zwerge kein Unterschied bei dem Merkmal Eigewicht zwischen verzweigten und normalwüchsigen Hennen besteht (50,1 g vs. 49,4 g). Demgegenüber zeigt sich unter gemäßigten Umwelttemperaturen als Folge der direkten Wirkung des Verzweigungsgens (*dw*), dass die Zwergghennen im Vergleich zu normalwüchsigen Hennen signifikant leichtere Eier legen (57,8 g vs. 53,9 g). Bei den Hennen der Vaterzuchtlinie besteht, wie der Tabelle 4.10 zu entnehmen ist, neben einer signifikanten Wirkung der beiden Haupteffekte Umwelttemperatur und Genotyp auf das Eigewicht auch eine signifikante Interaktion zwischen beiden Hauptfaktoren zu Gunsten der nackthalsigen Hennen unter Temperaturstress, während unter den gemäßigten Umwelttemperaturen beide Genotypen das gleiche Leistungsniveau aufweisen.

Tab. 4.10: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Eigewicht
The effect of naked neck gene (Na) and environmental temperatures on egg weight

Varianzursache	Eigewicht (g)	F-Wert mit Signifikanzniveau
μ / R^2	58,8	0,42
Umwelttemperatur		74,2
W	55,5±0,48 ^a	P≤0,0001
K	61,4±0,48 ^b	
Genotyp		32,0
NaNa	60,4±0,46 ^a	P≤0,0001
nana	56,5±0,50 ^b	
Genotyp x Umwelttemperatur		22,3
NaNa x W	59,1±0,62 ^a	P≤0,0001
NaNa x K	61,7±0,68 ^b	
nana x W	51,9±0,62 ^c	
nana x K	61,1±0,68 ^b	

W= Warmstall, K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$).

Die Temperaturbelastung führt bei beiden Genotypen zu einer Reduktion des Eigewichtes, allerdings ist das Ausmaß der Reduktion bei den normalbefiederten Hennen wesentlich höher.

So liegt die wärmebedingte Reduktion des Eigewichtes bei normalbefiederten Hennen bei 15 % (61,1 g vs. 51,9 g), bei Nackthalschhennen jedoch lediglich bei 4,2 % (61,7 g vs. 59,1 g). Die Mittelwertvergleiche zwischen beiden Genotypen verdeutlichen, dass unter der Temperaturbelastung die nackthalsigen Hennen um 14 % schwerere Eier legen als die normalbefiederten Hennen. Unter gemäßigten Umwelttemperaturen ist der Unterschied zwischen den beiden Genotypen geringfügig und es besteht lediglich eine numerische Überlegenheit der nackthalsigen Hennen von 1 Prozent.

Äußere und innere Eiqualität

Im folgenden Kapitel werden der Einfluss der Umwelttemperatur sowie die spezifischen Majorgenwirkungen auf die äußeren Eiqualitätsmerkmale (Bruchfestigkeit, Schalendicke und Deformation) und auf die Eibestandteile beschrieben. Bei den Hennen der Mutterzuchtlinie hat die Temperaturbelastung in beiden Versuchsdurchgängen erwartungsgemäß einen deutlich negativen Effekt auf die Stabilität der Eischale.

Tab. 4.11: F-Werte und Signifikanzen für die Merkmale der Eischalenqualität (Bruchfestigkeit, Schalendicke, Deformation) (MZL)
F-values and levels of significance for egg shell quality (shell strength, shell thickness and shell deformation) (MZL)

Varianzursache	F-Werte und Signifikanzniveau (P)				
	Vers. I*		Vers. II**		
	Bruchfestigkeit	Schalendicke	Bruchfestigkeit	Schalendicke	Deformation
R^2	0,14	0,13	0,36	0,41	0,38
Umwelttemperatur (U)	9,05 P≤0,0032	10,97 P≤0,0014	47,7 P≤0,0001	52,76 P≤0,0001	45,87 P≤0,0001
Federstruktur (F)	1,11 P≤0,2940	0,87 P≤0,3535	24,5 P≤0,0001	31,03 P≤0,0001	13,45 P≤0,0003
Körpergrößentyp (K)	1,44 P≤0,2326	0,80 P≤0,3715	5,84 P≤0,0169	8,27 P≤0,0047	1,15 P≤0,2849
F x U	3,62 P≤0,0594	0,07 P≤0,7849	1,27 P≤0,2616	5,28 P≤0,0231	23,92 P≤0,0001
K x U	0,21 P≤0,6468	0,57 P≤0,4498	0,22 P≤0,6375	0,54 P≤0,4653	4,60 P≤0,0336
F x K	2,38 P≤0,1251	0,07 P≤0,7927	0,05 P≤0,8273	0,01 P≤0,9393	2,78 P≤0,0978
F x K x U	2,4 P≤0,1235	0,05 P≤0,8258	0,04 P≤0,8428	2,24 P≤0,1363	2,24 P≤0,1363

* Ff-Genotypen; ** FF-Genotypen

Die temperaturbedingte Differenz beträgt bei den Merkmalen der Eischalenqualität, also bei

Bruchfestigkeit und Schalendicke im Versuchsdurchgang I 12 % bzw. 7 % und im Versuchsdurchgang II 17 % und 7 Prozent.

Tab. 4.12: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Merkmale der Eischalenqualität (MZL)
LSQ-means and standard errors for egg shell quality traits (MZL)

Varianzursache	Vers. I		Vers. II		
	Bruchfestigkeit (kp)	Schalendicke (x 0,01mm)	Bruchfestigkeit (kp)	Schalendicke (x 0,01mm)	Deformation μ
μ	3,66	32,00	3,58	30,78	93,03
Umwelttemperatur (U)					
W	3,17±0,11 ^a	30,87±0,5 ^a	3,24±0,07 ^a	29,59±0,2 ^a	104,3±2,1 ^a
K	3,61±0,09 ^b	33,10±0,4 ^b	3,93±0,07 ^b	31,98±0,2 ^b	83,0±2,0 ^b
Federstruktur (F)					
F.	3,31±0,09	31,67±0,4	3,83±0,07 ^a	31,70±0,2 ^a	88,6±2,0 ^a
ff	3,47±0,11	32,30±0,5	3,34±0,07 ^b	29,87±0,2 ^b	99,7±2,1 ^b
Körpergrößentyp (K)					
dw-	3,30±0,09	31,68±0,4	3,47±0,07 ^a	30,31±0,2 ^a	95,8±2,1
Dw-	3,48±0,10	32,29±0,4	3,71±0,06 ^b	31,26±0,2 ^b	92,8±2,1
F x U					
F. x W	2,95±0,12	30,46±0,5	3,54±0,10	30,88±0,3 ^a	91,5±2,9 ^a
F. x K	3,67±0,14	32,87±0,6	4,12±0,10	32,52±0,3 ^b	85,8±2,9 ^a
ff x W	3,38±0,18	31,28±0,8	2,94±0,10	28,29±0,3 ^c	117,2±3,2 ^b
ff x K	3,55±0,13	33,32±0,6	3,74±0,10	31,44±0,3 ^{ab}	82,1±3,2 ^a
K x U					
dw- x W	3,04±0,13	30,82±0,6	3,10±0,10	29,23±0,3	102,7±3,0
dw- x K	3,55±0,14	32,53±0,7	3,83±0,10	31,39±0,3	88,8±2,9
Dw- x W	3,29±0,17	30,92±0,8	3,39±0,10	29,94±0,3	105,9±3,1
Dw- x K	3,66±0,12	33,62±0,6	4,02±0,10	32,58±0,3	79,1±2,9
F x K					
F. x dw-	3,34±0,14	31,27±0,6	3,72±0,10	31,22±0,3	92,7±3,0
F. x Dw-	3,28±0,13	32,06±0,6	3,94±0,10	32,19±0,3	84,5±2,9
ff x dw-	3,26±0,16	32,08±0,7	3,21±0,10	29,40±0,3	98,7±3,0
ff x Dw-	3,67±0,15	32,52±0,8	3,47±0,10	30,33±0,3	100,5±2,9
F x K x U					
F. x dw- x W	3,05±0,14	30,25±0,7	3,40±0,14	30,76±0,4	91,1±4,1
F. x dw- x K	3,62±0,21	32,29±1,0	4,04±0,15	31,67±0,5	94,1±4,1
ff x dw- x W	3,03±0,22	31,40±1,0	2,80±0,14	27,70±0,4	114,3±4,4
ff x dw- x K	3,49±0,20	32,77±0,1	3,62±0,13	31,11±0,4	83,3±4,1
F. x Dw- x W	2,84±0,20	30,67±0,9	3,69±0,13	31,07±0,4	91,7±4,1
F. x Dw- x K	3,73±0,18	33,45±0,8	4,19±0,13	33,38±0,4	77,2±4,1
ff x Dw- x W	3,73±0,28	31,16±1,3	3,09±0,13	28,88±0,4	120,0±4,6
ff x Dw- x K	3,60±0,17	33,87±0,4	3,86±0,13	31,78±0,4	81,0±4,0

W= Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); Versuchsdauer: Vers. I: bis zur 56. Lw.; Vers. II: bis zur 72. Lw.; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: N=224; Vers. II: N= 160; Anzahl der Eier Vers. I: N=330; Vers. II: N=1220

Bei dem Merkmal Deformation im Versuchsdurchgang II beträgt die Reduktion aufgrund der hohen Umwelttemperatur 25 Prozent. Ebenso wie für das bereits beschriebene Merkmal

Eigewicht besteht ein deutlicher Unterschied in der Wirkung des Frizzlegens in hetero- und homozygoter Form auf die Merkmale der Eischalenstabilität.

Während im Versuchsdurchgang I kein Einfluss des *F*-Gens auf die Eischalenqualität besteht, zeigen die Ergebnisse des Versuchs II als Folge der Homozygotie des Genortes einen hoch signifikanten Einfluss auf alle Merkmale der Schalenstabilität (Tabelle 4.11). Ferner tritt eine Interaktion erster Ordnung zwischen der Federstruktur und der Umwelttemperatur bei den Merkmalen Schalendicke und Deformation auf.

Beim Vergleich der Mittelwerte der Tabelle 4.12 wird ersichtlich, dass der negative Effekt der hohen Umwelttemperaturen auf die Merkmale der Schalenstabilität bei den heterozygoten Genotypen (Vers. I) ebenso wirksam ist wie bei den normalfiedrigen Hennen. Demgegenüber besteht zwar auch bei den wärmebelasteten homozygoten Frizzlehennen (*FF*) der Versuchsreihe II eine Reduktion der Merkmale der Eischalenqualität (16 % bei der Bruchfestigkeit; 5 % bei der Schalendicke; 6,5 % bei der Deformation) durch die hohen Umwelttemperaturen im Vergleich zu den *FF*-Hennen des Kontrollstalls.

Tab. 4.13: F-Werte und Signifikanzen für Eibestandteile (MZL)
F-values and levels of significance for egg components (MZL)

Varianzursache	F-Werte und Signifikanzniveaus (P)					
	Vers. I*			Vers. II**		
	Schalenanteil	Dotteranteil	Klaranteil	Schalenanteil	Dotteranteil	Klaranteil
R^2	0,05	0,19	0,14	0,08	0,25	0,24
Umwelttemperatur (U)	1,05 P≤0,3084	23,4 P≤0,0001	12,24 P≤0,0006	10,35 P≤0,0016	19,09 P≤0,0001	24,75 P≤0,0001
Federstruktur (F)	1,68 P≤0,1972	0,09 P≤0,7679	0,23 P≤0,6331	1,27 P≤0,2608	13,43 P≤0,0004	7,73 P≤0,0062
Körpergrößentyp (K)	0,00 P≤0,9487	0,15 P≤0,7006	0,01 P≤0,9202	0,07 P≤0,7645	2,43 P≤0,1215	1,59 P≤0,2093
F x U	1,97 P≤0,1624	0,64 P≤0,4262	1,29 P≤0,2585	0,03 P≤0,8663	6,05 P≤0,0151	4,85 P≤0,0292
K x U	0,36 P≤0,5484	0,64 P≤0,4245	1,56 P≤0,2136	0,49 P≤0,4860	0,02 P≤0,8921	0,02 P≤0,8919
F x K	0,19 P≤0,6648	0,07 P≤0,7880	0,09 P≤0,7602	0,32 P≤0,5727	4,21 P≤0,0421	3,94 P≤0,0490
F x K x U	0,13 P≤0,7146	0,02 P≤0,8948	0,04 P≤0,8506	0,62 P≤0,4292	0,51 P≤0,4748	0,83 P≤0,3630

* *Ff*-Genotypen; ** *FF*-Genotypen

Das Ausmaß der temperaturbedingten Absenkung der Schalenstabilitätsmerkmale der Eischale ist jedoch deutlich geringer als bei den normalfiedrigen Hennen (21 % bei der

Bruchfestigkeit; 11 % bei der Schalendicke; 42 % bei der Deformation).

Tab. 4.14: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Merkmale der Eibestandteile (MZL)
LSQ-means and standard errors for egg components (MZL)

Varianzursache	Vers. I			Vers. II		
	Schalenanteil (%)	Dotteranteil (%)	Klaranteil (%)	Schalenanteil (%)	Dotteranteil (%)	Klaranteil (%)
μ	8,27	29,09	63,24	8,26	28,24	63,49
Umwelttemperatur (U)						
W	8,22±0,11	27,91±0,3 ^a	63,85±0,4 ^a	8,10±0,07 ^a	27,69±0,2 ^a	64,20±0,2 ^a
K	8,37±0,10	30,16±0,3 ^b	61,85±0,3 ^b	8,42±0,07 ^b	28,75±0,2 ^b	62,81±0,2 ^b
Federstruktur (F)						
F.	8,19±0,09	28,97±0,3	63,00±0,3	8,32±0,07	27,77±0,2 ^a	63,89±0,2 ^a
ff	8,39±0,11	29,11±0,3	62,73±0,4	8,20±0,07	28,66±0,2 ^b	63,12±0,2 ^b
Körpergrößentyp (K)						
dw-	8,30±0,10	29,13±0,3	62,89±0,4	8,25±0,07	28,41±0,1	63,33±0,2
Dw-	8,29±0,10	28,95±0,3	62,84±0,3	8,27±0,07	28,00±0,1	63,68±0,2
F x U						
F. x W	8,01±0,12	27,66±0,4	64,31±0,4	8,16±0,04	27,54±0,2 ^a	64,28±0,3 ^a
F. x K	8,36±0,13	30,28±0,4	61,69±0,5	8,47±0,10	28,01±0,2 ^a	63,51±0,3 ^b
ff x W	8,42±0,18	28,17±0,6	63,40±0,7	8,03±0,10	27,84±0,2 ^a	64,12±0,3 ^b
ff x K	8,36±0,14	30,07±0,4	62,06±0,5	8,37±0,09	29,49±0,2 ^b	62,12±0,3 ^c
K x U						
dw- x W	8,27±0,14	28,19±0,4	63,53±0,5	8,12±0,10	27,86±0,2	64,00±0,3
dw- x K	8,33±0,14	30,07±0,5	62,26±0,6	8,37±0,10	28,95±0,1	62,66±0,3
Dw- x W	8,17±0,17	27,64±0,6	64,18±0,7	8,07±0,09	27,52±0,2	64,39±0,3
Dw- x K	8,41±0,13	30,26±0,4	61,49±0,5	8,47±0,09	28,54±0,2	62,97±0,3
F x K						
F. x dw-	8,23±0,13	29,00±0,4	63,11±0,5	8,27±0,10	27,71±0,2 ^a	64,00±0,3 ^a
F. x Dw-	8,16±0,13	28,94±0,4	62,88±0,5	8,36±0,09	27,84±0,2 ^a	63,79±0,3 ^a
ff x dw-	8,36±0,15	29,26±0,5	62,67±0,8	8,22±0,09	29,10±0,2 ^b	62,67±0,3 ^b
ff x Dw-	8,42±0,16	28,96±0,5	62,79±0,6	8,19±0,09	28,22±0,2 ^a	63,57±0,3 ^{ab}
F x K x U						
F. x dw- x W	8,12±0,21	27,84±0,5	64,02±0,6	8,20±0,14	27,55±0,3	64,24±0,4
F. x dw- x K	8,34±0,21	30,15±0,7	62,21±0,8	8,35±0,15	27,87±0,4	63,76±0,4
ff x dw- x W	8,41±0,24	28,54±0,7	63,04±0,9	8,04±0,14	28,17±0,4	63,77±0,4
ff x dw- x K	8,32±0,20	29,98±0,6	62,30±0,8	8,39±0,13	30,03±0,3	61,56±0,4
F. x Dw- x W	7,91±0,21	27,48±0,6	64,60±0,8	8,13±0,13	27,53±0,3	64,32±0,4
F. x Dw- x K	8,41±0,21	30,41±0,6	61,16±0,7	8,59±0,14	28,14±0,3	63,26±0,4
ff x Dw- x W	8,43±0,28	27,80±0,9	63,76±1,0	8,02±0,14	27,50±0,3	64,46±0,4
ff x Dw- x K	8,41±0,17	30,11±0,5	61,82±0,7	8,35±0,14	28,95±0,3	62,68±0,4

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); Versuchsdauer: Vers. I: bis zur 56. Lw.; Vers. II: bis zur 72. Lw.; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: $N=224$; Vers. II: $N=160$; Anzahl der Eier Vers. I: $N=330$; Vers. II: $N=1220$

Die Überlegenheit der homozygoten Genotypen gegenüber den normalfiedrigen Hennen beträgt bei der Bruchfestigkeit 20 %, bei der Schalendicke 9,5 % und bei der Merkmal Deformation 21,7 Prozent.

Im Hinblick auf das Verzweigungsgen lässt sich statistisch eine leicht reduzierende Wirkung nur im Versuch II bei den Merkmalen der Bruchfestigkeit und Schalendicke nachweisen. Im Versuch I ist keine negative Wirkung des Gens auf die Bruchfestigkeit vorhanden.

Bei Temperaturbelastung ist in beiden Versuchsdurchgängen der Schalen- und Dotteranteil zu Gunsten des Klaranteils reduziert (Tab. 4.14).

Die temperaturbedingte, prozentuale Abnahme des Schalenanteils liegt im Versuchsdurchgang I bei 1,7 % und im Versuchsdurchgang II bei 3,8 Prozent. Der Dotteranteil ist in Versuchsdurchgang I um 9,8 % und im Versuchsdurchgang II um 3,8 % vermindert. Im Gegenzug erhöht sich der Klaranteil unter den hohen Umwelttemperaturen in Versuchsdurchgang I um 5 % und in Versuchsdurchgang II um 2,2 Prozent.

Neben einer direkten Wirkung der Federstruktur im Versuchsdurchgang II ist auch die Wechselwirkung zwischen Federstruktur und Umwelttemperatur auf Dotter- und Klaranteil signifikant. Während im Kontrollstall das Frizzlegen in homozygoter Form (*FF*) zu einer signifikanten Reduktion des Dotteranteils gegenüber den Normalfiedrigen (*ff*) (28,01 % vs. 29,49 %) bei gleichzeitiger signifikanter Erhöhung des Klaranteils (63,51 % vs. 62,12 %) führt, besteht unter der Wärmebelastung zwischen den beiden Befiederungstypen kein signifikanter Unterschied, weder beim Dotteranteil noch beim Klaranteil. Die Einzüchtung des Lockengens (*FF*) bewirkt also eine Reduktion des Dotteranteils. Das Zwerggen scheint dagegen den Dotteranteil wenig zu verändern.

Bei den Hennen der Vaterzuchtlinie zeigen alle drei Merkmale der Schalenqualität erwartungsgemäß eine hoch signifikante Beeinträchtigung durch die hohen Umwelttemperaturen. Die Temperaturbelastung verursacht eine Reduktion der Bruchfestigkeit, der Schalendicke und der Deformation um jeweils 5 %, 10 % und 20 % (Tabelle 4.15).

Die wärmebedingte Reduktion der Schalenstabilität ist jedoch bei Genotypen unterschiedlich wirksam. So verursachen diese zwar auch bei nackthälsigen Hennen eine signifikante Reduktion der Eischalenstabilität, deren Ausmaß fällt jedoch wesentlich geringer aus als bei den normalbefiederten Hennen.

Tab. 4.15: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) und der Umwelttemperatur auf die Qualitätsmerkmale der Eischale.*The effect of the naked neck gene (Na) and environmental temperature on egg shell*

Varianzursache	Bruchfestigkeit*		Schalendicke*		Deformation**	
	LSQ-Mittelwerte (kp)	F-Wert /Signif.-niveau	LSQ-Mittelwerte (x 0,01mm)	F-Wert/Signif.-niveau	LSQ-Mittelwerte (µm)	F-Wert /Signif. – niveau
µ / R ²	3,67	0,17	31,57	0,33	84,2	0,29
Umwelttemperatur		24,72		62,5		48,44
W	3,33±0,09 ^a	P≤0,0001	29,79±0,29 ^a	P≤0,0001	96,2±2,1 ^a	P≤0,0001
K	3,93±0,08 ^b		32,88±0,25 ^b		76,1±1,9 ^b	
Genotyp		0,4		4,5		16,87
NaNa	3,67±0,08	P≤0,5267	31,94±0,26 ^a	P≤0,0347	80,2±1,8 ^a	p≤0,0001
nana	3,59±0,09		31,21±0,25 ^b		92,1±2,2 ^b	
Genotyp x Umwelttemperatur		5,13		8,73		11,76
NaNa x W	3,50±0,11 ^a	P≤0,0250	30,79±0,37 ^a	P≤0,0037	85,3±2,4 ^a	P≤0,0008
NaNa x K	3,84±0,11 ^b		32,72±0,36 ^b		75,1±2,7 ^b	
nana x W	3,15±0,13 ^c		28,80±0,44 ^c		107,1±3,4 ^c	
nana x K	4,03±0,11 ^b		33,04±0,36 ^b		77,1±2,7 ^b	

*Anzahl der Eier N=914; ** Anzahl der Eier N=7134; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05).

Tab. 4.16: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) und der Umwelttemperatur auf die Eibestandteile*The effect of the naked neck gene (Na) and environmental temperature on egg components*

Varianzursache	Schalenanteil		Dotteranteil		Klaranteil	
	LSQ-Mittelwerte (kp)	F-Wert /Signif.-niveau	LSQ-Mittelwerte (x 0,01mm)	F-Wert/Signif.-niveau	LSQ-Mittelwerte (µm)	F-Wert /Signif. – niveau
µ / R ²	8,51	0,17	30,19	0,03	61,29	0,04
Umwelttemperatur		26,42		0,09		0,90
W	8,19±0,07 ^a	P≤0,0001	30,21±0,3	P≤0,7707	61,58±0,3	P≤0,3440
K	8,74±0,07 ^b		30,08±0,3		61,16±0,3	
Genotyp		1,39		2,69		3,44
NaNa	8,53±0,07	P≤0,2397	30,50±0,3	P≤0,1031	60,96±0,3	P≤0,0658
nana	8,40±0,08		29,79±0,3		61,79±0,3	
Genotyp x Umwelttemperatur		2,73		1,30		2,22
NaNa x W	8,34±0,10	P≤0,1009	30,80±0,4	P≤0,2557	60,84±0,4	P≤0,1389
NaNa x K	8,72±0,10		30,19±0,4		61,08±0,4	
nana x W	8,04±0,12		29,61±0,5		62,33±0,5	
nana x K	8,77±0,09		30,00±0,4		61,24±0,4	

W= Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05); Anzahl der Eier N=914.

Unter dem Temperaturstress führt die Einzüchtung des Nackthalsgens (*Na*) zu einer Verbesserung der Stabilitätsmerkmale Bruchfestigkeit, Schalendicke und Deformation um

jeweils 10 %, 6,4 % und 26 % verglichen mit den normalen Hennen (*nana*). Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen sind die Eischalenstabilitätswerte von Nackthalshennen gegenüber denen der *nana*-Hennen allerdings nicht signifikant reduziert. Die Überlegenheit der Nackthalshennen hinsichtlich der Eischalenstabilität gegenüber den normalbefiedrigen Hennen unter der Temperaturbelastung und ihre gleichzeitig geringfügige Unterlegenheit im Kontrollstall führt zu einer signifikanten Genotyp x Umwelt - Wechselwirkung bei allen drei Merkmalen der Schalenstabilität (Tabelle 4.15). Im Hinblick auf die Eibestandteile Dotter und Klaranteil bestehen weder signifikante Wirkungen der Haupteffekte (Nackthals-Genotyp und Umwelttemperatur) noch Wechselwirkungen zwischen ihnen. Allerdings ist eine begrenzte Verringerung des Eischalen- und Dotteranteils und eine geringe Erhöhung des Klaranteils bei wärmebelasteten normalbefiederten Hennen (*nana*) im Vergleich zu den Tieren im Kontrollstall bzw. zu den Nackthalshennen des Warmstalls erkennbar. Im Gegensatz dazu kann ein negativer Einfluss der Temperaturbelastung auf die Schalenfraktion nachgewiesen werden. Eine tendenziell vorhandene Genotyp x Umwelttemperatur - Interaktion führt zu einem um 3,7 % höheren Schalenanteil zu Gunsten der nackthalsigen Hennen ($P=0,1$) unter den hohen Umwelttemperaturen (Tabelle 4.16) und unterstreicht die vorher aufgezeigte Bedeutung des Nackthalsgens für die Verbesserung der Schalenstabilität.

Anteil an brutfähigen Eiern

Für die Hennen der Mutterzuchtlinie sind in der Tabelle 4.17 die varianzanalytischen Ergebnisse der Einflussfaktoren auf den Anteil brutfähiger Eier wiedergegeben. Da mit zunehmendem Alter die Schalenqualität abnimmt (s. Kapitel 2), ist bei den Hennen der Mutterzuchtlinie der Anteil an brutfähigen Eiern im ersten Versuchsdurchgang aufgrund der kürzeren Versuchsdauer insgesamt höher als im Versuchsdurchgang II.

Im Versuchsdurchgang I sind lediglich die Haupteffekte Umwelttemperatur und Körpergrößentyp als signifikante Einflussgrößen nachweisbar (Tabelle 4.17). Die Wirkung des Befiederungstyps ist dagegen nur tendenziell vorhanden. Die hohe Umwelttemperatur reduziert den Bruteianteil um 0,5 %. Die depressive Wirkung der hohen Umwelttemperatur auf den Bruteianteil ist außer bei gelockten Zwergen bei allen Genotypen wirksam, es treten also keine Wechselwirkungen zwischen Umwelttemperatur und Hennenbefiederungstyp bzw. Hennenkörpergrößentyp auf. Auffallend ist in Versuchsdurchgang I der Effekt des Verzweigungsgens.

Tab. 4.17: Einfluss des Locken (F) und des Zwerggens (dw) und der Umwelttemperatur auf den Anteil brutfähiger Eier
Effect of the frizzle gene (F) and dwarf gene (dw) and environmental temperatures on seatable eggs

Varianzursache	Vers. I*		Vers. II**	
	LSQ-Mittelwerte (%)	F-Wert mit Signifikanz- niveau	LSQ-Mittelwerte (%)	F-Wert mit Signifikanz- niveau
μ / R^2	98,3	0,1	95,1	0,19
Umwelttemperatur (U)		4,64		5,62
W	98,5±0,1 ^a	P≤0,0326	93,8±0,7 ^a	P≤0,0191
K	99,0±0,2 ^b		96,2±0,7 ^b	
Federstruktur (F)		02,74		0,72
F.	98,9±0,1	P≤0,0994	95,4±0,7	P≤0,3981
ff	98,5±0,2		94,5±0,7	
Körpergrößentyp (K)		13,13		0,26
dw-	99,1±0,1 ^a	P≤0,0004	94,7±0,7	P≤0,6119
Dw-	98,3±0,2 ^b		95,3±0,7	
F x U		1,00		3,69
F. x W	98,8±0,2	P≤0,3181	95,3±1,0	P≤0,0567
F. x K	99,0±0,2		95,7±1,0	
ff x W	98,2±0,2		92,3±1,0	
ff x K	98,9±0,2		94,3±1,0	
K x U		1,56		3,24
dw- x W	99,0±0,2	P≤0,2132	94,4±0,1	P≤0,0741
dw- x K	99,2±0,2		95,1±0,1	
Dw- x W	98,0±0,2		93,1±0,1	
Dw- x K	98,7±0,2		97,4±1,0	
F x K		2,03		14,54
F. x dw-	99,1±0,2	P≤0,1554	93,2±1,0 ^a	P≤0,0002
F. x Dw-	98,7±0,2		97,7±1,0 ^b	
ff x dw-	99,1±0,2		96,3±1,0 ^b	
ff x Dw-	98,0±0,2		92,9±1,0 ^a	
F x K x U		0,03		4,3
F. x dw- x W	99,2±0,2	P≤0,8576	92,8±1,4 ^a	P≤0,0381
F. x dw- x K	99,1±0,2		93,6±1,5 ^{ab}	
ff x dw- x W	98,9±0,3		96,1±1,5 ^b	
ff x dw- x K	99,3±0,3		96,5±1,4 ^b	
F. x Dw- x W	98,4±0,3		97,6±1,4 ^b	
F. x Dw- x K	99,0±0,3		97,7±1,4 ^b	
ff x Dw- x W	97,6±0,4		88,6±1,4 ^c	
ff x Dw- x K	98,5±0,3		97,1±1,4 ^b	

* Ff -Genotypen; ** FF -Genotypen; W= Warmstall; K= Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); Versuchsdauer: Vers. I: bis zur 56. Lw; Vers. II: bis zur 72. Lw; Anzahl der Versuchstiere: Vers. I: N=224; Vers. II: N= 160.

Die Einzüchtung des Verzweigungsgens führt zu einer signifikanten Erhöhung des Bruteanteils um 0,8 % (98,1 % vs. 98,3 %). Im Versuchsdurchgang II stellt die Umwelttemperatur ähnlich wie im Versuch I eine signifikante Einflussgröße dar. Während im

Versuch II ein direkter Einfluss des Befiederungs- und Körpergrößentyps auf den Bruteianteil nicht nachzuweisen ist, ist die Wechselwirkung zwischen den Hauptfaktoren Befiederungstyp und Körpergrößentyp hoch signifikant. Neben schwach signifikanten Interaktionen zwischen Umwelt und Befiederungstyp sowie zwischen Umwelttemperatur und Körpergrößentyp besteht auch eine gesicherte Dreifachinteraktion zwischen Befiederungstyp, Körpergrößentyp und Umwelttemperatur. Die Kombination der Lockenfiedrigkeit mit der Normalwüchsigkeit stellt sowohl unter den gemäßigten als auch unter den hohen Umwelttemperaturen mit jeweils 97,7 % bzw. 97,6 % die günstigste Faktorkombination dar. Es besteht ebenfalls weder bei gelockten noch bei normalfiedrigen Zwergen ein signifikanter Einfluss der Umwelttemperatur auf den Bruteianteil. Allerdings ist die kombinierte Genwirkung von Locken- und Zwerggen (*FFdw-*) gegenüber den normalwüchsigen gelockten Hennen (*FFDw-*) sowie gegenüber den normalwüchsigen normalfiedrigen (*ffDw-*) Hennen des Kontrollstalls mit jeweils 92,8 % unter der warmen Umwelttemperatur und 93,6 % in der gemäßigten Umwelttemperatur etwas ungünstiger.

Tab. 4.18: Einfluss des Nackthalsgens (*Na*) und der Umwelttemperatur auf den Anteil brutfähiger Eier
Effect of naked neck gene (Na) and environmental temperature on proportion of seatable eggs

Varianzursache	Bruteianteil %	F-Wert mit Signifikanzniveau
μ / R^2	81,3	0,23
Umwelttemperatur		25,6
W	75,6±1,9 ^a	P≤0,0001
K	89,4±1,8 ^b	
Genotyp		3,91
NaNa	85,2±1,8 ^a	P≤0,0495
nana	79,8±1,9 ^b	
Genotyp x Umwelttemperatur		5,21
NaNa x W	81,5±2,6 ^a	P≤0,0201
NaNa x K	88,9±2,6 ^b	
nana x W	69,7±3,1 ^c	
nana x K	89,9±2,6 ^b	

W= Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05);

Der Bruteianteil liegt bei normalfiedrigen Zwergen in der gemäßigten Umwelttemperatur bei 96,5 % und unter der Temperaturbelastung bei 96,1 %, er ist damit marginal niedriger als bei den *ffDw-* -Hennen in der Kontrollumwelt.

Demgegenüber besteht eine deutliche temperaturinduzierte Verringerung des Bruteianteils um

8,5 % (97,1 % vs. 88,6 %) bei normalfiedrigen und normalwüchsigen Hennen (*ffDw*-). In der Tabelle 4.18 sind die varianzanalytischen Ergebnisse der Einflussfaktoren auf den Anteil brutfähiger Eier für die Hennen der Vaterzuchtlinie wiedergegeben. Insgesamt ist der Anteil an nicht brutfähigen Eiern (Bruchei-, Knickei- und Windeianteil) an der Gesamtzahl der produzierten Bruteier auffallend hoch. Eine mögliche Ursache für diesen hohen Anteil an nicht brutfähigen Eiern konnte in der Käfighaltung der schwereren Masttiere liegen. Der Einfluss der Umwelttemperatur auf den Anteil brutfähiger Eier ist hoch signifikant. Die Temperaturbelastung führt bei beiden Befiederungsgenotypen zu einer Verringerung des Anteils an brutfähigen Eiern. Allerdings produzieren die Nackthalshennen unter der Belastung einen um 16 % deutlich höheren Anteil an brutfähigen Eiern als die normalbefiederten Hennen. Unter Kontrollbedingungen besteht dagegen kein Unterschied zwischen beiden Befiederungsgenotypen. Die depressive Wirkung der hohen Umwelttemperaturen bei beiden Befiederungstypen (*NaNa* vs. *nana*) zeigt sich in dem hoch signifikanten Effekt des Hauptfaktors Umwelttemperatur, der Unterschied im Ausmaß der wärmebedingten Reduktion führt bei beiden Genotypen zu der signifikanten Hennengenotyp x Umwelttemperatur - Interaktion.

4.6 Fertilität

Für die statistische Analyse der Fertilität für die Hennen der Mutterzuchtlinie wird auf das Kapitel 2 verwiesen, in dem die statistische Methodik zur Analyse der Fertilitätsdaten beschrieben ist. In Anhang 1 und 2 sind die entsprechenden Werte für die Kriterien zur Auswahl der Struktur der Kovarianzmatrix für die Modelle mit und ohne Berücksichtigung der Kovariablen (Vers. II) in Form der SAS PROC MIXED Syntax ausgewiesen. Für die Versuchsreihe I wurde eine exponentielle und für die Versuchsreihe II eine loglineare Struktur der Kovarianzmatrix ohne eine Modellierung der zufälligen Abweichung der Einzeltiere vom Mittelwert der Faktoren oder Faktorkombinationen ausgewählt.

Im Versuchsdurchgang I führen die hohen Umwelttemperaturen zu einer hochsignifikanten Reduktion der Befruchtungsrates um 21 % (Tabelle 4.19 und 4.20). Außer dem Einfluss des Hauptfaktors Körpergrößentyp, der auch nur tendenziell wirksam ist ($P \leq 0,069$), üben weitere untersuchte Faktoren oder Faktorkombinationen keinen Einfluss auf das Merkmal Fertilität aus.

Tab. 4.19: Der Einfluss von Hahnengenotyp, Hennenbefiederungstyp, Hennenkörpergröße und Umwelttemperatur auf die Fertilität (MZL)
The effect of male genotype, female feathering type (F), body size of female (dw) and environmental temperature on fertility (MZL)

Varianzursache	Versuch I*		Versuch II*	
	SQ-Typ-III	P-Wert	SQ-Typ-III	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Hahnengenotyp (H)	0,06	≤0,9381	0,15	≤0,6960
Umwelttemperatur (U)	15,5	≤0,0001	6,70	≤0,0107
Federstruktur der Henne (F)	0,14	≤0,7128	21,7	≤0,0001
Körpergrößentyp der Henne (K)	3,35	≤0,0692	0,39	≤0,5354
Umwelttemperatur (U)	15,5	≤0,0001	6,70	≤0,0107
H x U	0,90	≤0,4254	0,44	≤0,5055
H x F	0,60	≤0,5214	0,26	≤0,6121
H x K	0,13	≤0,8740	0,01	≤0,9351
F x U	0,60	≤0,4393	5,93	≤0,0160
F x K	0,04	≤0,8330	5,57	≤0,0195
K x U	0,32	≤0,5736	0,68	≤0,4091
H x F x U	0,55	≤0,5757	0,00	≤0,9563
H x F x K	0,04	≤0,9582	0,29	≤0,5911
H x K x U	0,15	≤0,8662	0,18	≤0,8391
F x K x U	0,06	≤0,8147	0,41	≤0,5240
H x F x K x U	0,23	≤0,9221	0,44	≤0,6450
e1=serielle Korrelation (linl)	0,5161	e1=serielle Korrelation (linl)		0,4884
e2=Messfehler	0,4959	e2=Messfehler		0,5126

*Die Prüfhennen sind in der Lockenfiedrigkeit im Versuchsdurchgang I heterozygot (Ff) und in Versuchsdurchgang II homozygot (FF).

Bei dem Vergleich der Mittelwerte in Tabelle 4.20 wird ersichtlich, dass die Bruteier der verzweigten Hennen unabhängig von der Umwelttemperatur um 10 % (71,4 % vs. 64,0 %) höhere Befruchtungsergebnisse als die Normalgrossen aufweisen. Demgegenüber führt die Einzüchtung des Lockengens in heterozygoter Form zu keiner signifikanten Verbesserung der Fertilität. Bei beiden Genotypen (*Ff* vs. *ff*) ist der reduzierende Effekt der hohen Temperaturen ähnlich stark wirksam. Im Gegensatz zum Versuchsdurchgang I lässt sich in Versuchsdurchgang II sowohl eine direkte Wirkung des Lockengens (in homozygoter Form) selbst als auch seiner Wechselwirkung mit der Umwelttemperatur absichern. Während unter der Temperaturbelastung der Befruchtungserfolg der Bruteier normalfiedriger Hennen gegenüber dem Kontrollstall um 22 Prozent (30 %) deutlich reduziert ist (70,7 % vs. 48,9 %), besteht kein signifikanter Unterschied in den Befruchtungsergebnissen der homozygoten Frizzlehennen unter den beiden Temperaturregimen (77,8 % vs. 78,4 %). Somit führen im Durchschnitt der beiden Umweltbedingungen höhere Befruchtungsergebnisse der

Frizzlehennen (78,2 %) im Vergleich zu denen von normalfiedrigen Hennen (60,4 %) zu der bereits beschriebenen signifikanten Wirkung des Lockengens.

Tab. 4.20: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Fertilität (MZL)
LSQ-means and standard errors for fertility (MZL)

Effekt	Versuch I ¹		Versuch II ¹	
	LSQ-Mittelwerte (%) ²		LSQ-Mittelwerte (%) ²	
Hahnengenotyp				
FFDwDw	67,0±2,8		69,5±2,3	
ffDwDw	67,7±3,8		70,8±2,3	
FfDwDw	68,6±3,6			
Umwelttemperatur				
W	59,2±3,5 ^a		64,7±3,0 ^a	
K	75,3±2,2 ^b		74,8±2,4 ^b	
Federstruktur der Henne				
F.	67,0±2,5		78,2±1,6 ^a	
ff	68,6±3,1		60,4±2,2 ^b	
Körpergrößentyp der Henne				
dw-	71,4±2,5		71,2±2,7	
Dw-	64,0±3,2		68,8±2,7	
Hennenfederstruktur x Umwelttemperatur				
F. x W	60,1±4,1		77,8±3,2 ^a	
F. x K	73,3±3,0		78,4±3,2 ^a	
ff x W	58,3±5,8		48,9±4,8 ^b	
ff x K	77,3±3,1		70,7±3,2 ^a	
Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur				
dw- x W	62,0±4,0		67,6±4,3	
dw- x K	79,2±2,9		74,4±3,4	
Dw- x W	56,3±5,8		61,7±4,2	
Dw- x K	71,0±3,1		75,1±3,3	
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße				
F. x dw-	70,3±3,2		82,4±2,8 ^a	
F. x Dw-	63,6±4,2		73,2±3,4 ^{ac}	
ff x dw-	72,5±3,8		56,5±4,3 ^b	
ff x Dw-	64,3±5,1		64,0±4,2 ^{bc}	
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur				
F. x dw- x W	61,9±4,8		84,0±3,8	
F. x dw- x K	77,4±3,9		80,7±4,2	
ff x dw- x W	62,1±6,2		45,4±6,5	
ff x dw- x K	80,9±4,2		67,0±5,2	
F. x Dw- x W	58,3±6,7		70,2±4,6	
F. x Dw- x K	68,7±4,5		76,0±4,7	
ff x Dw- x W	54,4±9,7		52,5±7,0	
ff x Dw- x K	73,1±4,2		74,3±4,5	

¹⁾Die Prüfhennen sind im Merkmal Lockenfiedrigkeit im Versuchsdurchgang I heterozygot (Ff) und in Versuchsdurchgang II homozygot (FF); ²⁾ Transformierte Mittelwerte und Standardfehler; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); W=Warmstall ; K=Kontrollstall ; Anzahl der Bruteier: Vers. I: N=8164 und Vers. II: N=13695.

Ferner ist in der zweiten Versuchsreihe die Interaktion zwischen den beiden Genen signifikant mit Vorteilen für die Kombination zwischen Lockengenotyp (*FF*) und Zwerggenotyp (*dw*-). Dabei weisen die verzweigten Lockenhennen (*FFdw*-) die höchsten Befruchtungsergebnisse auf und die normalfiedrigen Zwerge (*ffdw*-) die niedrigsten. In einem weiteren Modell sind die Fertilitätsdaten unter Berücksichtigung der relevanten Kovariablen analysiert (ANCOVA), um die möglichen Wechselwirkungen zwischen den Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen und den jeweiligen Kovariablen aufzuzeigen. Als Kovariable sind Besamungsdauer, Gewicht der Henne, Alter der Henne und das Eigewicht in das Modell aufgenommen. Das Ausgangsmodell für die Auswahl der Struktur der Kovarianzmatrix ist tabellarisch in Form der SAS Syntax in Anhang 2 dargestellt.

Dabei werden die Einflussfaktoren Hennenfederstruktur und Hennenkörpergrößentyp in einem Kombinationstyp als Hennengenotyp zusammengefasst ins Modell aufgenommen, da eine differenzierte Berücksichtigung der beiden Einflussfaktoren zu einer sehr hohen Anzahl von Faktoren und Faktorkombinationen mit sehr hohem Rechenaufwand führt

Da das Verzweigungsgen eine klare Gewichts differenzierung bewirkt, wurde die Wechselwirkung zwischen dem Hauptfaktor Hennengenotyp und der Kovariablen Hennengewicht nicht ins Gesamtmodell aufgenommen. Die Ergebnisse der Haupt- und Kovariablen sind nach der Selektion der nicht signifikanten Effekte für das reduzierte Modell in der Tabelle 4.21 wiedergegeben.

Um die mögliche Form der Regressionskurven (linear oder polynomial) zu ermitteln, ist zunächst die Aufnahme der Kovariablen bzw. der Wechselwirkungen der Kovariablen mit den Faktoren und Faktorkombinationen in linearer bzw. polynomialer Form in das Modell notwendig.

Bei fehlender Signifikanz eines Effektes wurde das Modell von hoher zu niedriger Potenz reduziert, wobei die Anwendung des Typ-I-SQ Testes notwendig war, welcher eine sequentielle Analyse der Potenz der Kovariablen sowie deren Interaktionen mit Hauptwirkungen erlaubte. Allerdings macht die Anwendung der Typ-I-SQ-Analyse die Betrachtung mehrerer Modellsequenzen notwendig (Tabelle 4.21). Da die einzelnen Kovariablen miteinander korreliert sind, sind sie in ihrer Wirkung auf die Fertilität vermenget. Bei den hier analysierten Daten (beispielfür Hennen der Vaterzuchtlinie) liegt der Korrelationskoeffizient zwischen Alter der Hennen und Eigewicht bei 0,3 und zwischen Alter und Gewicht der Hennen bei 0,06 sowie zwischen Gewicht der Henne und Eigewicht bei 0,1.

Wie aus Tabelle 4.21 ersichtlich wird, wirken die Kovariablen Befruchtungsdauer, Hennenalter und Eigewicht bis zu einem höheren Polynom unabhängig voneinander signifikant auf das Merkmal Fertilität. Dementsprechend weisen die Regressionen einen kurvilinearen Verlauf auf.

Tab. 4.21: Varianztabelle für die Fertilität mit Berücksichtigung von Befruchtungsdauer, Alter der Henne und Eigewicht bei maternaler Linie (MZL)
ANOVA table for fertility with duration of fertility, age of hen and egg weight as covariates (MZL)

Varianzursache	SQ-Typ-I	P-Wert	SQ-Typ-III	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Hahnengenotyp	0,00	≤0,9491	0,66	≤0,4162
Hennengenotyp	10,90	≤0,0001	3,11	≤0,0261
Umwelttemperatur	13,20	≤0,0003	0,81	≤0,3686
Befruchtungsdauer (B)	3,39	≤0,0656	20,82	≤0,0001
Alter der Henne (A)	10,40	≤0,0013	23,00	≤0,0001
Eigewicht (E)	19,50	≤0,0001	0,46	≤0,4961
B ²	87,40	≤0,0001	20,00	≤0,0001
A ²	2,11	≤0,1463	21,20	≤0,0001
E ²	5,64	≤0,0177	5,64	≤0,0177
B ³	2,20	≤0,1337	17,37	≤0,0001
A ³	12,92	≤0,0003	16,00	≤0,0001
B ⁴	23,70	≤0,0001	14,72	≤0,0001
A ⁴	9,35	≤0,0022	11,71	≤0,0006
B ⁵	11,70	≤0,0006	12,56	≤0,0004
Hahnengenotyp x Hennengenotyp	0,57	≤0,6380	0,45	≤0,7168
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur	4,25	≤0,0398	2,73	≤0,0990
Hennengenotyp x Umwelttemperatur	3,81	≤0,0104	1,11	≤0,3441
A x Umwelttemperatur	2,70	≤0,1005	4,33	≤0,0377
A ² x Umwelttemperatur	4,13	≤0,0424	1,39	≤0,2386
A x Hennengenotyp x Umwelttemperatur	1,81	≤0,0939	1,85	≤0,0865
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur	0,10	≤0,9582	0,10	≤0,9582
e1=serielle Korrelation (exp)	0,4826	e2=serielle Korrelation(exp)	0,4635	

Es besteht unter beiden Umwelttemperaturen keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Kovariablen Befruchtungsdauer und den Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen, so dass die Regressionspolynome für alle Genotypen einen parallelen Verlauf aufweisen. Folglich ist ein wärmebedingter schneller Rückgang der Befruchtungsrate während der postinseminatorischen Periode von sieben Tagen nicht festzustellen (Abb. 4.10). Der Befruchtungserfolg nimmt in der Zeitperiode nach der Insemination bei allen Genotypen

zunächst zu, erreicht ein Maximum um den 3. bzw. 4. Tag nach der Besamung und nimmt dann kontinuierlich wieder ab. Dabei ist die Fertilität bei wärmegestrebten Hennen des normalen Befiederungstyps über die gesamte Zeitspanne deutlich reduziert.

Die Befruchtungsrate nimmt mit zunehmendem Eigewicht kurvilinear zu. Der Grund ist hauptsächlich darin zu sehen, dass ein großer Anteil von relativ kleinen Bruteiern von wärmegestrebten normalfiedrigen Hennen, die insgesamt eine reduzierte Fertilität aufweisen, stammt (s. Kapitel 5).

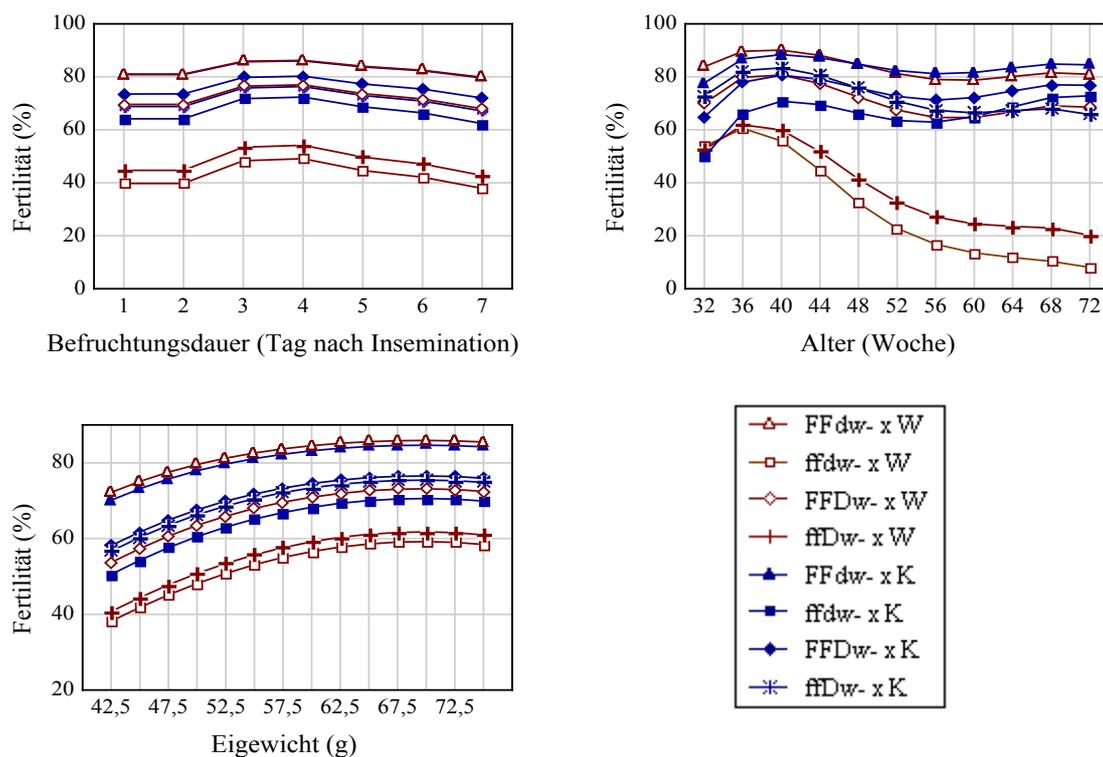


Abb. 4.10: Die Befruchtungsrate (Fertilität) in Abhängigkeit von Befruchtungsdauer, Hennenalter und Eigewicht (MZL)

Fertility as a function of time after insemination, hen age and egg weight (MZL)

Es besteht eine deutliche Wechselwirkung zwischen dem Alter der Hennen und der Umwelttemperatur sowie eine tendenzielle dreifache Wechselwirkung zwischen Hennengenotyp, Umwelttemperatur und Hennenalter. Während unter gemäßigten Umwelttemperaturen mit zunehmendem Alter keine wesentlichen Unterschiede im Verlauf der Befruchtungsergebnisse bei den unterschiedlichen Genotypen festzustellen sind, weist der

Verlauf der Fertilität der Bruteier von Hennen unterschiedlicher Federstruktur mit zunehmendem Alter einen deutlichen Unterschied auf.

Unter den Bedingungen der Kontrollumwelt nimmt die Befruchtungsrates mit zunehmendem Alter der Hennen aller Genotypen zunächst zu und erreicht ein Maximum um die 40. Lebenswoche. Ab der 40. Lebenswoche nimmt die Befruchtungsrates allmählich bis zur 56. bis 60. Lebenswoche wieder ab und ab der 60. Lebenswoche nimmt die Befruchtungsrates bis zum Ende der Versuchsreihe wieder leicht zu. Unter dem Temperaturstress weisen die Befruchtungsergebnisse der homozygoten Lockenhennen eine ähnliche Verlaufsform auf, wie die von Vergleichshennen in der Kontrollumwelt. Demgegenüber nimmt die Fertilität der wärmebelasteten normalfiedrigen Hennen zunächst ähnlich wie bei den Lockenhennen zu, nach Erreichen eines Maximums nimmt der Befruchtungserfolg jedoch mit wesentlich höheren Raten bis zur 60. Lebenswoche rapide ab und bleibt von der 60. Lebenswoche an auf niedrigem Niveau konstant. Während unter gemäßigten Umwelttemperaturen mit zunehmendem Alter keine wesentlichen Unterschiede im Verlauf der Fertilität bei den unterschiedlichen Genotypen bestehen, weist ihr Verlauf bei Bruteiern von Hennen mit unterschiedlicher Federstruktur mit zunehmendem Alter einen deutlichen Unterschied auf.

Für Hennen der Vaterzuchtlinie sind die Kriterien für die Auswahl des Modells bzw. der Struktur der Kovarianzmatrix in Anhang 3 aufgelistet. Wie aus Anhang 3 hervorgeht, weisen die Kriterien der Modellanpassung Akaike (ACI), Schwarzbyesian (SB), und Minus Log Log Likelihood (-2LLG) (Fit Statistic) für eine sphärische Kovarianzstruktur und ohne Modellierung der zufälligen Abweichung der Einzeltiere vom Mittelwert der Faktoren oder Faktorkombinationen die höchsten Werte für das Grundmodell auf. Dementsprechend wurde das in Anhang 3 unterstrichene Modell 1 zur Analyse der Fertilitätsdaten ausgewählt.

In der Tabelle 4.22 sind die varianzanalytischen Ergebnisse der Fertilitätsdaten wiedergegeben. Wie daraus hervorgeht, lässt sich neben einer schwach signifikanten Wirkung der Umwelttemperatur eine hochsignifikante Einflussnahme des Hauptfaktors Hennengenotyp auf die Befruchtung sichern. Demgegenüber ist der Effekt des Hahnengenotyps nicht signifikant. Außer einer abgesicherten Wechselwirkung mit einem Signifikanzniveau von $P \leq 0,0288$ zwischen den Hauptfaktoren Umwelttemperatur und Hennengenotyp sind die weiteren Wechselwirkungen nicht signifikant.

Die Befruchtungsrate der Bruteier von normalbefiederten Hennen ist um 14,6 % deutlich niedriger als die der Nackthalschhennen (81,7 % vs. 71,3 %).

Tab. 4.22: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursachen für die Fertilität (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance for fertility (VZL)

Varianzursache	LSQ-Mittelwerte ¹	F-Wert	P-Wert
Hahnengenotyp		0,52	≤0,4701
NaNa	77,7±1,7		
nana	76,0±1,6		
Umwelttemperatur		3,01	≤0,0839
W	74,6±2,1		
K	78,9±1,5		
Hennengenotyp		16,06	≤0,0001
NaNa	81,7±1,4 ^a		
nana	71,3±2,2 ^b		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		0,08	≤0,7732
NaNa x NaNa	82,8±1,2		
NaNa x nana	72,0±4,3		
nana x NaNa	79,8±2,4		
nana x nana	69,7±2,9		
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur		1,96	≤0,1623
NaNa x W	77,8±3,5		
NaNa x K	77,9±2,3		
nana x W	71,0±3,0		
nana x K	78,8±2,3		
Hennengenotyp x Umwelttemperatur		4,83	≤0,0288
NaNa x W	82,2±1,9 ^a		
NaNa x K	81,1±1,2 ^a		
nana x W	65,3±4,1 ^b		
nana x K	76,6±2,2 ^a		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur		0,84	≤0,3591
NaNa x NaNa x W	83,5±2,4		
NaNa x NaNa x K	82,1±2,7		
NaNa x nana x W	70,9±7,6		
NaNa x nana x K	73,1±4,0		
nana x NaNa x W	79,4±3,2		
nana x NaNa x K	80,2±3,4		
nana x nana x W	60,9±5,2		
nana x nana x K	77,3±2,9		
e1= Sphärische serielle Korrelation	0,4571		
e2=Messfehler	0,4922		

¹)Transformierte Mittelwerte und Standardfehler; Anzahl der Bruteier N=9879; Anzahl der Hennen N= 160 ; W=Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05).

Dies ist hauptsächlich darin begründet, dass unter der Temperaturbelastung der Befruchtungserfolg der Bruteier von normalbefiederten Hennen im Vergleich zu den

Bruteiern von Nackthalschhenen deutlich reduziert ist (82,2 % vs. 65,3 %). Auch unter den gemäßigten Umwelttemperaturen führt das Nackthalsgen zu einer Verbesserung der Befruchtungsrate, jedoch ist die Differenz von 4,5 % zwischen den Fertilitätsergebnissen der beiden Genotypen statistisch nicht signifikant.

Tab. 4.23: Fertilität nach Hahnen- und Hennengenotyp und Umwelttemperatur mit Berücksichtigung von Befruchtungsdauer, Gewicht der Henne, Alter der Henne und Eigewicht (VZL)
The effect of male and female genotype, ambient temperature, egg weight, hen body weight, time after insemination and age on fertility (VZL)

Varianzursache	Typ-I-SQ	P-Wert	Typ-III-SQ	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Hahnen-genotyp	0,50	≤0,4773	0,80	≤0,3500
Hennengenotyp	10,90	≤0,0010	0,00	≤0,9680
Umwelttemperatur	0,10	≤0,7960	2,20	≤0,1356
Befruchtungsdauer (B)	1,10	≤0,2991	77,70	≤0,0001
Gewicht der Henne (W)	5,40	≤0,0205	6,40	≤0,1114
Alter der Henne (A)	35,60	≤0,0001	16,30	≤0,0001
Eigewicht (E)	51,00	≤0,0001	11,50	≤0,0007
B ²	38,10	≤0,0001	71,50	≤0,0001
W ²	18,40	≤0,0001	7,40	≤0,0067
A ²	0,10	≤0,7910	13,70	≤0,0002
E ²	19,90	≤0,0001	7,40	≤0,0064
B ³	7,10	≤0,0079	60,90	≤0,0001
W ³	6,90	≤0,0090	8,40	≤0,0037
A ³	25,90	≤0,0001	9,90	≤0,0016
B ⁴	62,50	≤0,0001	50,10	≤0,0001
A ⁴	6,80	≤0,0090	7,10	≤0,0070
B ⁵	41,40	≤0,0001	42,8	≤0,0001
Hennengenotyp x Umwelttemperatur x A	3,70	≤0,0111	1,66	≤0,1752
Hahnen-genotyp x Hennengenotyp	2,10	≤0,1488	0,05	≤0,8300
Hahnen-genotyp x Umwelttemperatur	0,85	≤0,3575	0,10	≤0,7635
Hennengenotyp x Umwelttemperatur	0,27	≤0,6012	0,45	≤0,5019
Hahnen-genotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur	6,31	≤0,0121	6,30	≤0,0121

In einem weiteren Modell wurden, wie bereits bei der mittelschweren Broiler-Mutterlinie beschrieben, die Einflüsse der Kovariablen Besamungsdauer, Hennengewicht, Hennenalter und Eigewicht auf das Merkmal Fertilität analysiert. Das Ausgangsmodell für die Auswahl der Kovarianzmatrixstruktur ist in Form der SAS Syntax im Anhang 4 dargestellt.

Die Ergebnisse der Hauptfaktoren und Kovariablen sind für das reduzierte Modell nach der Selektion der nicht signifikanten Effekte in Tabelle 4.23 ausgewiesen.

Wie aus der Tabelle 4.23 ersichtlich wird, wirken alle im Modell aufgenommenen Kovariablen bis zu einem höheren Polynom unabhängig voneinander signifikant auf das

Merkmal Fertilität. Demzufolge weisen die Regressionen bei allen Kovariablen einen polynomialen Verlauf auf. Zwischen den Kovariablen, den Hauptfaktoren und den Faktorkombinationen sowie zwischen den einzelnen Kovariablen bestehen außer beim Einflußfaktor Hennenalter keine signifikanten Wechselwirkungen. Beispielhaft sind die Regressionskurven für die Hauptfaktoren Hennengenotyp bzw. Hennengenotyp x Umwelttemperatur in Abbildung 4.11 wiedergegeben. Ähnlich wie bei den mittelschweren Hennen der Mutterlinie zeigt der Verlauf der Befruchtungsergebnisse eine hohe Zunahme der Fertilität mit einer maximalen Befruchtungsrate am 3. Tag nach der Insemination und einer anschließenden leichten Abnahme bis zum 7. Tag nach der Insemination.

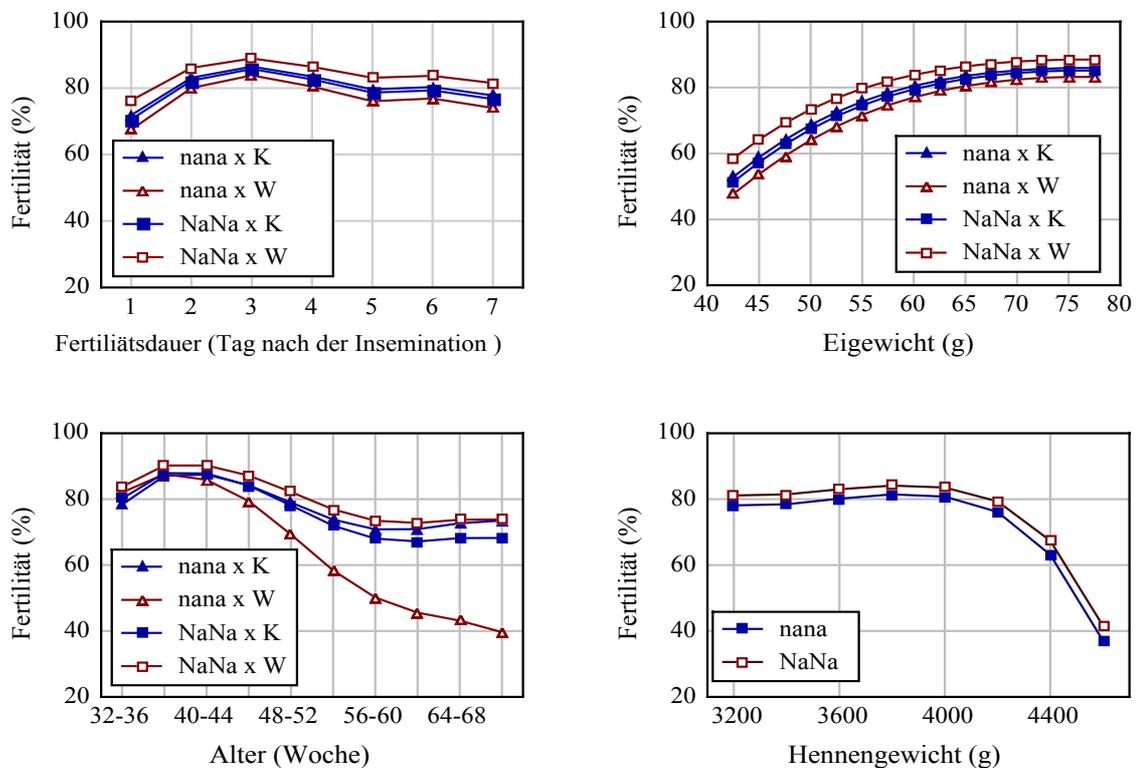


Abb. 4.11: Die Fertilität in Abhängigkeit von der Befruchtungsdauer, Eigewicht, Hennenalter und Hennengewicht (VZL)

Fertility as a function of time after insemination, egg weight, hen age and hen weight (VZL)

Die 7-tägige Zeitspanne zwischen den Inseminationen reicht nicht aus, um einem möglichen schnelleren Rückgang der Befruchtungsergebnisse nach der Insemination bei den

wärmebelasteten normalbefiederten Hennen aufzuzeigen. Es wird aber deutlich, dass bei den wärmebelasteten Hennen eine schnellere Abnahme der Fertilität während der Postinseminationsperiode nicht als alleinige Ursache für eine wärmeinduzierte Reduktion der Fertilität zu sehen ist, sondern dass sich die Fertilität der wärmebelasteten Hennen über die gesamte Inseminationsspanne hin vermindert.

Die Befruchtungsergebnisse nehmen mit zunehmender Eiggröße kurvilinear zu. Dies hängt, wie bereits bei den Hennen der Mutterzuchtlinie beschrieben, zum Teil damit zusammen, dass eine relativ große Anzahl der kleineren Bruteier von wärmebelasteten, normalbefiederten Hennen stammen, die insgesamt eine reduzierte Fertilität aufweisen (Tabelle 4.10). Etwa 75 % der Bruteier, die unter 50 g wiegen, stammen von wärmebelasteten, normalbefiederten Hennen (s. Kapitel Eiqualität). Umgekehrt liegt unter den gemäßigten Umwelttemperaturen das Minimum bei dem Merkmal Eigewicht bei 49 g. Da in niedrigeren Eigewichtsbereichen hauptsächlich Bruteier von wärmebelasteten normalbefiederten Hennen anfallen und in schwereren Gewichtsgebiete Bruteier von nicht wärmebelasteten Hennen, kann dies zum Teil als Ursache dafür gelten, dass die Wechselwirkungen zwischen der Kovariable Eigewicht und den Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen nicht wirksam werden. Eine getrennte Analyse der Fertilitätsdaten für den Hauptfaktor Umwelttemperatur weist unter Kontrollbedingungen ebenfalls eine mit dem Eigewicht gleichzeitig zunehmende Fertilität auf.

Wie aus der Abbildung 4.11 hervorgeht, nimmt zunächst die Befruchtungsrate unter den Bedingungen der Kontrollumwelt, ähnlich wie bei den Hennen der Mutterzuchtlinie, mit zunehmendem Alter zu und erreicht ein Maximum um das 40-Wochenalter, allerdings nimmt die Befruchtungsrate dann ab der 40. Woche kontinuierlich bis zum 60-Wochenalter ab und danach bleibt sie annähernd konstant. Dies hängt wahrscheinlich mit dem Einsetzen der Mauser und der damit verbundenen physiologischen Erholung zusammen. Unter dem Temperaturstress nimmt die Fertilität der wärmebelasteten normalbefiederten Hennen zunächst ähnlich wie bei den Lockenhennen zu, nach Erreichen eines Maximums nimmt der Befruchtungserfolg jedoch mit wesentlich höheren Raten bis zur 72. Lebenswoche rapide ab. Der Einfluss der Hennengewichte auf das Merkmal Fertilität bleibt bis zu einem Hennengewicht von 4 kg zunächst unbedeutend. Erst ab dem Gewicht von 4 kg zeichnet sich eine Abnahme der Fertilität ab.

4.7 Schlupffähigkeit

Entsprechend den Werten der Modellauswahlkriterien wurde das Modell für die Analyse der Schlupfdaten der Mutterzuchtlinie (MZL) für die beiden Versuchsdurchgänge I und II (Anhang 5) ausgewählt.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Schlupffähigkeit der beiden Versuchsdurchgänge sind der Tabelle 4.24 zu entnehmen.

Im Versuchsdurchgang I wird die Schlupfrate lediglich von den Hauptfaktoren Umwelttemperatur und Körpergrößentyp signifikant beeinflusst, wobei der weitaus größte Anteil an Varianz durch die Umwelttemperatur verursacht wird. Dabei reduziert die Temperaturbelastung die Schlupfrate in einer deutlichen Größenordnung von 15 % (85,8 % vs. 70,7 %) (Tabelle 4.25).

Tab. 4.24: Der Einfluss von Hahnen- und Hennenbefiederungstyp (*F*), Hennenkörpergröße (*dw*) und Umwelttemperatur (*U*) auf die Schlupffähigkeit (MZL)
The effect of male and female feathering type (F), body size of female (dw) and environmental temperatures on hatchability (MZL)

Varianzursache	Vers. I		Vers. II	
	SQ-Typ-III F-Wert	P-Wert	SQ-Typ-III F-Wert	P-Wert
Hahngenotyp (H)	0,83	≤0,4353	0,52	≤0,4691
Federstruktur der Henne (F)	0,63	≤0,4295	14,50	≤0,0002
Körpergrößentyp der Henne (K)	7,08	≤0,0083	0,15	≤0,7012
Umwelttemperatur (U)	53,78	≤0,0001	28,80	≤0,0001
H x U	1,78	≤0,1711	1,10	≤0,2938
H x F	0,44	≤0,6432	0,13	≤0,7188
H x K	1,87	≤0,1549	0,00	≤0,9640
F x U	1,24	≤0,2676	27,10	≤0,0001
F x K	1,24	≤0,2659	0,00	≤0,9964
K x U	0,88	≤0,3492	1,22	≤0,2717
H x F x U	1,82	≤0,1254	0,11	≤0,7448
H x F x K	2,15	≤0,1191	0,21	≤0,6471
H x K x U	0,75	≤0,4714	0,78	≤0,3781
F x K x U	0,19	≤0,6634	0,00	≤0,9930
H x F x K x U	0,45	≤0,7655	0,55	≤0,4586
Vers. I: e1= sphärische serielle Korrelation (sph)	0,2011	e2= Messfehler		0,7591
Vers. II: e1= loglineare serielle Korrelation (linl)	0,4884	e2= Messfehler		0,5126

Die Einzüchtung des Verzweigungsgens führt zu einer sichtbaren Verbesserung des Schlupferfolges (83 % vs. 75 %). Diese Differenz ist hauptsächlich auf die besseren Schlupfergebnisse der verzweigten Hennen unter Wärmebelastung zurückzuführen, obgleich

zwischen Körpergrößentyp und Umwelttemperatur keine signifikante Wechselwirkung festzustellen ist.

Tab. 4.25: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Schlupffähigkeit (%) der befruchteten Bruteier (MZL)

LSQ-means and standard errors for hatchability of fertile eggs (MZL)

Effekt	Vers. I ¹		Vers. II ¹	
	LSQ-Mittelwerte ²		LSQ-Mittelwerte ²	
Hahnengenotyp				
FFDwDw	79,1±1,5		79,1±1,3	
ffDwDw	79,8±1,7		80,7±1,3	
FfDwDw	79,1±2,3			
Umwelttemperatur				
W	70,7±2,0 ^a		73,9±1,7 ^a	
K	85,8±1,1 ^b		85,0±1,2 ^b	
Federstruktur der Henne				
F.	78,9±1,5		83,7±1,5 ^b	
ff	79,7±1,5		75,6±1,7 ^a	
Körpergrößentyp der Henne				
dw-	83,0±1,3 ^a		79,6±1,5	
Dw-	75,0±1,7 ^b		80,3±1,4	
Hennenfederstruktur x Umwelttemperatur				
F. x W	70,9±2,5		83,6±1,6 ^a	
F. x K	85,1±1,5		83,7±1,7 ^a	
ff x W	70,6±3,0		60,8±3,2 ^b	
ff x K	86,6±1,4		86,1±1,5 ^a	
Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur				
dw- x W	76,6±2,2		71,9±2,5	
dw- x K	87,9±1,4		85,5±1,6	
Dw- x W	64,0±3,2		75,5±2,4	
Dw- x K	83,5±1,4		84,3±1,6	
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße				
F. x dw-	81,6±1,8		83,4±1,7	
F. x Dw-	75,8±2,3		84,0±1,6	
ff x dw-	84,3±1,9		75,2±2,4	
ff x Dw-	74,2±2,4		76,0±2,4	
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur				
F. x dw- x W	76,5±2,7		82,1±2,3	
F. x dw- x K	85,8±2,1		84,4±2,4	
ff x dw- x W	76,8±3,6		58,8±4,4	
ff x dw- x K	89,8±1,9		86,6±2,2	
F. x Dw- x W	64,5±4,1		85,0±2,2	
F. x Dw- x K	84,3±2,2		83,0±2,5	
ff x Dw- x W	63,5±4,9		62,7±4,7	
ff x Dw- x K	82,6±2,1		85,6±2,1	

¹)Die Prüfhennen sind in der Lockenfiedrigkeit im Versuchsdurchgang I heterozygot (Ff) und im Versuchsdurchgang II homozygot (FF). ²) Transformierte Mittelwerte und Standardfehler; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); W=Warmstall; K=Kontrollstall; Anzahl der Bruteier: Vers. I: N=5799 und Vers. II: N=10183.

Im Hinblick auf die Wirkung des Lockengens auf die Schlupffähigkeit kann weder ein Einfluss des Hahnengenotyps noch ein Einfluss des Hennenbefiederungstyps nachgewiesen werden. Die Schlupfergebnisse sind bei allen drei Hahnengenotypen annähernd gleich und liegen jeweils bei 79,1 % für die homozygoten gelockten Genträger, bei 79,1 % für die heterozygoten Genträger und bei 79,8 % für die normalfiedrigen Hähne.

Da keine signifikante Wechselwirkung zwischen Hennenfederstruktur und Umwelttemperatur besteht und der depressive Effekt der hohen Umwelttemperatur auf die Schlupfergebnisse bei beiden Hennen-Befiederungstypen ähnlich wirksam wird (70,9 % vs. 70,6 %), bleibt unter der Wärmebelastung die Wirkung des Lockengenortes in heterozygoter Form auf die Schlupffähigkeit unbedeutend.

Dagegen besteht unter den Bedingungen des Versuchsdurchgangs II eine hochsignifikante Interaktion zwischen Hennenbefiederungstyp und Umwelttemperatur ($P \leq 0,0001$).

Während unter den hohen Umwelttemperaturen eine deutliche Überlegenheit der homozygoten Lockenhennen gegenüber den normalfiedrigen Hennen zu erkennen ist (83,7 vs. 60,8 %), ist in der Kontrollumwelt die Differenz zwischen den Schlupfergebnissen der beiden Befiederungstypen statistisch nicht signifikant. Im Mittel der beiden Umweltbedingungen sind die Schlupfergebnisse der gelockten Hennen (*FF*) im Vergleich zu den normalfiedrigen Hennen signifikant höher.

Im Gegensatz zur Versuchsreihe I übt die Einzüchtung des Verzweigungsgens in Versuchsreihe II keinen signifikanten Einfluss auf die Schlupffähigkeit aus. Der Schlupferfolg der Bruteier von Zwerg- und normalwüchsigen Hennen ist annähernd gleich und liegt bei ca. 80 Prozent.

Das Merkmal Schlupffähigkeit wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst wie z.B. Eigewicht, Vorbrutlagerungsdauer, Verdunstungsverluste während der Lagerung der Bruteier, Eiqualität, Alter der Henne, Gewicht der Henne, Lagerungs- und Brutbedingungen usw., die in ihrer Wirkung auf die Schlupffähigkeit zum Teil vermengt sind. Um die Einflüsse der für diese Arbeit relevanten Faktoren direkt und insbesondere in Wechselwirkung mit den Hauptfaktoren Hennen-genotyp, Hahnengenotyp und Umwelttemperatur zu analysieren, wurden mit einem weiteren Modell die Einflüsse von Eigewicht, Lagerungsdauer, Verdunstungsverluste bei der Lagerung der Bruteier, Gewicht der Henne und Alter der Henne geprüft. Da die durch das Alter der Henne verursachte Varianz keine systematische

Veränderung der Schlupfrate erkennen ließ, wurde dieser Einflussfaktor nicht mehr im Modell berücksichtigt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die durchgeführten Brutserien während der Versuchsperiode einen größeren Anteil an der Gesamtvarianz verursachen als die durch den Wirkungsfaktor Alter der Henne verursachte Varianz.

Wie bei der Analyse der Fertilitätsdaten beschrieben, wurde auch hier bei der Analyse der Schlupfdaten auf die Aufnahme der Wechselwirkung zwischen der Kovariablen Hennengewicht und dem Hauptfaktor Hennengenotyp in das Modell verzichtet wegen der klaren Gewichts differenzierung der Hennengenotypen durch die Einzüchtung des Verzweigungsgens. Da die Untersuchung der Schalenbeschaffenheit der Bruteier mittels des Deformationstests nicht bei allen Bruteiern vorgenommen wurde, musste die Wirkung der Schalenbeschaffenheit auf die Schlupffähigkeit in einem getrennten Modell analysiert werden. Das ausgewählte Modell für die Analyse der Kovariablen Eigewicht, Lagerungsdauer, Verdunstungsverluste bei der Lagerung der Bruteier und Hennengewicht ist in Anhang 6 dargestellt (s. Kapitel Fertilität).

Tab. 4.26: Varianztabelle für die Schlupffähigkeit mit Berücksichtigung der Kovariablen Eigewicht (E), Lagerungsdauer (D) und Eigewichtsabnahme während der Lagerungsdauer (V) (VZL)
The effect of male and female genotype, ambient temperatures, egg weight, egg storage and egg conduction during storage on hatchability (VZL)

Varianzursache	SQ-Typ-I	P-Wert	SQ-Typ-III	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Hahnengenotyp	0,7	≤0,4270	0,8	≤0,3814
Hennengenotyp	1,0	≤0,3919	2,1	≤0,0989
Umwelttemperatur	16,7	≤0,0001	16,8	≤0,0001
Eigewicht (E)	8,7	≤0,0033	17,9	≤0,0001
Lagerdauer des Eis (D)	7,5	≤0,0062	2,1	≤0,1424
Gewichtsverlust während der Lagerung (V)	1,1	≤0,3016	3,2	≤0,0730
E ²	41,9	≤0,0001	18,6	≤0,0001
D ²	11,3	≤0,0008	0,5	≤0,4772
V ²	16,4	≤0,0001	30,7	≤0,0001
D ³	3,9	≤0,0475	3,8	≤0,0500
D x V	15,9	≤0,0001	14,9	≤0,0001
Hahnengenotyp x Hennengenotyp	0,5	≤0,6776	0,4	≤0,7630
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur	3,7	≤0,0560	1,7	≤0,1841
Hennengenotyp x Umwelttemperatur	5,1	≤0,0022	5,1	≤0,0023
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur	0,4	≤0,7735	0,4	≤0,7735
e1= loglineare serielle Korrelation				0,1577
e2=Messfehler				0,8018

Die varianz-kovarianzanalytischen Ergebnisse der Haupt- und Kovariablen sind für das

reduzierte Modell nach der Selektion der nicht signifikanten Effekte in Tabelle 4.26 wiedergegeben. Wie aus der Tabelle 4.26 hervorgeht, übt der Faktor Hennengewicht direkt bzw. in Interaktion mit anderen Faktoren und Faktorkombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Schlupffähigkeit aus und wurde deshalb im Modell nicht mehr berücksichtigt. Demgegenüber sind die Einflüsse der Kovariablen Eigewicht, Lagerungsdauer und Eigewichtsabnahme während der Lagerung auf das Merkmal Schlupffähigkeit signifikant. Außer der abgesicherten linearen Wechselwirkung zwischen den Kovariablen Lagerungsdauer und Eigewichtsabnahme während der Lagerung sind keine weiteren signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Kovariablen, Faktoren und Faktorkombinationen bzw. zwischen den Kovariablen selbst festzustellen. Demzufolge verlaufen die einzelnen Regressionen für die jeweiligen Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen parallel.

In Abbildung 4.12 ist graphisch der Verlauf der einzelnen Regressionen für die signifikanten Kovariablen beispielhaft für ausgewählte Hauptfaktoren ausgewiesen.

Die Schlupfrate der Bruteier weist in Abhängigkeit vom Eigewicht einen parabelförmigen Verlauf auf. Die Schlupffähigkeit nimmt kurvilinear zu und nach Erreichen eines Maximalwertes, der bei ca. 60 g durchschnittliches Eigewicht liegt, mit zunehmendem Eigewicht wieder ab. Der Einfluss der Lagerungsdauer auf die Schlupffähigkeit spiegelt sich im Verlauf eines Polynoms 3. Grades wieder. Der Verlauf des Schlupferfolgs in Abhängigkeit von der Dauer der Vorbrutslagerung weist nach einer relativ steilen Abnahmerate in den beiden ersten Lagerungstagen eine annähernd lineare leichte Abnahme bis zum 7. Lagerungstag auf. Danach ist wieder ein stärkerer Rückgang der Schlupfrate mit zunehmender Lagerungsdauer zu beobachten. Mit zunehmender Lagerungsdauer nehmen die Gewichte der Bruteier ab und der Verdunstungsgrad zu. Neben dieser Beziehung besteht aber auch eine funktionale Beziehung zwischen der Verdunstungsmenge und der Eischalenbeschaffenheit (Schalendicke, Porenanzahl und Porenweite).

Die Regressionskurve des Schlupferfolgs in Abhängigkeit von der verdunstungsbedingten Eigewichtsabnahme in der Abbildung 4.12 ist daher für eine mittlere Lagerungsdauer von 4,2 Tagen abgebildet. Wie aus der Abbildung 4.12 ersichtlich wird, nimmt die Regressionskurve für die Schlupffähigkeit auf die Schalendurchlässigkeit einen parabelförmigen Verlauf an. Das Polynom 2. Grades zeigt ein Maximum der Schlupfrate bei 0,5 g Verdunstung. Von diesem Maximalwert nimmt die Schlupfrate mit abnehmender Schalendurchlässigkeit wie

auch mit zunehmender Schalendurchlässigkeit kurvilinear ab.

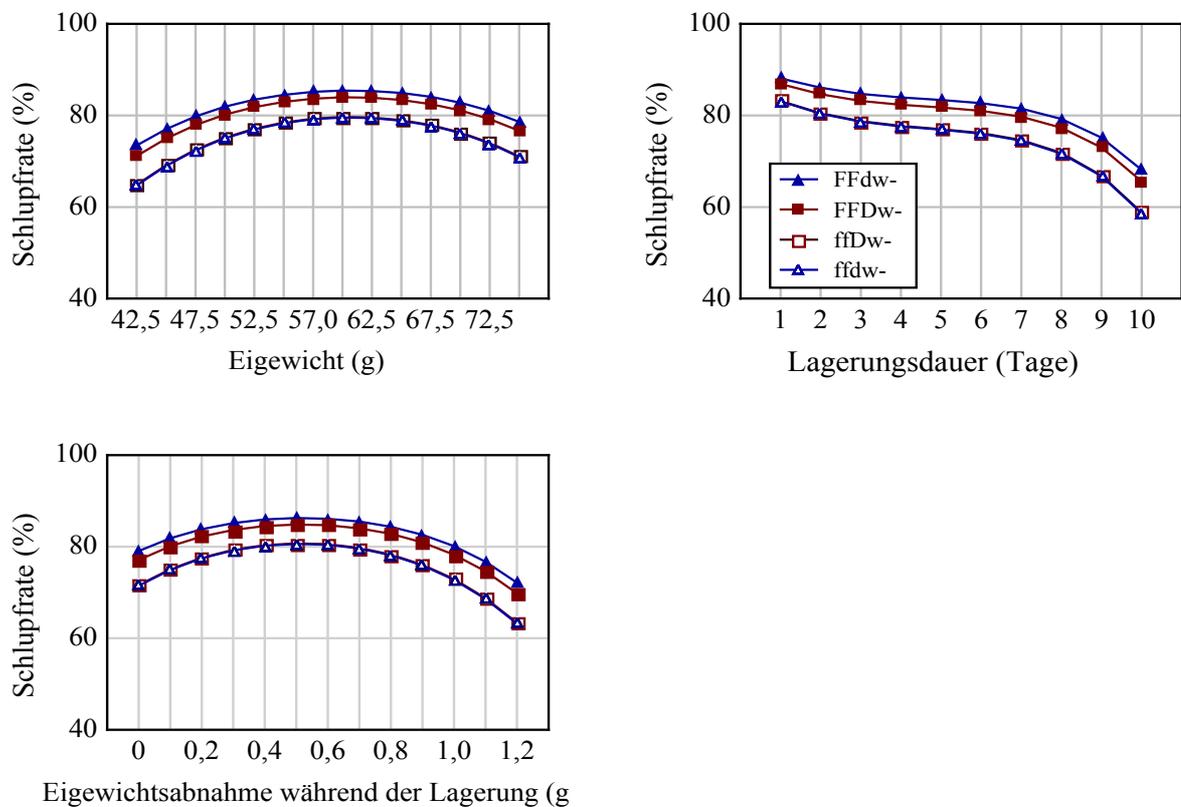


Abb. 4.12: Schlupfrate in Abhängigkeit von Eigewicht, Vorbrutlagerung und Verdunstungsgrad während der Vorbrutlagerung (MZL).

Hatchability as a function of egg weight, storage and egg conduction during storage (MZL)

Bei der Betrachtung der Wirkung der Schalenstabilität auf die Schlupffähigkeit (gemessen mittels Deformationstest) wird ersichtlich, dass die Regression der Schlupfrate in Abhängigkeit von der Schalenstabilität eine ähnliche Verlaufsform aufweist wie die Regression der Schlupfrate in Abhängigkeit von der Verdunstung. Mit abnehmender Schalenstabilität nimmt zunächst die Schlupffähigkeit leicht zu und nach einem Maximalwert, der bei ca. 100 μm liegt, nimmt der Schlupferfolg wieder kontinuierlich mit abnehmender Schalenstabilität ab. Dabei sind keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen und der Eischalenstabilität festzustellen.

Die Betrachtung der beiden Einflussfaktoren als Messgröße zur Beurteilung der Schalenbeschaffenheit lässt die Schlussfolgerung zu, dass sich eine geringe Porosität bzw.

hohe Rigidität der Schale einerseits hemmend auf den respiratorischen Gasaustausch (Wasserdampf, Sauerstoff, Kohlendioxyd) während der Bebrütung auswirkt, andererseits aber eine zu poröse und zu dünne Eischale zu einer erhöhten Verdunstung und Beeinträchtigung des embryonalen Wasserhaushaltes führt. Beide Fälle stellen eine suboptimale Bedingung für die embryonale Atmung und Stoffwechselaktivität dar, was sich schliesslich in einer hohen embryonalen Mortalität dokumentiert.

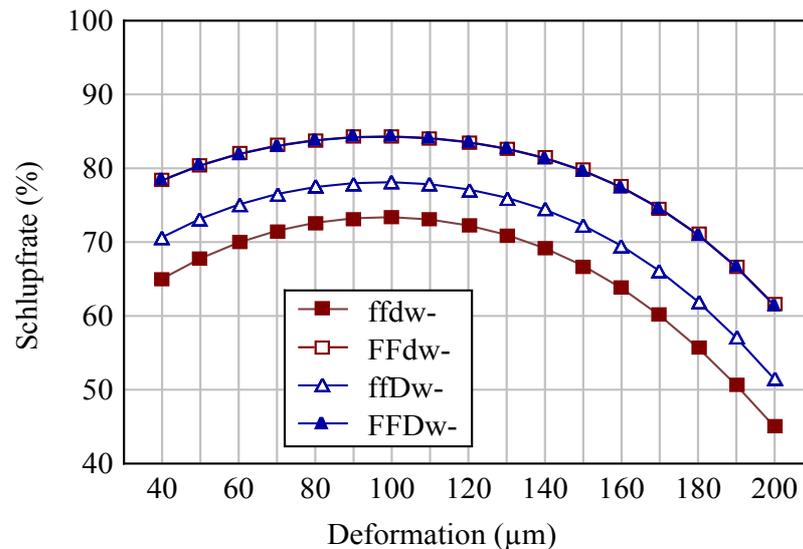


Abb. 4.13: Die Schlupfrate in Abhängigkeit von der Eischalenstabilität (Deformation) (MZL)
Hatchability as a function of egg shell quality measured by deformation of egg shell (MZL)

Entsprechend den Werten für die Kriterien zur Auswahl der Struktur der Kovarianzmatrix für ein Modell ohne Berücksichtigung der Kovariablen für die Analyse der Schlupfdaten der Hennen der Vaterzuchtlinie, ausgewiesen in Form von SAS PROC MIXED, wird eine loglineare Kovarianzmatrixstruktur für ein Modell ohne eine Modellierung der zufälligen Abweichung der Einzeltiere vom Mittelwert der Faktoren oder der Faktorkombinationen zur Analyse der Schlupfdaten ausgewählt (Anhang 7).

Die varianzanalytischen Ergebnisse der Wirkungen des Nackthalsgens und der Umwelttemperatur bei den Hennen der Vaterzuchtlinie (VZL) sind in der Tabelle 4.27 wiedergegeben. Wie aus der Tabelle 4.27 hervorgeht, lässt sich neben den gesicherten Wirkungen der Hauptfaktoren auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Hennengenotyp und der Umwelttemperatur auf den Schlupf der befruchteten Bruteier

nachweisen. Außer einer tendenziell signifikanten Hahnengenotyp x Hennengenotyp - Interaktion haben die weiteren im Modell aufgenommenen Faktorkombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Schlupffähigkeit.

Tab. 4.27: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwertes und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal Schlupffähigkeit der befruchteten Bruteier (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance of source of variation for hatchability of fertile eggs (VZL)

Varianzursache	LSQ-Mittelwerte (%) ¹	F-Wert	P-Wert
Hahnengenotyp		9,30	≤0,0024
NaNa	60,9±2,3 ^a		
nana	68,7±1,7 ^b		
Umwelttemperatur		11,53	≤0,0009
W	59,1±2,6 ^a		
K	70,2±1,9 ^b		
Hennengenotyp		5,12	≤0,0251
NaNa	61,1±1,9 ^a		
nana	68,5±2,5 ^b		
Hennengenotyp x Umwelttemperatur		7,92	≤0,0055
NaNa x W	60,1±2,5 ^a		
NaNa x K	62,1±2,7 ^a		
nana x W	58,2±4,6 ^a		
nana x K	77,2±2,5 ^b		
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur		0,02	≤0,8922
NaNa x W	54,7±4,0		
NaNa x K	66,7±2,5		
nana x W	63,4±2,8		
nana x K	73,5±2,1		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		2,04	≤0,1538
NaNa x NaNa	55,0±2,0		
NaNa x nana	66,5±4,0		
nana x NaNa	66,9±2,3		
nana x nana	70,4±2,6		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur		0,03	≤0,8716
NaNa x NaNa x W	53,5±2,8		
NaNa x NaNa x K	56,4±3,0		
NaNa x nana x W	56,0±7,6		
NaNa x nana x K	75,5±3,4		
nana x NaNa x W	66,3±3,1		
nana x NaNa x K	67,4±3,2		
nana x nana x W	60,4±4,7		
nana x nana x K	78,8±2,7		
e1=loglineare serielle Korrelation			0,1687
e2=Messfehler			0,8266

1) Transformierte Mittelwerte und Standardfehler; W=Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); Anzahl der Bruteier $N=8231$; Anzahl der Hennen $N=160$.

Die Einzüchtung des Nackthalsgens in heterozygoter Form führt unabhängig der Eltern zu einer signifikanten Reduktion der Schlupffähigkeit von annähernd 8 Prozent.

Vergleicht man bei den unter den gemäßigten Umwelttemperaturen produzierten Bruteiern den Schlupferfolg homozygot-nackthalsiger Küken mit dem der normalbefiederten, wird ersichtlich, dass die Nackthals-Embryonen eine um mehr als 22 % verringerte Schlupffähigkeit aufweisen (78,8 % vs. 56,4 %). Obgleich keine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Elterngenotypen besteht ($P \leq 0,1538$), scheint es, dass die Besetzung des Genortes mit dem *Na*-Gen in homozygoter Form über den additiven Effekt der beiden Allele hinaus die Schlupffähigkeit beeinträchtigt.

Im Hinblick auf die Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die Schlupffähigkeit besteht ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Hennengenotypen. Während die Wärmebelastung bei normalbefiederten Hennen zu einer deutlichen Reduktion der Schlupfrate um 24 % führt (77,2 % vs. 58,2 %), bestehen kaum Unterschiede bei den Schlupfergebnissen der Bruteier von wärmegestrebten und nicht wärmebelasteten Nackthalshennen.

Demzufolge mindert die Einkreuzung des Nackthalsgens unter Wärmestress die depressive Wirkung der hohen Temperaturen auf die Schlupffähigkeit, so dass trotz des negativ wirkenden Effektes des *Na*-Gens auf die Schlupffähigkeit insgesamt eine (positive) kompensatorische Wirkung auf die Schlupffähigkeit unter den hohen Umwelttemperaturen besteht. Von daher ist die Schlupfrate bei der Anpaarung von normalbefiederten Hähnen mit Nackthalshennen sogar höher als der Schlupf der Bruteier aus der Anpaarung der normalbefiederten Elternpaare (66,3 % vs. 60,4 %).

Wie bereits bei den mittelschweren Muttertieren beschrieben, wurden bei Zuchttieren der Vaterzuchtlinie ebenfalls die Effekte der relevanten Wirkungsfaktoren Eigewicht, Lagerungsdauer, Verdunstungsverluste bei der Lagerung der Bruteier und Hennengewicht kovarianzanalytisch in Wechselwirkung mit den Hauptfaktoren und Faktorkombinationen auf die Schlupffähigkeit geprüft. Da der Einflussfaktor Alter der Henne keine systematische Wirkung auf die Schlupffähigkeit ausübt, wie auch bereits bei der Mutterzuchtlinie festgestellt wurde, wurde der Faktor Alter der Hennen nicht in das Modell aufgenommen.

Da die Untersuchung der Schalenbeschaffenheit der Bruteier mittels des Deformationstests nicht bei allen Bruteiern vorgenommen werden konnte, wurde die Wirkung der

Schalenbeschaffenheit auf die Schlupffähigkeit, wie auch bei der Mutterzuchtlinie in einem getrennten Modell analysiert.

Das gewählte Modell für die Analyse der Kovariablen Eigewicht, Lagerungsdauer, Verdunstungsverluste bei der Lagerung der Bruteier und Hennengewicht ist in Anhang 8 beschrieben.

Die Ergebnisse der Haupt- und Kovariablen sind für das reduzierte Modell nach der Selektion der nicht signifikanten Effekte in Tabelle 4.28 ausgewiesen (s. Kapitel Fertilität). Wie aus der Tabelle 4.28 hervorgeht, wirken alle in das Modell aufgenommenen Kovariablen unabhängig von einander signifikant auf das Merkmal Schlupffähigkeit. Während bei den Kovariablen Hennengewicht und Eigewicht eine lineare Wechselwirkung mit dem Hauptfaktor Umwelttemperatur festzustellen ist, lassen sich bei den Kovariablen Lagerungsdauer und Gewichtsabnahme während der Lagerung keine signifikanten Wechselwirkungen mit den Hauptfaktoren bzw. Faktorkombinationen absichern.

Tab. 4.28: Schlupffähigkeit für Hahnen- und Hennengenotyp und Umwelttemperaturen mit Berücksichtigung der Kovariablen Hennengewicht (G), Eigewicht (E), Lagerungsdauer (D) und Gewichtsverlust während der Lagerungsdauer (V) (VZL)

The effect of male and female genotype, ambient temperatures, egg weight, hen body weight, egg storage and egg conduction during storage on hatchability (VZL)

Varianzursache*	SQ-Typ-I	P-Wert	SQ-Typ-III	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Hahnenotyp	38,3	≤0,0001	12,6	≤0,0004
Hennengenotyp	13,4	≤0,0004	4,8	≤0,0283
Umwelttemperatur	2,9	≤0,0893	9,7	≤0,0019
Hennengewicht (G)	0,3	≤0,5433	1,2	≤0,2656
Eigewicht (E)	8,5	≤0,0036	33,0	≤0,0001
Lagerungsdauer (D)	7,7	≤0,0053	26,1	≤0,0001
Eigewichtsverlust während der Lagerung (V)	4,6	≤0,0317	29,7	≤0,0001
E ²	26,3	≤0,0001	31,7	≤0,0001
V ²	22,2	≤0,0001	25,3	≤0,0001
Umwelttemperatur x G	10,3	≤0,0016	7,5	≤0,0069
Umwelttemperatur x E	4,5	≤0,0314	5,4	≤0,0200
Hahnenotyp x Hennengenotyp	1,5	≤0,2204	0,6	≤0,4316
Hahnenotyp x Umwelttemperatur	0,1	≤0,7214	0,5	≤0,4676
Hennengenotyp x Stall	1,8	≤0,1828	1,8	≤0,1776
Hahnenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur	0,1	≤0,7746	0,1	≤0,7746

e1= loglineare serielle Korrelation 0,1076 e2=Messfehler 0,8194

In Abbildung 4.14 ist graphisch der Verlauf der einzelnen Regressionen für die signifikanten Kovariablen beispielhaft für ausgewählte Hauptfaktoren dargestellt.

Wie schon bei der Mutterzuchtlinie dargestellt, weisen die Schlupfergebnisse in Abhängigkeit vom Eigewicht einen parabelförmigen Verlauf auf. Allerdings zeigen aufgrund der signifikanten Wechselwirkung zwischen den Faktoren Umwelttemperatur und Eigewicht die Polynome 2. Grades für die beiden Faktorstufen der Umwelttemperatur unterschiedliche Verlaufsformen. Sowohl in warmer Umwelt- als auch unter Kontrollbedingungen ist zunächst eine Zunahme der Schlupfrate mit zunehmendem Eigewicht zu beobachten.

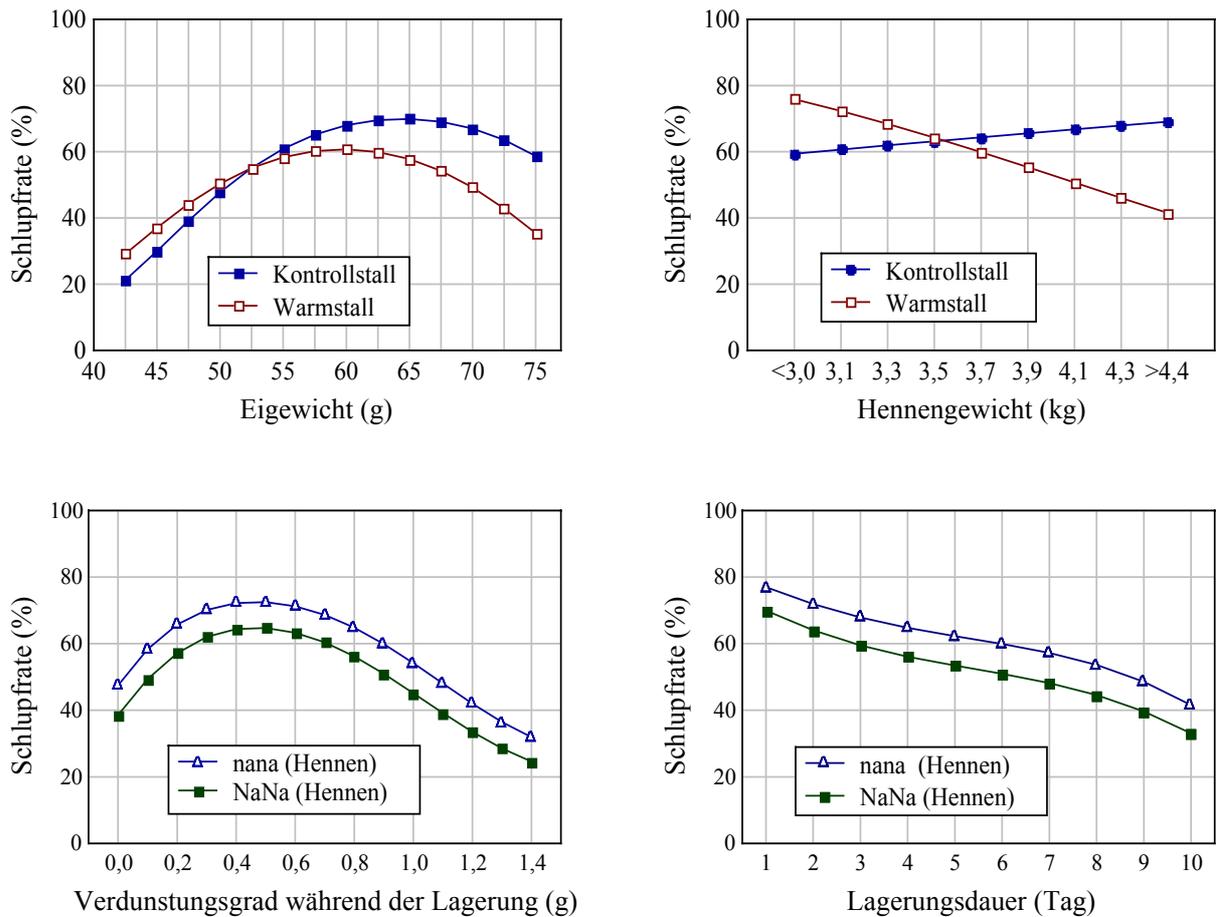


Abb. 4.14: Schlupfrate in Abhängigkeit von Eigewicht, Hennengewicht, Vorbrutlagerung und Verdunstungsgrad während der Vorbrutlagerung (VZL).

Hatchability as a function of egg weight, body weight, storage and egg conduction during storage (VZL)

Nach Erreichen eines maximalen Schlupfergebnisses bei einem durchschnittlichen Eigewicht von 60 g im Warmstall und 65 g im Kontrollstall nimmt die Schlupfrate mit zunehmendem Eigewicht wieder ab. Dabei ist unter den Warmstallbedingungen eine stärkere Abnahmerate

der Schlupfergebnisse zu verzeichnen als unter den Bedingungen des Kontrollstalls. Der Einfluss des Hennengewichts auf den Schlupferfolg weist einen linearen Verlauf auf. Allerdings nimmt die Schlupfrate, bedingt durch die signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Hennengewicht und der Umwelttemperatur, unter der Temperaturbelastung mit zunehmendem Gewicht der Hennen linear ab, unter den gemäßigten Umwelttemperaturen linear leicht zu. Während mit zunehmender Lagerungsdauer eine annähernd lineare Abnahme der Schlupffähigkeit zu beobachten ist, besteht zwischen Schlupf der befruchteten Bruteier und Eigewichtsverlust während der Lagerungsperiode eine kurvilineare Beziehung.

Wie bereits bei den Elterntieren der Mutterzuchtlinie erläutert, wird der Einfluss der Verdunstungsmenge in der Vorbrutperiode auf die Schlupffähigkeit graphisch für eine mittlere Lagerungsdauer von 4,2 Tagen abgebildet. Der parabelförmige Kurvenverlauf zeigt zunächst eine steile Zunahme der Schlupffähigkeit mit zunehmender Verdunstungsmenge (Schalendurchlässigkeit). Nach einem Maximum des Schlupferfolgs, das bei 0,5 g Verdunstung liegt, wie vorher auch bei den Elterntieren der Mutterzuchtlinie festgestellt wurde, führt die zunehmende Schalendurchlässigkeit zu einer flach verlaufenden Abnahme der Schlupfrate.

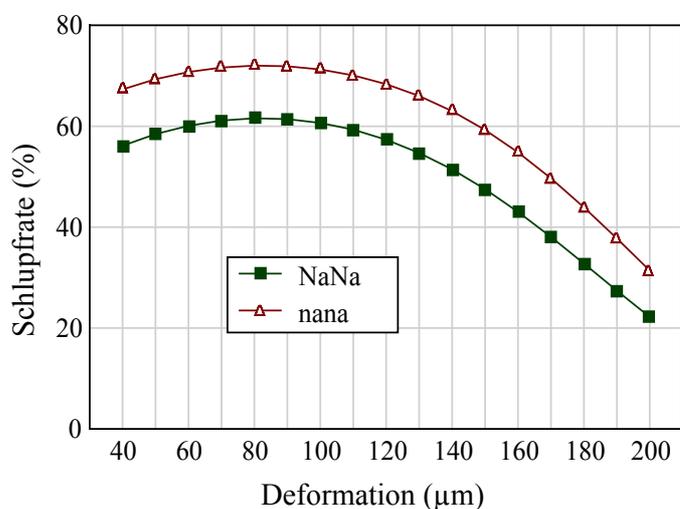


Abb. 4.15: Die Schlupfrate in Abhängigkeit von der Eischalenstabilität (Deformation), (VZL)
Hatchability as a function of egg shell quality measured by deformation of egg shell (VZL)

Im Hinblick auf den Einfluss der Schalenstabilität auf die Schlupffähigkeit kann ebenfalls, wie bereits bei mittelschweren Elterntieren (MZL) festgestellt wurde, eine parabelförmige

Verlaufsform der Regression aufgezeigt werden (Abb. 4.15). Dabei ergeben sich keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen der Schalenstabilität und den Hauptfaktoren oder deren Kombinationen.

Von grundsätzlichem Interesse ist auch bei der Vaterzuchtlinie die Tatsache, dass, wie bei mittelschweren Tieren der Mutterzuchtlinie beschrieben, sowohl eine geringere wie auch eine höhere Schalendurchlässigkeit zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Schlupffähigkeit führt.

4.8 Embryonale Entwicklung

4.8.1 Embryonale Stellung im Ei

Für die zunächst analysierte Mutterzuchtlinie wurden die entsprechenden varianzanalytischen Ergebnisse sowie die LSQ-Mittelwerte der Einflussfaktoren für alle Modelle in den Tabellen 4.29 und 4.30 wiedergegeben. Während 42 % der insgesamt abgestorbenen Embryonen in einer normalen embryonalen Stellung liegen, weisen die restlichen 58 % in der Häufigkeit sehr unterschiedliche Fehlstellungen auf. Mit 27,8 % an der Gesamtanzahl abgestorbener Embryonen stellt die Fehlstellung II die häufigste Fehlstellung dar.

Tab. 4.29: F-Werte und Signifikanzen für die embryonale Stellung im Ei (MZL)
F-values and levels of significance for embryonic position in hatching eggs (MZL)

Varianzursache	Normal	Embryonale Fehlstellung						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Hahnengenotyp								
F-Wert	2,59	2,90	0,99	0,02	1,6	1,8	1,7	4,9
P-Wert	≤0,1087	≤0,0870	≤0,3214	≤0,8828	≤0,1992	≤0,1794	≤0,1896	≤0,0268
Federstruktur (Henne)								
F-Wert	0,68	0,25	0,54	12,0	1,95	2,1	0,27	3,8
P-Wert	≤0,1026	≤0,62,6	≤0,4635	≤0,0006	≤0,1633	≤0,1433	≤0,6333	≤0,0540
Körpergröße (Henne)								
F-Wert	0,10	0,95	0,27	4,5	1,40	1,5	4,0	4,2
P-Wert	≤0,7506	≤0,3310	≤0,6007	≤0,0347	≤0,2376	≤0,2140	≤0,0566	≤0,0411
Umwelttemperatur								
F-Wert	0,27	2,24	0,10	1,24	0,05	0,12	0,03	2,87
P-Wert	≤0,6013	≤0,1351	≤0,7560	≤0,2658	≤0,8155	≤0,7264	≤0,8588	≤0,0914
Hahnengenotyp x Federstruktur								
F-Wert	3,23	0,37	2,24	0,60	0,26	0,19	0,16	0,6
P-Wert	≤0,0723	≤0,5443	≤0,1365	≤0,4389	≤0,6080	≤0,6610	≤0,6890	≤0,4358

Der prozentuale Anteil der Fehlstellungen I, III, IV, V, VI und VII an den gesamt abgestorbenen Embryonen beträgt jeweils 3,8 %, 8,0 %, 7,5 %, 1,9 %, 4,8 % und 4,1 %.

Im Hinblick auf die Wirkung der untersuchten Einflussfaktoren auf die embryonale Fehlstellung führt die erhöhte Umwelttemperatur weder alleine noch in Kombination mit anderen Faktoren zu einem signifikanten Einfluss auf die Position des Embryos im Ei (Tabelle 4.29).

Tab. 4.30: LSQ-Mittelwerte für das Merkmal embryonale Stellung im Ei (MZL)
LSQ-means for embryonic position in hatching eggs (MZL)

Varianzursache	Stellung des Embryos im Ei (%)							
	Normal	Fehlstellungen						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Hahnengenotyp								
FFDwDw	39,1	11,6	42,9	12,1	4,7	4,7	10,6	10,3
ffDwDw	46,1	5,7	37,6	11,9	1,8	1,8	6,5	3,6
Federstruktur der Henne								
FF	38,9	9,1	42,4	22,2	4,9	4,9	7,6	9,8
ff	46,3	7,3	38,2	6,4	1,8	1,7	9,3	3,8
Körpergrößentyp der Henne								
dw-	41,8	6,7	41,6	16,7	2,0	2,1	5,7	9,1
Dw-	43,2	9,9	39,0	8,8	4,2	4,3	12,3	9,8
Umwelttemperatur								
W	41,3	6,0	41,6	14,0	3,2	3,0	8,7	8,7
K	43,7	11,0	38,9	10,3	2,7	2,6	8,1	4,3
Hahnengenotyp x Federstruktur der Henne								
FFDwDw x FF	39,2	9,2	41,7	20,6	6,4	6,7	10,6	13,5
FFDwDw x ff	38,9	14,5	44,9	7,6	3,4	3,3	11,2	7,8
ffDwDw x FF	38,4	5,7	43,7	24,4	3,7	3,6	5,3	7,0
ffDwDw x ff	53,9	5,3	31,9	5,3	1,0	0,9	7,8	1,8
		In die jeweilige Analyse eingehende Anzahl der Bruteier						
	303	332*	505*	362*	358*	318*	339*	333*
	Anteil (%) der Normal- bzw. Fehlstellungen an in die jeweilige Analyse eingehenden Bruteiern							
	42,0	8,4	39,8	16,0	15,1	4,4	10,3	10,5
	Anteil (%) der Normal- bzw. Fehlstellungen an der Gesamtanzahl der abgestorbenen Bruteier							
	42,0	3,8	27,8	8,0	7,5	1,9	4,8	4,1

Gesamtzahl Bruteier $N=723$; *Anzahl Normal- +Fehlstellungen; W=Warmstall; K=Kontrollstall;

Die Einzüchtung des Verzweigungsgens übt ebenso wenig eine signifikante ($P \leq 0,7506$)

Wirkung auf die Position des Embryos im Ei aus, weder alleine noch in Kombination mit anderen Einflussfaktoren. Eine schwach signifikante Wechselwirkung ($P \leq 0,0723$) zwischen Hahnengenotyp und Hennengenotyp bzw. eine tendenzielle Einflussnahme des Hahnengenotyps und Hennengenotyps deuten auf eine unerwartete Wirkung des Lockengens

für eine erhöhte Häufigkeit der embryonalen Fehlstellungen. Wie aus der Tabelle 4.30 hervorgeht, führt die Einkreuzung des *F*-Gens unabhängig von der Form zu einer Erhöhung der embryonalen Fehlstellungen um annähernd 14 Prozent. Die Betrachtung von Auswirkungen der Einflussfaktoren auf die jeweilige Fehlstellung zeigt, dass die Einzüchtung des *F*-Gens insgesamt zu einer Erhöhung aller aufgezeichneten Fehlstellungen führt. Allerdings ist nur ein Einfluss des Genotyps der Henne sowie des Genotyps der beiden Geschlechter auf ein erhöhtes Vorkommen an Fehlstellung III bzw. VII signifikant abzusichern. Eine durch das *F*-Gen verursachte um 14 Prozent erhöhte embryonale Fehlstellung ist gleichzusetzen mit einer Anzahl von ca. 100 Bruteiern. Setzt man diese Anzahl an Bruteiern in Relation zu der in die Analyse der Schlupfdaten eingehenden Gesamtanzahl von 10180 befruchteten Bruteiern, wird deutlich, dass der Einfluss der Fehlstellungen auf die Schlupffähigkeit selbst bei Annahme der vollständigen Letalitätswirkung als geringfügig zu betrachten ist

Basierend auf 1396 abgestorbene Bruteier wurden für die Vaterzuchtlinie die Wirkungen des Nackthalsgens sowie der hohen Umwelttemperatur auf die Position des Embryos im Ei geprüft. Die varianzanalytischen Ergebnisse sind den Tabellen 4.31 und 4.32 zu entnehmen.

Tab. 4.31: F-Werte und Signifikanzen für das Merkmal embryonale Stellung im Ei (VZL)
F-values and levels of significance for embryonic position in hatching eggs (VZL)

Varianzursache	Normal	Embryonale Fehlstellung						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Hahngenotyp								
F-Wert	0,10	0,92	0,42	1,47	1,33	3,5	1,67	1,66
P-Wert	≤0,7475	≤0,5181	≤0,5181	≤0,2260	≤0,2495	≤0,0675	≤0,1974	≤0,1992
Hennengenotyp								
F-Wert	1,07	3,38	0,91	0,15	0,05	0,67	3,10	0,05
P-Wert	≤0,3022	≤0,0667	≤0,3428	≤0,6968	≤0,8225	≤0,4120	≤0,0842	≤0,8205
Umwelttemperatur								
F-Wert	0,03	0,02	0,03	1,6	0,83	1,45	0,47	0,56
P-Wert	≤0,8747	≤0,8830	≤0,8600	≤0,2060	≤0,3644	≤0,2296	≤0,4919	≤0,4553
Hahngenotyp x Hennengenotyp								
F-Wert	0,51	2,59	0,91	0,14	0,24	2,2	0,23	0,27
P-Wert	≤0,4757	≤0,1082	≤0,3428	≤0,2863	≤0,6278	≤0,0833	≤0,6312	≤0,6050
Hennengenotyp x Umwelttemperatur								
F-Wert	0,95	0,89	2,57	0,74	0,16	0,0	0,0	0,5
P-Wert	≤0,3307	≤0,3472	≤0,1119	≤0,3909	≤0,6631	≤0,9594	≤0,9619	≤0,4594

Die Häufigkeiten der unterschiedlichen Fehlstellungen bei den Bruteiern der Vaterzuchtlinie

zeigen ein ähnliches Bild, wie es bereits bei den Bruteiern von Hennen der Mutterzuchtlinie beschrieben ist. Allerdings ist die Normalstellung bei den Embryonen der paternalen Linie mit 32,4 % um 10 % niedriger als bei den Embryonen der mittelschweren Muttertiere. Die Fehlstellung II kommt ähnlich wie bei der Mutterzuchtlinie mit 32,4 % am häufigsten vor. Jeweils 6,7 und 10,6 % der Embryonen weisen die Fehlstellung III und IV auf.

Wie aus der Tabelle 4.31 hervorgeht, sind weder eine direkte signifikante Wirkung der untersuchten Einflussfaktoren noch deren Wechselwirkungen auf die Häufigkeit der Normalstellung bzw. die Häufigkeit der Gesamtfehlstellungen des Embryos im Ei nachzuweisen. Entsprechendes gilt auch für die Analyse der Häufigkeit der einzelnen Fehlstellungen.

Tab. 4.32: LSQ-Mittelwerte für das Merkmal embryonale Stellung (VZL)
LSQ-means for embryonic position (VZL)

Varianzursache	Stellung des Embryos im Ei (%)								
	Normal	Fehlstellungen							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Hahnengenotyp									
NaNa	30,5	12,5	55,7	17,3	24,6	4,7	24,0	7,4	
nana	29,3	16,4	52,5	23,6	31,4	6,0	17,4	12,2	
Hennengenotyp									
NaNa	32,2	10,3	51,4	19,2	27,1	7,1	16,0	10,0	
nana	27,7	19,2	56,9	21,4	28,8	4,4	25,8	9,0	
Umwelttemperatur									
W	30,3	14,7	53,7	23,7	25,0	6,4	22,4	7,8	
K	29,6	14,0	54,7	17,2	31,0	4,2	18,8	11,6	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp									
NaNa x NaNa	35,0	7,0	50,0	14,2	23,0	-	17,8	7,7	
NaNa x nana	26,5	20,1	60,1	21,0	26,7	-	31,5	7,7	
nana x NaNa	29,7	14,9	53,0	25,4	32,1	-	14,4	14,3	
nana x nana	28,9	18,0	52,0	21,7	30,7	-	20,9	10,4	
Hennengenotyp x Umwelttemperatur									
NaNa x W	34,3	12,4	46,5	20,3	23,0	9,0	17,5	10,2	
NaNa x K	30,4	8,4	56,3	18,3	31,7	6,1	14,7	10,2	
nana x W	26,5	17,3	60,7	27,6	27,1	4,5	28,2	6,0	
nana x K	28,8	22,3	52,0	16,3	30,3	2,8	23,6	13,2	
		In die jeweilige Analyse eingehende Anzahl der Bruteier							
	453	512*	921*	547*	602*	480*	553*	499*	
	Anteil (%) der Normal- bzw. Fehlstellungen an in die jeweilige Analyse eingehenden Bruteiern								
	32,4	11,5	50,8	17,2	24,7	5,6	18,0	9,2	
	Anteil (%) der Normal- bzw. Fehlstellungen an der Gesamtanzahl der abgestorbenen Bruteier								
	32,4	4,2	33,5	6,7	10,6	1,9	7,1	3,3	

Gesamtanzahl Bruteier N=1396; *Anzahl Normal- +Fehlstellung; W=Warmstall; K=Kontrollstall

Demzufolge führt eine Einzüchtung des *Na*-Gens und der damit verbundenen Veränderung des embryonalen Befiederungsgrades zu keiner Auswirkung auf die Position des Embryos im Ei unabhängig von der Herkunft des Gens (Hahn bzw. Henne) und der Form (heterozygot bzw. homozygot). Mit 35 % Normalstellungen weisen homozygote Nackthalsembryonen sogar einen höheren Anteil an Embryonen in normaler Embryonalstellung auf als die vollbefiederte Kontrollgruppe mit 28,9 %. Eine negative Auswirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die Eiqualität ist zahlreich dokumentiert und auch in dieser Arbeit nachgewiesen. Diese und damit eine mögliche indirekte Wirkung der hohen Umwelttemperaturen sowie ein direkter Einfluss während der Passage der Eizelle im Reproduktionstrakt der wärmegestreßten Hennen auf die Stellung des Embryos im Ei ist jedoch, wie aus den Tabellen 4.29 und 4.32 hervorgeht, nicht nachzuweisen.

4.8.2 Zeitpunkt der embryonalen Mortalität

Die Modellauswahlkriterien sind für die beiden Zuchtlinien in Anhang 9 und Anhang 10 aufgelistet.

Die varianzanalytischen Ergebnisse der Hauptfaktoren sowie ihrer Wechselwirkungen auf die unterschiedlichen Stadien der Embryonalentwicklung sind für die Mutterzuchtlinie (MZL) den Tabellen 4.33 und 4.34 zu entnehmen.

Tab. 4.33: F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (MZL, Vers. II)
F-values with levels of significance for different stages of embryonic death (MZL)

Varianzursache	1.-7. Bruttag		8.-17. Bruttag		18.-21. Bruttag	
	F-Wert	Signif. niveau	F-Wert	Signif. niveau	F-Wert	Signif. Niveau
Hahnengenotyp (H)	0,13	≤0,7970	0,47	≤0,4919	0,52	≤0,4710
Federstruktur der Henne (F)	42,90	≤0,0001	0,13	≤0,7147	6,50	≤0,0110
Körpergrößentyp der Henne (K)	0,04	≤0,8604	1,70	≤0,1874	0,03	≤0,8719
Umwelttemperatur (U)	40,30	≤0,0001	2,80	≤0,0944	0,02	≤0,7623
H x F	1,20	≤0,2555	0,05	≤0,8175	0,54	≤0,4638
H x k	0,30	≤0,5887	1,33	≤0,2510	0,00	≤0,9852
H x U	0,42	≤0,5190	0,26	≤0,6112	2,60	≤0,1074
F x U	23,10	≤0,0001	0,00	≤0,9995	1,03	≤0,3109
K x U	0,19	≤0,6645	2,45	≤0,1202	1,33	≤0,2489
F x K	0,23	≤0,6326	0,40	≤0,8450	0,01	≤0,9084
H x F x K	0,01	≤0,9306	1,60	≤0,1990	0,83	≤0,3638
H x F x U	0,10	≤0,7474	0,03	≤0,8556	0,83	≤0,3638
H x K x U	0,07	≤0,7844	0,03	≤0,8706	1,83	≤0,1766
F x K x U	0,12	≤0,7350	0,35	≤0,5546	0,18	≤0,6688
H x F x K x U	0,98	≤0,3253	0,83	≤0,4359	0,46	≤0,4999

In der Tabelle 4.34 sind der besseren Übersicht wegen die Wechselwirkungen des Faktors Hahnengenotyp mit anderen Einflussfaktoren nicht aufgelistet, da dieser Einflussfaktor weder allein, noch in Kombination mit anderen Faktoren, einen Einfluss auf die embryonale Mortalitätsrate ausübt.

Erwartungsgemäß bleibt die Wirkung des Verzweigungsgens auf die embryonale Mortalitätsrate, wie auch bei dem Merkmal Schlupffähigkeit festgestellt, in allen drei embryonalen Entwicklungsphasen unbedeutend. Die Wärmebelastung der normalfiedrigen Hennen beider Körpergrößentypen der Mutterzuchtlinie führt zu einer deutlichen Erhöhung der frühembryonalen Mortalitätsrate. Diese liegt bei den Bruteiern von wärmebelasteten normalfiedrigen Hennen (*ff*) um 20,8 % höher als bei den Bruteiern von normalfiedrigen Hennen (*ff*) des Kontrollstalls (26 % vs. 5,2 %).

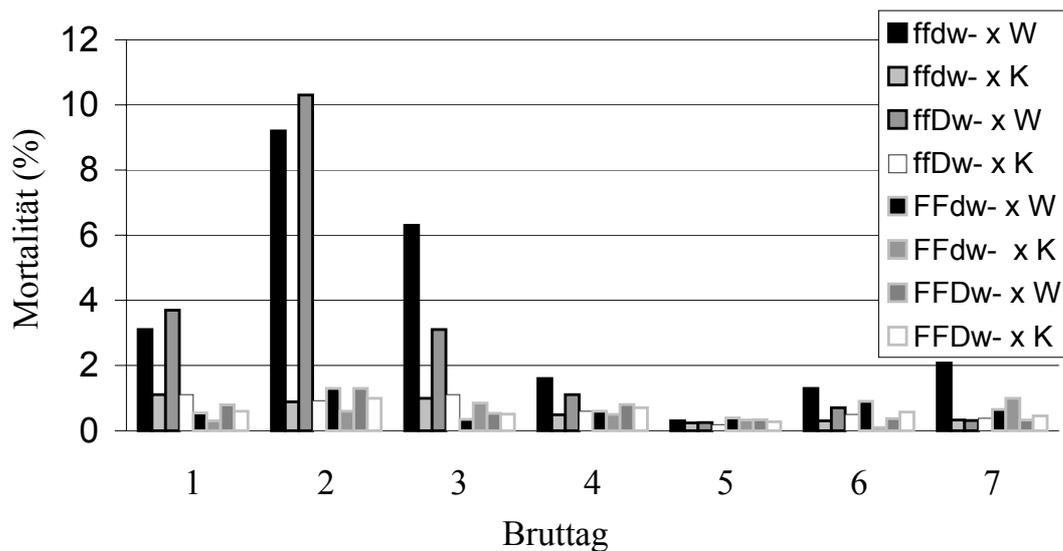


Abb. 4.16 Embryonale Mortalitätsrate während der frühen embryonalen Entwicklungsphase (MZL)
Embryonic mortality during early embryonic development (MZL)

Im Gegensatz zu den normalfiedrigen Hennen besteht bei gelockten Hennen (*FF*) keine signifikante negative Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die frühembryonale Mortalität. Die temperaturbedingte Differenz im Merkmal frühe embryonale Mortalitätsrate liegt bei den Bruteiern von gelockten Hennen lediglich bei 1,1 % (5,1 % vs. 4,0 %). Bei dem Vergleich der embryonalen Sterberate der Bruteier der gelockten Hennen mit derjenigen der

normalfiedrigen wird deutlich, dass unter dem Wärmestress die Lockenfiedrigkeit zu einer deutlichen Erhöhung der frühembryonalen Überlebensrate führt.

Tab. 4.34: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (MZL, Vers. II)
LSQ-means and standard errors for different stages of embryonic death (MZL)

Varianzursache	1.-7. Bruttag	8.-17. Bruttag	18.-21. Bruttag
	LSQ-Mittelwerte ¹	LSQ-Mittelwerte ¹	LSQ-Mittelwerte ¹
Hahnengenotyp			
FFDwDw	7,7±0,7	2,8±0,4	6,6±0,5
ffDwDw	7,3±0,7	2,5±0,4	7,5±0,5
Umwelttemperatur			
W	12,1±1,1 ^a	3,2±0,5	7,0±0,6
K	4,5±0,6 ^b	2,3±0,3	7,3±0,4
Federstruktur der Henne			
FF	4,5±0,6 ^a	2,5±0,4	8,7±0,6 ^a
ff	12,2±1,1 ^b	2,8±0,3	5,9±0,4 ^b
Körpergrößentyp der Henne			
dw-	7,6±0,8	3,1±0,4	7,1±0,5
Dw-	7,4±0,8	2,3±0,4	7,2±0,6
Hennenfederstruktur x Umwelttemperatur			
FF x W	5,1±0,8 ^a	3,1±0,5	7,9±0,5
FF x K	4,0±0,8 ^a	2,1±0,5	9,6±0,7
ff x W	26,0±2,5 ^b	3,3±0,9	6,2±1,7
ff x K	5,2±0,8 ^a	2,3±0,4	5,6±0,5
Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur			
dw- x W	12,6±1,5	4,3±0,7	7,5±0,8
dw- x K	4,5±0,8	2,3±0,5	6,7±0,5
Dw- x W	11,6±1,6	2,3±0,6	6,5±1,0
Dw- x K	4,7±0,8	2,4±0,4	8,1±0,6
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße			
FF x dw-	4,4±0,8	3,0±0,6	8,5±0,6
FF x Dw-	4,6±0,8	2,1±0,4	8,8±0,6
ff x dw-	12,8±1,6	3,2±0,6	5,9±0,7
ff x Dw-	11,7±1,5	2,5±0,6	6,4±0,9
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur			
FF x dw- x W	5,3±1,1	4,0±0,8	8,1±0,8
FF x dw- x K	3,7±1,0	2,3±0,6	8,9±0,9
ff x dw- x W	27,3±3,4	4,8±1,3	7,0±1,4
ff x dw- x K	5,4±1,2	2,1±0,6	5,0±0,7
FF x Dw- x W	4,9±1,0	2,3±0,6	7,6±0,7
FF x Dw- x K	4,4±1,2	1,9±0,6	10,3±1,1
ff x Dw- x W	24,8±3,7	2,4±1,1	5,6±1,7
ff x Dw- x K	5,2±1,1	2,6±0,6	6,3±0,6

¹⁾ Transformierte Werte; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); W=Warmstall; K=Kontrollstall.

Die embryonalen Mortalitätsraten der vier Hennengenotypen in der Kontroll- und der

Warmstallhaltung sind für die ersten sieben Bruttage detailliert in Abbildung 4.16 dargestellt. In den ersten drei Bruttagen ist eine hochsignifikante Wechselwirkung zwischen Hennengenotyp und Umwelttemperatur zu Gunsten der Lockenhennen zu verzeichnen. Während ein Großteil der wärmebedingten Embryonenverluste bei den Bruteiern der normalfiedrigen Hennen in der Frühphase der Brut zu beobachten ist, besteht in den restlichen vier Bruttagen kein deutlicher genotypischer Unterschied in der embryonalen Sterberate, und zwar unter beiden Stallklimabedingungen.

In der mittleren embryonalen Entwicklungsphase (8. bis 17. Bruttag) ist ebenfalls keine signifikante Einflussnahme der im Modell aufgenommenen Faktoren (Hahngenotyp, Hennenfederstruktur, Hennenkörpergrößentyp und Umwelttemperatur) sowie der Faktorkombinationen auf die embryonale Sterberate nachzuweisen (Tab. 4.33).

In der späteren embryonalen Entwicklungsphase (17.-21. Bruttag) zeigt sich allerdings ein signifikanter Einfluss des Befiederungstyps der Henne auf die embryonale Sterberate. Die entsprechenden Mittelwerte sind in der Tabelle 4.34 wiedergegeben. Die Lockenfiedrigkeit der Hennen führt unerwartet zu einer Erhöhung der späten embryonalen Mortalitätsrate um 2,8 Prozent.

In der Abbildung 4.17 ist die embryonale Überlebensfähigkeit (Überlebenszeitanalyse) in Abhängigkeit von der Brutdauer für die unter beiden Stalltemperaturbedingungen produzierten Bruteier aus Gründen der besseren Übersicht nur für homozygote Frizzle- und normalfiedrige Embryonen dargestellt. Da bei der faktoriellen Analyse (s. oben) die statistischen Tests bereits durchgeführt sind, werden hier die statistischen (log rank) Tests nicht mehr aufgelistet.

Wie bereits oben mittels der faktoriellen Analyse nachgewiesen, führt die Wärmebelastung bei normalfiedrigen Hennen zu einer hohen frühembryonalen Mortalität. Von daher zeigt der Kurvenverlauf der embryonalen Überlebensrate bei den Bruteiern von wärmebelasteten normalfiedrigen Hennen (*ffDw-*, *ffdw-*) im Laufe der frühen Phase der embryonalen Entwicklung eine deutliche Reduktion, während in der mittleren Phase der embryonalen Entwicklung eine generelle Abflachung festzustellen ist, welche bei gelockten Embryonen ein stärkeres Ausmass einnimmt.

In der späten Phase der embryonalen Entwicklung ist unabhängig von der Umwelttemperatur bei allen Embryonen-Typen ein stärkeres Absinken der Überlebenskurve festzustellen, wobei

die höhere späte embryonale Sterberate zu einem stärkeren Abfallen der Überlebenskurve bei den Frizzle-Embryonen führt.

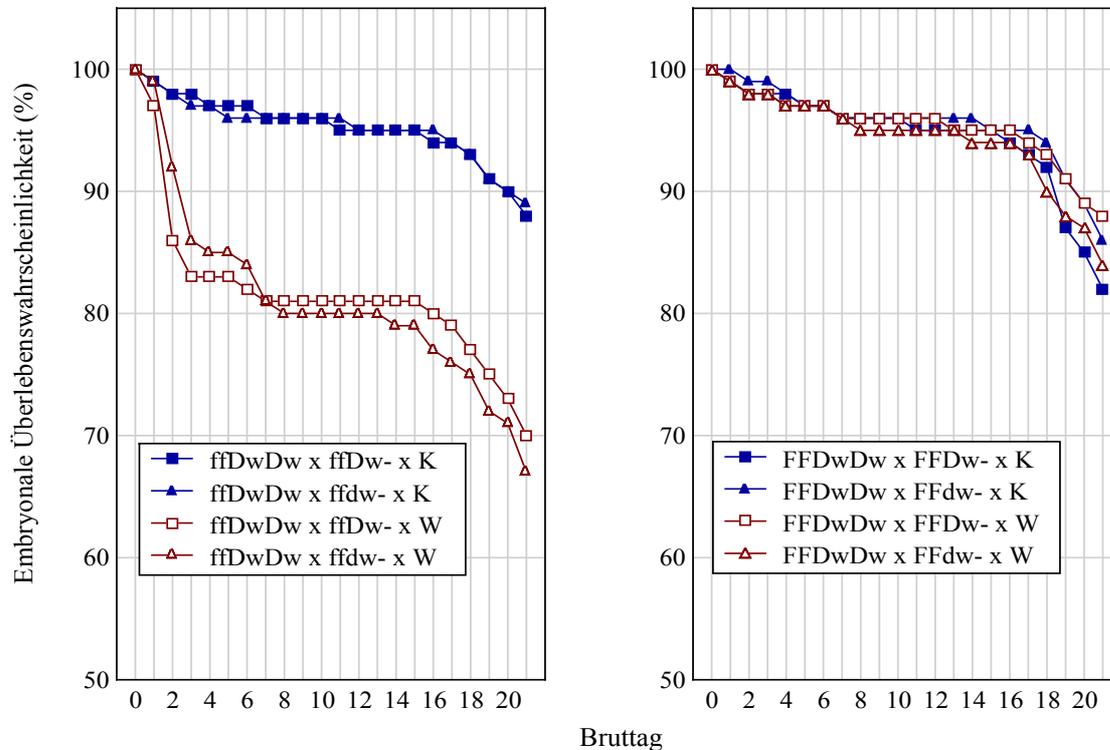


Abb. 4.17: Überlebenszeitanalyse nach der Kaplan-Meier Methode für die homozygot gelockten- (*FF*) und normalfedrigen (*ff*) Embryonen und bei der Haltung der Broiler-Elternhennen unter Warmstall- (*W*) und Kontrollstallbedingungen (*K*) (MZL, Vers. II)
*Survival analysis using the Kaplan Meier method for homozygous frizzle and normally feathered embryos produced by hens kept under high (*W*) and moderate (*K*) ambient temperatures (MZL)*

Die varianzanalytischen Ergebnisse der Wirkungen des Nackthalsgens in der Vaterzuchtlinie und der Umwelttemperatur auf den Zeitpunkt der embryonalen Mortalität sind in Tabelle 4.35 aufgeführt. Wie daraus hervorgeht, ist neben einer signifikanten Wirkung des Hauptfaktors Umwelttemperatur auch der Interaktionseffekt Hennengenotyp x Umwelttemperatur hoch signifikant abzusichern.

Ähnlich wie bei der mittelschweren Mutterzuchtlinie beschrieben, führt die Wärmebelastung bei den normalbefiederten Hennen der Vaterzuchtlinie ebenfalls zu einer beachtlichen Erhöhung der frühen embryonalen Mortalität (22,6 % vs. 8,6 %).

Tab. 4.35: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance for different stages of embryonic death (VZL)

Varianzursache	1.-7. Bruttag		8.-17. Bruttag		18.-21.Bruttag	
	LSQ-Mittelwerte ¹	F-Wert u. Signif. niveau	LSQ-Mittelwerte ¹	F-Wert u. Signif. niveau	LSQ-Mittelwerte ¹	F-Wert u. Signif. niveau
Hahnengenotyp		0,69		0,02		26,4
NaNa	13,4±1,2	≤0,4082	4,2±0,5	≤0,8747	18,2±1,4 ^a	≤0,0001
nana	14,6±1,1		4,3±0,4		10,2±0,8 ^b	
Umwelttemperatur		13,8		19,76		0,4
W	17,8±1,6 ^a	≤0,0003	6,3±0,7 ^a	≤0,0001	14,2±1,3	≤0,5298
K	10,9±1,0 ^b		2,9±0,3 ^b		13,2±0,9	
Hennengenotyp		0,09		1,80		21,2
NaNa	13,7±1,1	≤0,7631	4,8±0,3	≤0,1816	17,8±0,9 ^a	≤0,0001
nana	14,3±1,5		3,8±0,5		10,4±1,1 ^b	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		0,64		0,70		3,8
NaNa x NaNa	12,5±1,1	≤0,4242	5,1±0,4	≤0,4038	25,5±1,2 ^a	≤0,0522
NaNa x nana	14,2±2,3		3,5±0,8		12,5±2,0 ^b	
nana x NaNa	15,0±1,4		4,6±0,5		12,1±1,1 ^b	
nana x nana	14,3±1,7		4,1±0,6		8,7±1,1 ^c	
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur		0,29		1,17		0,01
NaNa x W	17,2±3,5	≤0,5884	6,8±1,2	≤0,2792	18,7±2,4	≤0,9237
NaNa x K	10,3±2,3		2,8±0,4		17,7±1,4	
nana x W	18,4±3,0		5,5±0,7		10,7±1,4	
nana x K	11,5±2,3		3,3±0,4		9,8±0,9	
Hennengenotyp x Umwelttemperatur		13,1		0,30		2,16
NaNa x W	13,8±2,4 ^a	≤0,0004	6,8±0,5	≤0,5837	17,0±1,3	≤0,1428
NaNa x K	13,6±1,2 ^a		3,4±0,4		18,7±1,4	
nana x W	22,6±1,9 ^b		5,9±1,2		11,8±2,2	
nana x K	8,6±1,7 ^c		2,4±0,4		9,2±1,0	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur		2,03		0,72		1,1
NaNa x NaNa x W	13,7±1,6	≤0,1549	8,3±0,7	≤0,3966	23,0±1,6	≤0,2871
NaNa x NaNa x K	11,4±1,6		3,1±0,5		28,1±1,7	
NaNa x nana x W	21,1±5,2		5,6±2,0		15,0±4,0	
NaNa x nana x K	9,3±1,9		2,1±0,6		10,5±1,7	
nana x NaNa x W	13,8±1,9		5,5±0,7		12,3±1,5	
nana x NaNa x K	16,2±2,1		3,8±0,7		11,9±1,6	
nana x nana x W	24,1±3,4		6,2±1,3		9,3±2,1	
nana x nana x K	8,0±1,4		2,7±0,4		8,1±1,1	

¹⁾ Transformierte Werte; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$).

Die detaillierte Analyse der frühen embryonalen Mortalität (1. bis 7. Tag) zeigt ferner, dass die Wärmebelastung zu einer deutlich erhöhten Mortalitätsrate der Embryonen von normalbefiederten Hennen in den ersten 4 Bruttagen mit einem Peak am 3. Bruttag führt (Abb.4.18). Dabei sind die Wechselwirkungen zwischen der Umwelttemperatur und dem

Faktor Hennengenotyp am 3. und am 4. Bruttag signifikant und schon am zweiten Bruttag tendenziell vorhanden.

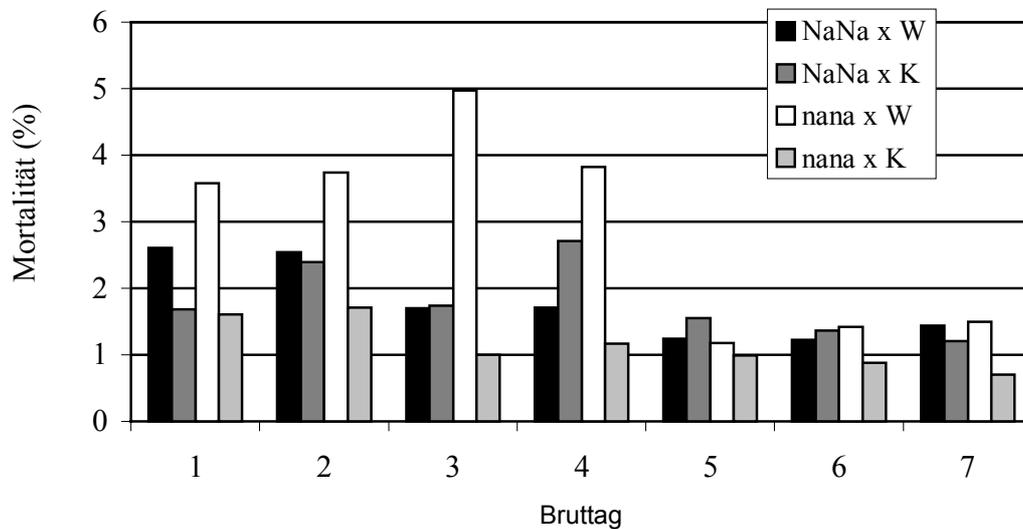


Abb. 4.18: Embryonale Mortalitätsrate während der frühen embryonalen Entwicklung (VZL)
The embryonic mortality during early embryonic development (VZL)

Im Gegensatz dazu besteht kein signifikanter Einfluss der hohen Umwelttemperaturen auf die frühe embryonale Mortalität bei den Bruteiern von Nackthalshennen. Mit jeweils 13,8 % unter der Wärmebelastung und mit 13,6 % unter den gemäßigten Umwelttemperaturen sind die Embryonenverluste bei den Bruteiern der Nackthalshennen in beiden Umwelten annähernd gleich. Wie aus der Tabelle 4.35 hervorgeht, ist allerdings eine depressive Wirkung des Nackthalsgens auf die frühe embryonale Überlebensrate festzustellen. Der Einfluss der hohen Umwelttemperaturen auf die embryonale Sterblichkeitsrate bleibt auch in der mittleren Phase der embryonalen Entwicklung vorhanden. Die Temperaturbehandlung führt insgesamt zu einer Erhöhung der mittleren embryonalen Sterblichkeitsrate um 3,1 % (6,2 % vs. 3,1 %). Eine Wechselwirkung zwischen Umwelttemperatur und Hennengenotyp tritt während des mittleren embryonalen Entwicklungsstadiums nicht auf, so dass der negative Einfluss der hohen Umwelttemperaturen auf die mittlere embryonale Überlebensrate bei beiden Hennengenotypen wirksam wird. Allerdings bleibt der Einfluss der mittleren embryonalen Mortalität auf die Schlupffähigkeit aufgrund deutlich geringerer Embryonenverluste in dieser Phase insgesamt relativ gering.

Die Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die späte embryonale Sterblichkeit ist weder

direkt noch in Wechselwirkung mit dem Hennengenotyp signifikant. Dies bedeutet, dass eine wärmebedingte Reduktion der Schlupffähigkeit hauptsächlich durch eine exzessive embryonale Mortalität in der frühen embryonalen Entwicklungsphase bedingt ist.

Wie aus den varianzanalytischen Ergebnissen in der Tabelle 4.35 ersichtlich wird, ist die Wirkung der Hauptfaktoren Hahnen- und Hennengenotyp auf die späte embryonale Sterberate hoch signifikant und deren Wechselwirkung schwach signifikant

Die Einkreuzung des Nackthalsgens führt bei den Embryonen unabhängig von der väterlichen oder mütterlichen Übertragung zu einer deutlichen Zunahme der späten embryonalen Sterblichkeitsrate. Im Vergleich zu normalbefiederten Embryonen weisen die heterozygoten Embryonen während der späteren embryonalen Entwicklungsphase eine um 4 % höhere Mortalitätsrate (8,7 % vs. 12,1% bzw. 12,5 %) auf. Die schwach signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Hahnenotyp und Hennengenotyp deutet darauf hin, dass eine drastische Erhöhung der späten embryonalen Mortalitätsrate durch die Homozygotie über dem additiven Effekt der beiden *Na* -Allelenpaare besteht. Die spätembryonale Sterberate der homozygot nackthalsigen Embryonen liegt bei 25,5 % und ist um 13 % höher als bei heterozygoten Merkmalsträgern bzw. um 16,8 % höher als bei den normalbefiederten Embryonen.

Um den Verlauf der embryonalen Überlebensfähigkeit über die gesamte Brutdauer darzustellen, sind in Abb. 4.19 die Ergebnisse der Überlebenszeitanalyse (Kaplan-Meier Kurve) der Übersicht wegen nur für die homozygoten Genträger und normalbefiederten Embryonen dargestellt.

Bei den unter den gemäßigten Umwelttemperaturen produzierten Bruteiern verlaufen die Kurven der beiden homozygoten Embryonen (*nana* und *NaNa*) bis zum 18. Bruttag parallel. Dabei besteht aufgrund einer geringfügig höheren frühembryonalen Mortalität der Nackthals-Embryonen ab dem 3. Inkubationstag (s. oben) eine leichte Differenz in der embryonalen Überlebensrate zu Gunsten der normalbefiederten Embryonen, die bis zum 18. Bruttag andauert. Ab dem 18. Tag führt die Wirkung des Nackthalsgens in Vergleich zu der Normalbefiederung zu einem auffallend stärkeren Absinken der embryonalen Überlebensrate, die ohnehin in dieser Phase stärker auftritt.

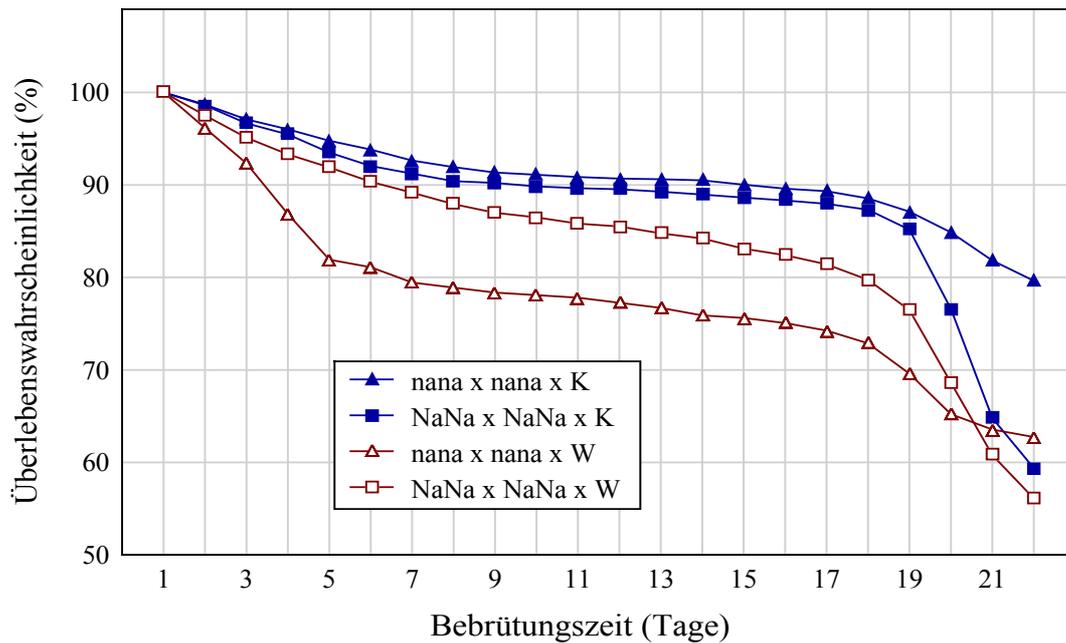


Abb. 4.19: Überlebenszeitanalyse (Survival analysis) nach der Kaplan-Meier-Methode für die homozygoten Nackthals- und normalbefiederten Embryonen und bei der Haltung der Broiler-Elternhennen unter Warmstall- (W) und Kontrollstallbedingungen (K) (VZL)
Survival analysis using Kaplan-Meier-method for homozygous naked neck and normally feathered embryos produced by hens kept under high (W) and moderate (K) ambient temperature (VZL)

Die Temperaturbelastung führt zu einer deutlichen Differenzierung im Verlauf der Kurven. Die Wärmebelastung der Nackthalschennen und die Nackthalsigkeit der Embryonen bedingt ein kontinuierliches leichtes Absinken der Überlebensrate bis zum 18. Bruttag und danach, bis zum Ende der Brutzeit, durch die Wirkung des Nackthalsgens einen weiteren starken Rückgang der Überlebensfähigkeit. Dagegen ist die embryonale Überlebenskurve bei den Bruteiern der wärmebelasteten normalbefiederten Hennen und die Normalbefiederung der Embryonen durch ein starkes Absinken während der frühen Phase der embryonalen Entwicklung gekennzeichnet, so dass die embryonale Überlebensrate der normal befiederten Embryonen bis zum 19. Bruttag niedriger ist als bei den Nackthals-Embryonen. Erst am Ende der Brut, aufgrund höheren Absterbens der Nackthals-Embryonen am 20. Bruttag und am Schlupftag, ist die Überlebensrate der Normal-Embryonen höher als die der Nackthals-Embryonen.

4.8.3 Embryonale Stoffwechselaktivität

4.8.3.1 Embryonaler Sauerstoffverbrauch

Wie bereits im Kapitel 4.7 und 4.8.2 nachgewiesen, führt das Vorhandensein des Nackthalsgens insbesondere in homozygoter Form zu einer Erhöhung der embryonalen Mortalitätsrate während der späten embryonalen Entwicklungsphase und infolgedessen zu einer Verminderung des Schlupferfolges. Bei der Betrachtung des Verlaufs der embryonalen Sterberate beim Geflügel wird deutlich, dass in der späten embryonalen Entwicklungsphase generell ein erhöhtes embryonales Absterben zu verzeichnen ist, dessen Ursachen nicht eindeutig geklärt sind (s. Kapitel 2).

Während des späten Stadiums der embryonalen Entwicklung ist der wachsende Embryo mit besonderen physiologischen Veränderungen konfrontiert. Aufgrund einer eingeschränkten Diffusion der respiratorischen Gase durch die Eischale während dieser Entwicklungsphase ist der Embryo starken hypoxischen und hyperkapanischen Bedingungen ausgesetzt. Mit dem Einpicken in der Luftkammer (internal pipping) beginnt in der Phase eine Umstellung vom Chorioallantois-System zur pulmonarer Respiration. Da die Nackthalsembryonen gerade in der Phase der embryonalen Entwicklung eine erhöhte Sterberate aufweisen, ist zu vermuten, dass die Einkreuzung des Nackthalsgen zu einer Veränderung bzw. zu einer Erhöhung des Sauerstoffbedarfs der Embryonen in dieser Phase und damit zu einer Beeinträchtigung der Lebensfähigkeit der Embryonen führt.

Um einen möglichen Einfluss des Genotyps auf den embryonalen Sauerstoffverbrauch zu untersuchen, wurde bei dem in Kapitel 3 beschriebenen Experiment der Einfluss verschiedener Genotypen auf den Sauerstoffverbrauch vom 14. bis zum 21. Bruttag gemessen. Die angewandte Technik und Methodik ist in Kapitel 3 beschrieben.

In der Tabelle 4.36 sind die Ergebnisse der Varianzanalyse der in das Modell aufgenommenen Einflussfaktoren auf den embryonalen Sauerstoffverbrauch wiedergegeben. Erwartungsgemäß ist der Einfluss des Bruttags (14. bis 19.) auf den embryonalen Sauerstoffverbrauch hochsignifikant. Der embryonale Sauerstoffverbrauch insgesamt nimmt vom 14. bis zum 16. Bruttag signifikant zu (Abb. 4.20) und bleibt ab dem 16. bis zum 19. Tag aufgrund der Diffusionsbarriere der Eischale annähernd konstant (Plateauphase).

Tab. 4.36: Embryonaler Sauerstoffverbrauch vom 14. bis zum 19. Bruttag (VZL)
Significance of sources of variation in analysis of oxygen consumption from 14th to 19th day of incubation (VZL)

Varianzursache	F-Wert	P-Wert
Genotyp	0,05	≤0,9527
Schlupffähigkeit	106,10	≤0,0001
Bruttag	89,30	≤0,0001
Kammer	148,10	≤0,0001
Genotyp x Bruttag	0,18	≤0,9978
Genotyp x Schlupffähigkeit	0,90	≤0,4060
Schlupffähigkeit x Bruttag	2,88	≤0,0138
Genotyp x Schlupffähigkeit x Bruttag	0,89	≤0,5408
Rang	4,86	≤0,0276

Weder ist ein Einfluss des embryonalen Genotyps alleine noch eine Wechselwirkung mit den Faktoren Untersuchungstag oder Schlupffähigkeit auf den Sauerstoffverbrauch festzustellen. Es besteht kein signifikanter Unterschied im durchschnittlichen (14. bis 19. Bruttag) oder im täglichen Sauerstoffverbrauch aller drei untersuchten Genotypen *NaNa*, *Nana* und *nana*. Von daher ist ein Einfluss des Genotyps weder bei schlupffähigen Küken noch bei Embryonen, die nicht lebensfähig sind, nachzuweisen. Dies gilt auch für die einzelnen Bruttage, da keine signifikanten ($P=0,54$) Wechselwirkungen zwischen den drei Hauptfaktoren bestehen. Der Hauptfaktor Schlupffähigkeit ist allerdings hoch signifikant

Die Stoffwechselaktivität von Bruteiern, die keine schlupf- und lebensfähigen Küken erbringen, ist gegenüber den Bruteiern mit lebensfähigen Küken signifikant reduziert. Die lebens- und schlupffähigen Embryonen verbrauchen im Durchschnitt aller Bruttage 20 % mehr Sauerstoff (Abb. 4.20).

In der Abbildung 4.20 ist der Verlauf des täglichen Sauerstoffverbrauchs für die abgestorbenen Embryonen sowie für die lebensfähigen Küken der unterschiedlichen Genotypen für diese Periode (14. –19. Bruttag) dargestellt. Die Säulendiagramme stellen den durchschnittlichen Sauerstoffverbrauch dar.

Die Signifikanzen der Einflussfaktoren auf den embryonalen Sauerstoffverbrauch am Schlupftag (20./21. Tag) sind in der Tabelle 4.37 aufgelistet. In Tabelle 4.38 sind die LSQ-Mittelwerte und Standardfehler jeweils für verschiedene Einflussfaktoren wiedergegeben.

Wie auch in der Periode des 16.-19. Bruttages nachgewiesen, kann für den Schlupftag ebenfalls kein Einfluss des Genotyps auf die embryonale Stoffwechselaktivität festgestellt werden.

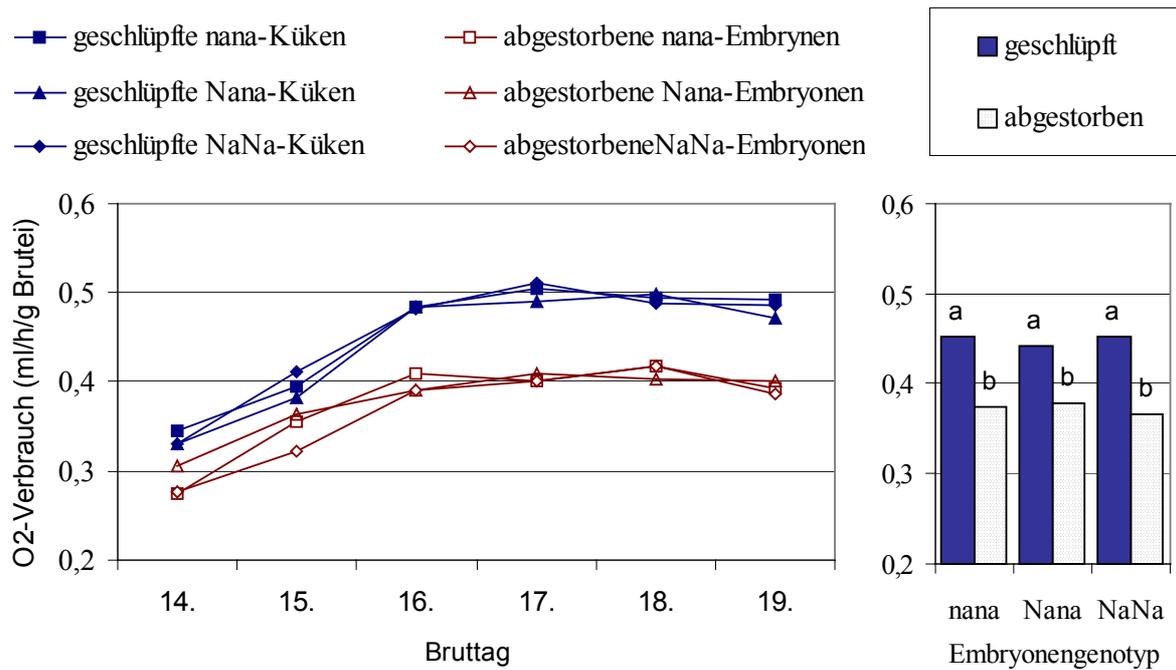


Abb. 4.20: Der embryonale Sauerstoffverbrauch der geschlüpften und abgestorbenen Embryonen unterschiedlicher Genotypen für den Zeitpunkt 14. bis 19. Bruttag. Die Säulendiagramme stellen die Durchschnittswerte während dieser Periode dar.

Oxygen consumption of hatched and dead naked neck (NaNa, Nana) and normally feathered embryos during 14th-19th day of incubation (left figure). The chart shows the average oxygen uptake of hatched and non-hatched naked neck and normally feathered embryos during 14th-19th day of incubation (right figure).

Tab. 4.37: Embryonale Stoffwechselaktivität am 20./21. Bebrütungstag
Oxygen consumption at day of hatch

Varianzursache	F-Test	P-Wert
Genotyp	0,97	≤0,3843
Schlupffähigkeit	22,33	≤0,0001
Anpicken der Schale	16,74	≤0,0001
Kammer	22,84	≤0,0001
Genotyp x Anpicken der Schale	1,16	≤0,3151
Genotyp x Schlupffähigkeit	0,39	≤0,6798
Schlupffähigkeit x Anpicken der Schale	1,16	≤0,2829
Genotyp x Schlupffähigkeit x Anpicken der Schale	0,83	≤0,4365
Rang	2,67	≤0,1044

Das Anpicken der Schale und damit die Aufhebung der limitierenden Wirkung der Eischale auf die Diffusion der respiratorischen Gase führt zu einer signifikanten Erhöhung der embryonalen Stoffwechselaktivität um ca. 30 Prozent. Da aber keine signifikante Interaktion zwischen den Hauptfaktoren Genotyp und Anpicken der Schale besteht, ist genausowenig

eine signifikant erhöhte Stoffwechselaktivität der Nackthalsembryonen selbst unter der Bedingung des freien Zugangs zu Luftsauerstoff gegeben. Dagegen ist aber am Schlupftag eine reduzierte Stoffwechselaktivität von nicht schlupffähigen Embryonen zu erkennen

Tab. 4.38: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler für Atmungsaktivität am Schlupftag (ml/h/g Brutei)
LSQ-means and standard errors for embryonic oxygen uptake at day of hatch (ml/h/g)

Varianzursache	LSQ-Mittelwerte ¹
Genotyp	
nana	0,5473±0,04
Nana	0,6160±0,03
NaNa	0,5836±0,02
Schlupffähigkeit	
Geschlüpft	0,4956±0,03 ^a
nicht schlupffähig	0,6691±0,02 ^b
Anpicken der Schale	
Angepickt	0,5096±0,02 ^a
nicht angepickt	0,6550±0,02 ^b
Genotyp x Schlupffähigkeit	
nana x geschlüpft	0,6256±0,03
nana x nicht schlupffähig	0,4689±0,06
Nana x geschlüpft	0,6912±0,03
Nana x nicht schlupffähig	0,5409±0,06
NaNa x geschlüpft	0,6903±0,03
NaNa x nicht schlupffähig	0,4769±0,04
Genotyp x Anpicken der Schale	
nana x angepickt	0,5868±0,05
nana x nicht angepickt	0,5077±0,05
Nana x angepickt	0,7256±0,04
Nana x nicht angepickt	0,5065±0,05
NaNa x angepickt	0,6527±0,04
NaNa x nicht angepickt	0,5146±0,03

¹⁾Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$);

4.8.3.2 Embryonale Temperaturentwicklung

Wie im Kapitel 3 beschrieben, wurde die embryonale Temperaturentwicklung bei jedem einzelnen Brutei in 10 minütigen Intervallen automatisch aufgezeichnet. Für den statistischen Test wurden dann die Mittelwerte der aufgezeichneten Temperaturdaten vom Schlupfzeitpunkt zurückgerechnet über jeweils 24 Stundenintervalle gebildet. Die statistische Analyse (ANOVA) des Datenmaterials erfolgte auf der Grundlage dieser 24-Stundenmittelwerte, die im Analysemodell als fixer Effekt des Bruttags eingehen. Neben dem soeben beschriebenen Einflussfaktor Bruttag sind im Modell ferner die Wirkungen des

embryonalen Genotyps, der Schlupffähigkeit sowie deren Wechselwirkungen berücksichtigt. Da es keinen signifikanten Einfluss auf die embryonale Temperaturentwicklung aufzeigt, wurde das Eigewicht - das zunächst als Kovariable zur Korrektur in das Modell aufgenommen worden war - als Einflussfaktor nicht mehr im Modell berücksichtigt.

Tab. 4.39: Embryonale Temperaturentwicklung vom 16. bis 21. Bruttag (VZL)
Embryonic heat production at 16th-21th day of incubation (VZL)

Varianzursache	F-Test	P-Wert
Genotyp	3,43	≤0,0656
Schlupffähigkeit	123,70	≤0,0001
Bruttag	14,80	≤0,0001
Genotyp x Schlupffähigkeit	2,06	≤0,2410
Genotyp x Bruttag	0,79	≤0,5615
Schlupffähigkeit x Bruttag	1,66	≤0,0557
Genotyp x Schlupffähigkeit x Bruttag	0,85	≤0,4116

Wie aus der Abb. 4.21 hervorgeht, ist der Verlauf der embryonalen Temperaturentwicklung erwartungsgemäß ähnlich wie der Verlauf des embryonalen Sauerstoffverbrauchs. Die embryonale Temperatur nimmt vom 16. bis zum 18. Bebrütungstag zunächst zu. Eine weitere Steigerung bis zum 20. Bruttag unterbleibt zunächst (Plateauphase). Ab dem 20. Bruttag ist wieder eine Zunahme der embryonalen Temperatur erkennbar (Post-Plateauphase). Diese typische Verlaufsform weisen sowohl schlupffähige als auch schlupfunfähige Embryonen auf. Die schlupffähigen Embryonen weisen allerdings aufgrund ihrer erhöhten Stoffwechselaktivität, wie bereits beim embryonalen Sauerstoffverbrauch nachgewiesen, im Vergleich zu den schlupfunfähigen Embryonen über den gesamten Untersuchungszeitraum eine signifikant erhöhte embryonale Temperatur (38,68 °C vs. 38,18 °C) auf. Wie aus der Tabelle 4.39 hervorgeht, ist eine schwach signifikante Wirkung des embryonalen Genotyps auf die Temperaturentwicklung festzustellen. Dies liegt hauptsächlich, wie die Mittelwertvergleiche erkennen lassen, an den Temperaturdifferenzen der abgestorbenen Embryonen der unterschiedlichen Genotypen (*NaNa*, *nana*) am 16. Bruttag (Abb. 4.21). Aus der Sicht der Fragestellung, ob eine Wirkung des Nackthalsgens auf die embryonale Temperaturentwicklung gegen Ende des Bebrütungszeitraums und damit ein negativer Einfluss auf die embryonale Überlebensfähigkeit besteht, lassen die Ergebnisse folgende Schlüsse zu: Zum einen weisen die schlupfunfähigen Embryonen, und zwar unabhängig vom embryonalen Genotyp, gegenüber den schlupffähigen Küken eine hoch signifikant niedrigere

Wärmeentwicklung auf; zum anderen besteht kein Unterschied zwischen den schlupffähigen Nackthals- und normalbefiederten Embryonen im Merkmal embryonale Temperaturentwicklung. Eine speziell durch das Nackthalsgen verursachte embryonale Hypothermie ist nicht nachzuweisen und kann von daher nicht als eine mögliche Ursache für eine durch das Gen induzierte erhöhte embryonale Mortalität in Betracht kommen

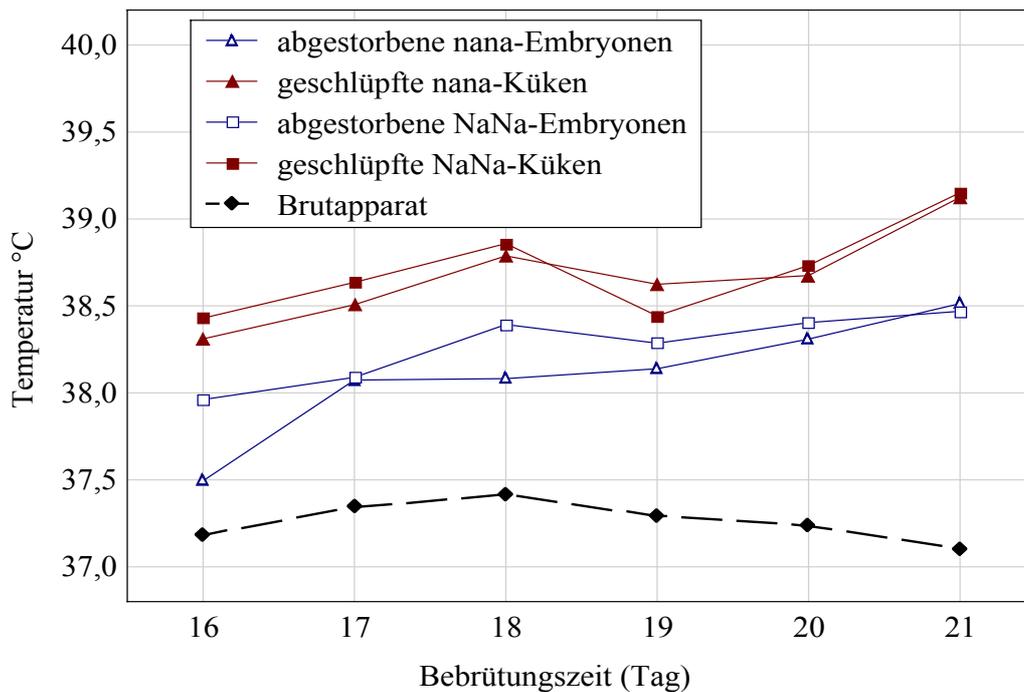


Abb. 4.21: Embryonale Temperaturentwicklung bei geschlüpften und nicht schlupffähigen nackthalsigen (*NaNa*) und normalbefiederten (*nana*) Embryonen während des 16. bis 21. Bebrütungstages.

Embryonic heat production of hatched and non-hatched naked neck and normally feathered embryos during 16th to 21th day of incubation.

4.9 Anzahl Küken je eingestellte Henne

Die Anzahl der Küken je eingestellte Elterntierhenne gilt als ein Maßstab für die Beurteilung der reproduktiven Leistung und ist im Hinblick auf die Produktionskosten des Endproduktküken von entscheidender ökonomischer Bedeutung. Die Anzahl der Küken je eingestellte Henne als ein komplexes Merkmal hängt von der Mortalitätsrate der eingestellten

Hennen, der Legeleistung, dem Bruteianteil, der Befruchtungsrate und der Schlupffähigkeit ab und ist von daher zur komplexen Beurteilung der Gesamtreproduktionsleistung der Elterntierhenne besser geeignet als die Einzelmerkmale der Reproduktion. Da bei der Mutterzuchtlinie in beiden Versuchsdurchgängen kein signifikanter Einfluss des Hahnengenotyps auf die Merkmale Fertilität und Schlupffähigkeit nachzuweisen war, wurde der Einfluss des Hahnengenotyps auf dieses Merkmal nicht berücksichtigt. Der Prüfzeitraum erstreckt sich daher auf jeweils 56 Wochen im Vers. I und 72 Wochen im Vers. II. Im Gegensatz hierzu wurden für die Analyse des Merkmals Anzahl der Küken bei der Vaterzuchtlinie die produzierten Küken aus einem Zeitraum von 24 Wochen von der 32. bis 56. Lebenswoche zugrunde gelegt. Da nicht alle produzierten Bruteier bei der Mutterzuchtlinie wie bei der Vaterzuchtlinie zu einem Schlupftest herangezogen wurden, stellen die im folgenden berechneten Mittelwerte nicht das absolute Leistungsniveau der Mutterhennen dar (s. Kapitel 3). Sie können lediglich als relatives Leistungsniveau für die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Einflussfaktoren dienen.

Die varianzanalytische Auswertung des Datenmaterials für die Mast-Mutterhennen (MZL) ist für die beiden Versuchsdurchgänge in den Tabellen 4.40 und 4.41 aufgelistet. In der Versuchsreihe I ist weder ein signifikanter Einfluss des Befiederungstyps noch des Körpergrößentyps der Henne auf die Anzahl der Küken nachzuweisen. Es wirkt ausschließlich die Umwelttemperatur hoch signifikant auf die Anzahl der produzierten Küken. Der Dauertemperaturstress verursacht eine Reduktion der Anzahl der Küken von 55 Prozent. Da keine signifikante Wechselwirkung zwischen Befiederungstyp der Hennen und Umwelttemperatur besteht, führt die Einkreuzung des Lockengens in heterozygoter Form unter der Wärmebelastung folglich nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Zahl der produzierten Küken.

Ebenso verhält es sich mit der Wirkung des Verzweigungsgens. Auch eine Kombination der beiden Majorgene Locken- und Zwerggen (*Ffdw*-) übt keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Küken aus, weder unter Wärmestress noch unter den Bedingungen des Kontrollstalls.

Im Vers. II ist neben der Wirkung der Hauptfaktoren Hennenbefiederungstyp, Hennenkörpergröße und Umwelttemperatur alleine eine hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Hennenbefiederungstyp und Umwelttemperatur nachzuweisen. Im Vergleich zu

normalbefiederten Hennen ist bei homozygoten Lockenhennen die Anzahl an produzierten Küken um 35 % höher (61,8 vs. 45,7). Eine mögliche Ursache für diese verbesserte reproduktive Leistung der Lockenhennen ist die Befiederungstyp x Umwelt - Wechselwirkung zu Gunsten der Lockenhennen unter Wärmestress. Die reproduktive Leistung der Lockenhennen unter der Temperaturbelastung liegt deutlich über der der normalfiedrigen Hennen (72,5 vs. 12,0). Unter der Bedingung der gemäßigten Kontrollumwelt weist das Fruchtbarkeitsgeschehen eine umgekehrte Tendenz auf insofern, als das Leistungsniveau der Lockenhennen signifikant unter dem der normalfiedrigen Hennen liegt (51,2 vs. 79,4).

Tab. 4.40: Anzahl der Küken je Anfangshenne (MZL)
Chick number (MZL)

Varianzursache	Vers. I		Vers. II	
	SQ-Typ-III	P-Wert	SQ-Typ-III	P-Wert
	F-Wert		F-Wert	
Federstruktur der Henne (F)	0,26	≤0,6095	8,7	≤0,0036
Körpergrößentyp der Henne (K)	0,55	≤0,4581	7,1	≤0,0084
Umwelttemperatur (U)	37,80	≤0,0001	17,9	≤0,0001
F x U	0,58	≤0,4484	66,4	≤0,0001
F x K	0,00	≤0,9596	0,4	≤0,5062
K x U	0,65	≤0,4217	2,1	≤0,1498
F x K x U	0,97	≤0,3246	0,6	≤0,4440

Die Einkreuzung des Verzweigungsgens führt zu einer signifikanten Verringerung der reproduktiven Leistung um 30 Prozent. Dabei besteht weder eine signifikante Wechselwirkung mit der Umwelttemperatur noch mit dem Hennenbefiederungstyp. Entsprechendes gilt für die Interaktion zweiter Ordnung. Allerdings verdeutlicht die Betrachtung der Mittelwerte, dass die Kombination der Genotypen *FF* und *dw-* zu einem verstärkt negativen Effekt auf die Reproduktionsleistung in der Kontrollumwelt führt. Während die Reproduktionsleistung der normalbefiederten Hennen des Normalwuchses *ffDw-* unter den gemäßigten Umwelttemperaturen bei 90,9 Küken liegt, beträgt die Leistung der gelockten Zwerge *FFdw-* in der Kontrollumwelt lediglich 40,2 Küken.

Die Analyseergebnisse für die schweren Mast –Elternhennen (VZL) sind der Tabelle 4.42 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen neben einer schwach abgesicherten Wirkung des Hennengenotyps keinen signifikanten Einfluss des Hahnengenotyps auf die Kükenanzahl. Dabei ist die Interpretation der Wirkung des Hahnengenotyps auf die

Kükenanzahl pro eingestellte Henne durch die Einbeziehung von Nichtlegern und Abgängen eingeschränkt und experimentspezifisch.

Tab. 4.41: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Anzahl der Küken (MZL)
LSQ-means and standard errors for chick number (MZL)

Effekt	Versuch I	Versuch II
	LSQ-Mittelwerte	LSQ-Mittelwerte
Umwelttemperatur		
W	11,0±1,4 ^a	42,2±3,8 ^a
K	23,7±1,5 ^b	65,3±3,8 ^b
Federstruktur der Henne		
F.	16,8±1,3	61,8±3,8 ^a
ff	17,9±1,6	45,7±3,8 ^b
Körpergrößentyp der Henne		
dw-	18,1±1,4	46,5±3,8 ^a
Dw-	16,6±1,4	61,1±3,8 ^b
Hennenfederstruktur x Umwelttemperatur		
F. x W	11,3±1,8	72,5±5,4 ^a
F. x K	22,4±1,8	51,2±5,4 ^b
ff x W	10,8±2,3	12,0±5,4 ^c
ff x K	25,0±2,0	79,4±5,4 ^a
Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur		
dw- x W	12,6±2,0	39,0±5,4
dw- x K	23,7±2,0	54,0±5,5
Dw- x W	9,4±2,2	45,6±5,5
Dw- x K	23,8±1,9	76,5±5,4
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße		
F. x dw-	17,7±1,7	52,8±5,3
F. x Dw-	16,0±1,9	71,9±5,5
ff x dw-	18,6±2,2	40,3±5,4
ff x Dw-	17,2±2,3	51,2±5,4
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur		
F. x dw- x W	11,9±2,2	65,2±7,5
F. x dw- x K	23,4±2,5	40,2±7,7
ff x dw- x W	13,3±3,3	12,7±7,7
ff x dw- x K	23,9±3,7	68,0±7,7
F. x Dw- x W	10,6±2,7	79,7±7,9
F. x Dw- x K	21,4±2,7	62,1±7,7
ff x Dw- x W	8,2±3,5	11,5±7,7
ff x Dw- x K	26,7±2,8	90,9±7,7

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); W=Warmstall, K=Kontrollstall

Erwartungsgemäß ist die Wirkung der Umwelttemperatur hoch signifikant. Unter Warmstallbedingungen ist die Anzahl der produzierten Küken (um 46 %) erheblich niedriger als im Kontrollstall.

Tab. 4.42: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Anzahl der Küken je Anfangshenne in 24 Wochen (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance for produced chicks in 24 weeks (VZL)

Varianzursache	LSQ-Mittelwerte	F-Wert	P-Wert
Hahnengenotyp		1,00	≤0,3198
NaNa	24,6±1,2		
nana	27,4±2,0		
Umwelttemperatur		29,48	≤0,0001
W	18,3±3,4 ^a		
K	33,7±2,9 ^b		
Hennengenotyp		3,95	≤0,0487
NaNa	28,8±1,2 ^a		
nana	23,2±2,0 ^b		
Hennengenotyp x Umwelttemperatur		28,24	≤0,0001
NaNa x W	28,7±2,8 ^a		
NaNa x K	29,0±2,8 ^a		
nana x W	8,0±2,8 ^b		
nana x K	38,4±2,8 ^c		
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur		1,26	≤0,2630
NaNa x W	15,3±2,8		
NaNa x K	33,9±2,8		
nana x W	21,3±2,9		
nana x K	33,5±2,7		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		0,14	≤0,7095
NaNa x NaNa	26,9±2,4		
NaNa x nana	22,3±3,0		
nana x NaNa	30,8±3,0		
nana x nana	24,0±2,6		
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur		0,26	≤0,6089
NaNa x NaNa x W	24,4±2,5		
NaNa x NaNa x K	29,4±3,5		
NaNa x nana x W	6,2±4,3		
NaNa x nana x K	38,4±4,4		
nana x NaNa x W	32,9±4,4		
nana x NaNa x K	28,6±4,3		
nana x nana x W	9,7±3,8		
nana x nana x K	38,5±3,4		

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$); W=Warmstall; K=Kontrollstall

Dieser deutliche temperaturbedingte Leistungsunterschied liegt offensichtlich in der wärmebedingten Leistungsminderung der normalbefiederten Hennen und führt infolgedessen zu einer statistisch hoch signifikanten Wechselwirkung zwischen den Einflussfaktoren Hennengenotyp und Umwelttemperatur.

Vergleicht man die Anzahl der Küken der normalbefiederten Hennen unter dem Temperaturstress mit der Anzahl der Küken der Hennen desselben Genotyps im Kontrollstall,

wird ersichtlich, dass die Dauertemperaturbelastung bei normalbefiederten Hennen zu einem erheblichen Rückgang der Kükenzahl von ca. 80 % (38,4 vs. 8,0) führt. Auch bei der Betrachtung der dreifachen Wechselwirkung sind die Ergebnisse bei der Paarung von normalbefiederten Hähnen mit normalbefiederten Hennen (*nana* x *nana*) ähnlich (38,5 vs. 9,7).

Im Gegensatz dazu ist bei Nackthalshenen keine wärmebedingte Leistungsdepression erkennbar. Es besteht kaum ein Unterschied im Leistungsniveau von Nackthalshenen unter gemäßigten und warmen Umweltbedingungen (28,7 vs. 29,0). Unter der Berücksichtigung des Hahneneffektes, also der Betrachtung der dreifachen Wechselwirkung, ist allerdings die produzierte Anzahl an homozygoten Nackthalsküken (*NaNa* x *NaNa*) unter Temperaturbelastung geringfügig reduziert (24,4 vs. 29,4).

Unter den Bedingungen der Kontrollumwelt ist die Anzahl produzierter Küken der Nackthals-Hennen verglichen mit derjenigen der normalbefiederten Hennen signifikant um 25 % verringert.

Daraus lässt sich schließen, dass sich unter Wärmestress ein stressreduzierender Effekt des Lockengens positiv auf die Kükenzahl auswirkt, während unter gemäßigten Temperaturen die Einzüchtung des Nackthalsgens aufgrund erhöhter embryonaler Mortalität zu einem Rückgang der reproduktiven Leistung führt.

4.10 Kükengewicht

Da das Merkmal Kükengewicht weitgehend abhängig vom Eigewicht variiert, sind erwartungsgemäß bei der Betrachtung der Ergebnisse des Analysemodells I (s. Kapitel 3) die Hauptfaktoren Hennenbefiederungstyp, Hennenkörpergröße, Umwelttemperatur sowie die Kombination zwischen Hennengenotyp und Umwelttemperatur, welche bereits bei dem Merkmal Eigewicht eine gesicherte Wirkung zeigten, von deutlichem Einfluss auf das Merkmal Kükengewicht (Tabelle 4.43).

Unabhängig von der Körpergröße der Hennen führt die Temperaturbelastung bei normalbefiederten Hennen der Mutterzuchtlinie (MZL) zu einer signifikanten Reduktion des Gewichtes von 18 % (40,1 g vs. 32,9 g) bei den Küken. Dagegen besteht bei gelockten Hennen kein signifikanter Einfluss der hohen Umwelttemperatur auf die Kükengewichte (43,6 g vs. 42,1 g).

Der Vergleich der Mittelwerte bei beiden Hennenbefiederungstypen verdeutlicht, dass nicht nur unter Temperaturstress, sondern auch unter gemäßigten Temperaturen die Lockenfiedrigkeit der Hennen (*FF*) zu einer signifikanten Gewichtserhöhung bei den Küken führt. Die Überlegenheit der Lockenhennen im Merkmal Kükengewicht beträgt unter der Temperaturbelastung 28 % und in der gemäßigten Umwelt 8,7 %.

Tab. 4.43: F-Werte für das Merkmal Kükengewichte (MZL)
F-values with levels of significance for chick weight (MZL)

Varianzursache	Versuch II			
	Modell I		Modell II (Berücksichtigung des Eigewichtes als Kovariable im Modell)	
	F-Wert	Signif. niveau	F-Wert	Signif. niveau
Hahnengenotyp (H)	10,20	≤0,3117	0,00	≤0,9621
Federstruktur der Henne (F)	144,50	≤0,0001	6,69	≤0,0104
Körpergrößentyp der Henne (K)	16,10	≤0,0001	0,69	≤0,4075
Umwelttemperatur (U)	63,10	≤0,0001	0,69	≤0,4088
H x F	0,00	≤0,9890	0,01	≤0,9380
H x K	0,40	≤0,5285	0,17	≤0,6836
H x U	0,02	≤0,8893	0,47	≤0,4928
F x U	28,6	≤0,0001	1,25	≤0,2645
K x U	0,18	≤0,6761	1,63	≤0,2041
F x K	0,45	≤0,4992	1,47	≤0,2270
H x F x K	1,10	≤0,2943	0,83	≤0,3631
H x F x U	0,10	≤0,7517	0,01	≤0,9158
H x K x U	0,00	≤0,9835	0,01	≤0,9263
F x K x U	2,49	≤0,0881	3,27	≤0,0726
H x F x K x U	0,29	≤0,5919	0,19	≤0,6642
Eigewicht			2964	≤0,0001

Insgesamt führt eine Korrektur der Eigengewichtswirkung zu einer Einengung der Variation und zu einer Verringerung der Gewichtsunterschieden bei unterschiedlichen Stufen der Einflussfaktoren. Weiterhin führt die Korrektur der Eigengewichtswirkung zu einer vollständigen Eliminierung der depressiven Wirkung der hohen Umwelttemperatur auf das Merkmal Kükengewicht, was bei einem Vergleich der LSQ-Mittelwerte deutlich wird. Dies lässt den Schluss zu, dass eine temperaturbedingte Reduktion der Kükengewichte eher durch die wärmebedingte Verringerung der Eigewichte verursacht ist und weniger durch den Einfluss der hohen Umwelttemperaturen an sich auf die embryonale Gewichtsentwicklung.

Tab. 4.44: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Kükengewicht (MZL)
LSQ-means and standard errors for chick weight (MZL)

Varianzursache	Modell I	Modell II (Berücksichtigung des Eigewichtes als Kovariable im Modell)
	LSQ-Mittelwerte	LSQ-Mittelwerte
Hahnengenotyp		
FFDwDw	39,5±0,3	41,1±0,1
ffDwDw	39,8±0,3	41,1±0,1
Umwelttemperatur		
W	37,5±0,4 ^a	41,0±0,1
K	41,8±0,4 ^b	41,2±0,1
Federstruktur der Henne		
FF	42,8±0,3 ^a	41,4±0,1 ^a
ff	36,5±0,4 ^b	40,9±0,2 ^b
Körpergrößentyp der Henne		
dw-	38,7±0,3 ^a	41,1±0,1
Dw-	40,7±0,4 ^b	41,2±0,1
Hennenfederstruktur x Umwelttemperatur		
FF x W	42,1±0,5 ^a	41,2±0,2
FF x K	43,6±0,5 ^a	41,5±0,1
ff x W	32,9±0,6 ^b	40,9±0,3
ff x K	40,1±0,5 ^c	40,8±0,1
Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur		
dw- x W	36,6±0,5	41,1±0,2
dw- x K	40,7±0,5	41,0±0,2
Dw- x W	38,4±0,6	40,0±0,2
Dw- x K	42,9±0,5	41,4±0,1
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße		
FF x dw-	42,0±0,5	41,2±0,2
FF x Dw-	43,7±0,5	41,6±0,1
ff x dw-	35,4±0,5	40,9±0,2
ff x Dw-	37,7±0,6	40,8±0,2
Hennenfederstruktur x Hennenkörpergröße x Umwelttemperatur		
FF x dw- x W	40,9±0,7	41,0±0,2
FF x dw- x K	43,1±0,6	41,4±0,2
ff x dw- x W	32,3±0,8	41,2±0,3
ff x dw- x K	38,3±0,7	40,6±0,2
FF x Dw- x W	43,3±0,6	41,4±0,2
FF x Dw- x K	44,1±0,7	41,7±0,2
ff x Dw- x W	33,5±0,9	40,6±0,4
ff x Dw- x K	41,8±0,6	41,1±0,2

W=Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ($P \leq 0,05$);

Unter der Berücksichtigung des Eigewichtes im Modell II besteht nur ein gesicherter Einfluss des Hennenbefiederungstyps auf das Kükengewicht. Die Einzüchtung des Gens für Lockenfiedrigkeit führt bei beiden Analysemodellen und zwar temperaturunabhängig zu einer

signifikanten Erhöhung der Kükengewichte. Dabei besteht nur eine Wirkung des Genotyps der Henne bzw. eine maternale Wirkung auf das Kükengewicht. Folglich ist diese Wirkung bei den Lockentieren nicht als ein Einfluss des *F*-Gens per se zu interpretieren, da es nicht durch den embryonalen Genotyp selbst verursacht ist.

Ohne die Korrektur der Eigewichtswirkung auf das Kükengewicht führt die Einzüchtung des Verzweigungsgens zu einer signifikanten Reduktion der Kükengewichte um 5 Prozent. Da aber eigewichtsunabhängig kein signifikanter Einfluss des Verzweigungsgens auf die Kükengewichte festzustellen ist, ist sein reduzierender Einfluss auf die Kükengewichte indirekt durch die Verminderung der Eigewichte determiniert.

Wie aus den varianzanalytischen Ergebnissen für die Vaterzuchtlinie (VZL) zu entnehmen ist (Tabelle 4.45), ist bei beiden Modellen die Wirkung des Hahnengenotyps auf die Kükengewichte unbedeutend. Während bei dem Analysemodell I neben den direkten Wirkungen des Hennengenotyps und der Umwelttemperatur auch eine Hennengenotyp x Genotyp - Interaktion zugunsten der Nackthalshennen unter dem Temperaturstress besteht, ist im Analysemodell II lediglich der Einfluss des Hennengenotyps auf das Merkmal Kükengewicht signifikant nachzuweisen.

Ohne die Berücksichtigung einer Korrektur der Eigewichtswirkung auf das Kükengewicht (Modell I) beträgt die durch Wärmebelastung verursachte signifikante Gewichtsreduktion bei Nackthalshennen 1,6 g bzw. 4 % und bei normalbefiederten Hennen 5,7 g bzw. 14 Prozent. Also übt eigewichtsabhängig die hohe Umwelttemperatur bei beiden Hennengenotypen eine signifikante depressive Wirkung auf die Kükengewichte aus, wenngleich der Umfang der Reduktion bei den Nackthalshennen aufgrund ihrer günstigen Wärmeabgabefähigkeit wesentlich geringer ausfällt.

Im Gegensatz dazu kann bei beiden Hennengenotypen eigewichtsunabhängig (Modell II) keine Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die Kükengewichte nachgewiesen werden. Dadurch wird bestätigt, was bereits bei mittelschweren Elterntieren in diesem Experiment festgestellt wurde, dass eine temperaturbedingte Reduktion der Kükengewichte lediglich durch eine wärmebedingte Verringerung der Eigewichte hervorgerufen wird (s. Kapitel 4.5).

Tab. 4.45: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Kükengewicht (g), (VZL)
LSQ-means, standard errors and F-values with levels of significance for chick weight (VZL)

Varianzursache	Modell I		Modell II (Berücksichtigung des Eigewichtes als Kovariable im Modell)	
	LSQ-Mittelwerte (g)	F-Wert u. Signif. -niveau	LSQ-Mittelwerte (g)	F-Wert u. Signif. -niveau
Hahnengenotyp		0,31		0,37
NaNa	39,2±0,3	≤0,5764	40,4±0,1	≤0,5420
nana	39,1±0,4		40,6±0,2	
Umwelttemperatur		41,28		1,31
Warm (W)	37,3±0,3 ^a	≤0,0001	40,7±0,1	≤0,2537
Kontroll (K)	41,0±0,5 ^b		40,3±0,2	
Hennengenotyp		36,13		9,55
NaNa	40,8±0,3 ^a	≤0,0001	40,9±0,2 ^a	≤0,0023
nana	37,4±0,3 ^b		40,1±0,1 ^b	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		0,53		0,16
NaNa x NaNa	40,6±0,3	≤0,4667	40,9±0,2	≤0,6929
NaNa x nana	37,5±0,6		40,0±0,3	
nana x NaNa	41,1±0,4		40,9±0,2	
nana x nana	37,4±0,5		40,2±0,2	
Hahnengenotyp x Umwelttemperatur		0,26		0,06
NaNa x W	37,3±0,6	≤0,6101	40,6±0,3	≤0,8059
NaNa x K	40,7±0,4		40,2±0,2	
nana x W	37,3±0,5		40,7±0,2	
nana x K	40,1±0,5		40,4±0,2	
Hennengenotyp x Umwelttemperatur		13,62		0,06
NaNa x W	40,0±0,5 ^a	≤0,0003	41,1±0,2	≤0,8059
NaNa x K	41,6±0,5 ^b		40,7±0,2	
nana x W	34,6±0,7 ^c		40,2±0,4	
nana x K	40,3±0,5 ^{ab}		40,0±0,2	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp x Umwelttemperatur		0,46		2,58
NaNa x NaNa x W	40,1±0,5	≤0,4991	41,3±0,2	≤0,1080
NaNa x NaNa x K	41,2±0,5		40,5±0,2	
NaNa x nana x W	34,6±1,1		39,9±0,6	
NaNa x nana x K	40,4±0,6		40,0±0,2	
nana x NaNa x W	40,1±0,7		40,9±0,3	
nana x NaNa x K	42,1±0,5		41,0±0,3	
nana x nana x W	34,6±0,7		40,5±0,4	
nana x nana x K	40,2±0,5		39,9±0,2	
<i>Eigewicht</i>				≤0,0001

W=Warmstall; K=Kontrollstall; Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (P≤0,05);

Ähnlich wie in beiden Analysemodellen, wie bereits auch bei mittelschweren Muttertieren festgestellt und beschrieben, ist auch hier eine signifikante Erhöhung der Kükengewichte bei

nackthalsigen Hennen gegenüber der Vollbefiederung feststellbar. Da nur eine herkunftsabhängige (maternale) Auswirkung des Nackthalsgens auf die Embryonengewichte besteht bzw. weder ein Einfluss des Hahnengenotyps noch eine Hahnengenotyp x Hennengenotyp - Interaktion auf das Merkmal Kükengewicht nachzuweisen ist, kann eine gewichtserhöhende Wirkung des Nackthalsgens per se während der Embryonalentwicklung ausgeschlossen werden (s. Kapitel 5).

5. Diskussion

Unter thermischer Belastung ist ein Rückgang der reproduktiven Leistung zu erwarten. Mittels züchterischer und managementtechnischer Verbesserungen kann eine Reduzierung der wärmebedingten Leistungsdepression erzielt werden. An heißen Standorten können tropenrelevante Majorgene zur Verbesserung des Wärmeabgabemechanismus und der Adaptationsfähigkeit insbesondere bei Mast-Elternpopulationen in Leistungslinien übertragen und züchterisch genutzt werden. Bei den vorliegenden Untersuchungen steht die Analyse der genetischen Effekte und der züchterischen Einflussnahme auf das Fruchtbarkeitsgeschehen der Mast-Elterntiere unter Wärmebelastung im Vordergrund. Entsprechend dem in der Praxis üblichen Produktionssystem für die Mastgeflügelzucht dienten in diesen Versuchsreihen zwei genetisch differenzierte Mast-Elternlinien als Grundlage. Die Broilermutterlinie (Mutterzuchtlinie) mit hoher Reproduktionsrate und guter Mastleistung ist Träger der Majorgene für Zwergwüchsigkeit (*dw-*) und Lockenfiedrigkeit (*F*), während die schwere Broilervaterlinie (VZL) mit genetischer Anlage für hohe Mastleistung Träger des Majorgens für Nackthalsigkeit (*Na*) ist.

Mortalität von adulten Hennen

Die Überlebensfähigkeit der Tiere unter Temperaturstress stellt ein wichtiges Merkmal innerhalb des Gesamtkomplexes reproduktives Adaptationsvermögen dar. Saisonal auftretende Hitzeperioden in tropischen und subtropischen Regionen führen oft zu hohen Mortalitätsraten. Untersuchungen an Broilermutterhennen am tropischen Standort zeigen eine deutlich erhöhte Mortalitätsrate durch die Hitzebelastung (Mennicken, 1995). Die Bereitstellung von haltungstechnischen Maßnahmen wie gekühltes Trinkwasser und erhöhte Ventilation erbrachten eine signifikante Erhöhung der Überlebensfähigkeit der Broilerhennen.

Die konstante Wärmebelastung in dem vorliegenden Experiment führt ebenfalls bei normalfiedrigen Hennen der mittelschweren Hennen der Mutterzuchtlinie zu einer deutlichen Verringerung der Überlebensrate. Während das *F*-Gen in heterozygoter Form eine tendenzielle Verbesserung der Überlebensfähigkeit bei Wärmebelastung bewirkt, führt der homozygote Genotyp des Lockengens aufgrund wesentlich effektiverer Wärmeabgabe zu einer deutlich höheren Reduktion der wärmebedingten Mortalität der Hennen. Bei

Legehennen beschreibt von Haaren-Kiso (1991) auch eine positive signifikante *F*-Genwirkung auf die Mortalität, gemessen am Abgangsalter der Legehennen bei einer Versuchsdauer von 52 Wochen. Die thermische Belastung verursacht auch bei normalbefiederten Hennen der schweren Zuchtlinie (VZL) Abgangsraten von 37,5 % während der 52-wöchigen Legeperiode. Der fast lineare Verlauf der kumulativen Abgangsrate deutet auf eine permanente Wärmebelastung der normalfiedrigen Hennen während der gesamten Legeperiode hin. Die Einzüchtung des *Na*-Gens bedingt jedoch eine signifikante Reduktion der wärmebedingten Mortalität der Hennen. Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen ist die Abgangsrate mit jeweils 2,5 % bei beiden Hennengenotypen gleich hoch und auf relativ geringem Niveau. Die durch den Hennengenotyp hervorgerufene Differenzierung der Abgänge unter Wärmestress (bei gleichzeitiger gleicher Anzahl der Abgänge der beiden Hennengenotypen unter gemäßigten Temperaturen) äußert sich in signifikanten Hennengenotyp x Umwelt - Wechselwirkungen. Dieser Befund ist analog zu den Untersuchungsergebnissen von Rauen (1985) an Legehennen, der für den gleichen Zeitraum ebenfalls eine deutlich erhöhte Mortalität der normalbefiederten Hennen bei konstanter Wärmebelastung von 32 °C sowie eine deutliche Reduzierung der Abgangsrate durch die Einzüchtung des Nackthalsgens nachgewiesen hat.

Gewichtsentwicklung

Im Hinblick auf die Wirkung des Lockengens ist eine deutliche Differenzierung in der Körpergewichtsentwicklung der Junghennen in Abhängigkeit von der genotypischen Form festzustellen. Während im Vergleich zur Normalbefiederung die heterozygote Besetzung des *F*-Locus keinen Einfluss auf die Gewichtszunahmen ausübt, führt die homozygote Form des *F*-Gens zu einer Depression in der Körpergewichtsentwicklung. Die Einzüchtung des Verzweigungsgens bewirkt erwartungsgemäß eine deutliche Verringerung des Körperwachstums.

Unter der gemäßigten Umweltbedingung während der Junghennenaufzucht bewirkt eine Verknüpfung der beiden Majorgene in Form von gelockten Zwergen (*FF* und *dw*-) über deren Kombinationseffekt hinaus eine spezifische Depression der Gewichtsentwicklung, die durch die *dw*-Gen bedingte Einschränkung der Futteraufnahmekapazität gepaart mit lockengenbedingtem exzessivem Körperwärmeverlust hervorgerufen wird. Die Aufzucht der Junghennen unter der Bedingung der Versuchsreihe III (also ad libitum -Fütterung, geringere

Besatzdichte und vor allem Haltungstemperaturen von ca. 24 °C) verdeutlichen jedoch, dass die negative Kombinationswirkung der beiden Majorgene auf die Gewichtsentwicklung bei angepassten Haltungstemperaturen nicht auftritt (Abb. 4.2).

Die beobachtete retardierende Kombinationswirkung der beiden Gene (*FFdw*-) unter den gemäßigten Aufzuchtbedingungen der Junghennen (Vers. II) auf die Gewichtsentwicklung der Hennen hält auch während der Legeperiode an, und zwar nicht nur unter gemäßigten, sondern auch unter hohen Umwelttemperaturen. Obgleich die Zwerge während der Legeperiode ad libitum gefüttert wurden, ist kein kompensatorisches Wachstum unter hohen Umwelttemperaturen erkennbar. Generell führt eine Umstellung der Broilerhennen auf ad libitum -Fütterung nach einer Phase strenger 22-wöchiger Futterrestriktion zu einem kompensatorischen Wachstum (Brody et al., 1980). Bei dem vorliegenden Experiment nehmen die Körpergewichte der verzweigten Hennen sowohl unter Temperaturstress als auch unter gemäßigten Umwelttemperaturen zwar zu, jedoch im Vergleich zu normalfiedrigen Hennen des Kontrollstalls mit deutlich geringerer Intensität, so dass die Gewichtsunterschiede in der 72. Lebenswoche sogar größer als in der 20. Lebenswoche sind.

Aus einer Literaturübersicht von Merat (1990; 1986) geht hervor, dass bei Umwelttemperaturen von unter 20 °C die Gewichtsentwicklung der nackthälsigen Masttiere (8. bzw. 10. Lebenswoche; leichte und schwere Herkünfte) gegenüber derjenigen der normalbefiederten reduziert ist, während bei Temperaturen um 30 °C und mehr das umgekehrte Verhältnis zutrifft. Allerdings beziehen sich diese Angaben auf Tiere, deren 8-Wochengewichte selbst bei schweren Herkünften kaum mehr mit dem Wachstum der heutigen modernen Broiler vergleichbar sind (Cahaner et al., 1993; Singh et al., 2001).

Deutlich höhere 6- bzw. 8 -Wochen-Gewichte konnten durch die Einkreuzung des Nackthalsgens (*NaNa* u. *Nana*) unter experimentellen Bedingungen sowohl unter hohen (32 °C) als auch unter mittleren Umwelttemperaturen von 23 °C (Cahaner et al., 1993) bzw. von 21 °C (Eberhart and Washburn, 1993) erzielt werden. Allerdings zeigen die Versuche von Yalcin et al. (1997), dass unter den saisonalbedingten gemäßigten Umweltbedingungen am subtropischen Standort mit diurnal wechselnden Temperaturen keine Erhöhung der Gewichte durch das Nackthalsgen stattfindet, wohl aber während heißer Jahreszeiten. Auch in diesem Experiment unter restriktiver Fütterung zeichnet sich bereits ab der zweiten Lebenswoche eine signifikant verbesserte Gewichtsentwicklung der homozygot nackthälsigen Tiere gegenüber den normalbefiederten Küken ab, und zwar sowohl der männlichen als auch der

weiblichen Küken (Abb. 4.1).

Unter dem Aspekt einer positiven Wirkung des Nackthalsgens auf Gewichtsentwicklung, Futteraufnahme, Brustmuskelfleisch und einer reduzierenden Wirkung auf den Hautanteil unter den gemäßigten und mehr prägnant unter den hohen Umwelttemperaturen (Cahaner et al., 1993) bietet dieses Gen züchterische Perspektiven nicht nur in tropenorientierten Zuchtungsstrategien.

Im vorliegenden Experiment wirken die gemäßigten Umwelttemperaturen während der Legeperiode ungünstig auf die Körpergewichtsentwicklung der Nackthalshennen. Die deutlichen Gewichtsunterschiede der beiden Hennengenotypen deuten auf einen höheren Energieverbrauch der Nackthälse zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur hin.

Niedrige Umwelttemperaturen, die in den ersten 32 Wochen der Legeperiode im Durchschnitt bei 17,8 °C liegen, restriktive Fütterung und zunehmende Entfiederung durch Federabrieb im Laufe der Legeperiode wirken zusätzlich zur befiederungsreduzierenden Wirkung des Nackthalsgens depressiv auf die Gewichtsentwicklung der nackthälsigen Hennen.

Unter hohen Umwelttemperaturen sind die Unterschiede in der Körpergewichtszunahme zwischen den beiden Genotypen weniger differenziert, wobei höhere Gewichtszunahmen bei den *NaNa*-Hennen aufgrund ihrer stärkeren Wärmeabgabe erst ab der 40. Lebenswoche zum Vorschein kommen. Die Ergebnisse von Rauen (1985) zeigen ebenfalls eine reduzierende Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf die Gewichtszunahme bei den normalbefiederten Legehennen und deutlich weniger ausgeprägt auch bei den heterozygoten Nackthalshennen. Übereinstimmend mit den Ergebnissen in diesem Experiment ist ebenso die retardierende Wirkung der gemäßigten Umwelttemperaturen auf die Gewichtsentwicklung der *Nana*-Hennen beschrieben. Allerdings ist die Körpergewichtsdifferenzierung der beiden Hennengenotypen unter der Einwirkung der gemäßigten Umwelttemperaturen bei Rauen (1985) wesentlich weniger ausgeprägt, als es bei diesem Experiment der Fall ist. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass es sich bei den Versuchen von Rauen (1985) um heterozygote Merkmalsträger handelt, während hier die Hennen homozygot für die Nackthalsigkeit waren.

Sexuelle Reife und Legeleistung

Im Hinblick auf die reproduktive Leistung der Broilerhennen kommt der Steuerung der Körpermasseentwicklung besondere Bedeutung zu. Eine positive Einflussnahme auf die

reproduktive Leistung (Legeleistung, Bruteanteil, Fertilität und Schlupffähigkeit) der Broilermutterhennen durch eine Begrenzung der Körpergewichtsentwicklung wurde vielfach dokumentiert (Pym and Dillon, 1974; Mc Daniel et al., 1981a; Wilson et al., 1983; Yu et al., 1992; Hocking, 1993). Jedoch kann eine extreme Begrenzung der Körpergewichtsentwicklung durch Futterrestriktion bzw. durch züchterische Einflussnahme eine Verzögerung der sexuellen Reife, einen hohen Anteil an Nicht-Legern und damit verbunden eine Reduktion der Herdenleistung hervorrufen (Pym and Dillon, 1974; Brody et al., 1980; Siegel and Dunnington, 1985; Robbins et al., 1986; Triuwanta et al., 1992; Attia et al., 1995).

Da die Körpermasseentwicklung und Körperzusammensetzung neben dem Faktor Alter für das Einsetzen der Geschlechtsreife bedeutsam sind (Brody et al., 1980; Dunnington et al., 1983; Chambers, 1990), haben die Haltungsbedingungen und das Fütterungsregime während der Aufzucht einen entscheidenden Einfluss auf die Geschlechtsreife.

In Abhängigkeit von der Wirkung des Lockengens und dessen genotypischer Form und in Kombination mit dem Zwerg-Genotyp, Umwelttemperatur und Fütterungsregime besteht eine klare Differenzierung im Merkmal Geschlechtsreife (Abb. 4.5). Insgesamt ist eine retardierende Wirkung durch die Einzüchtung des Verzweigungsgens sowohl unter hohen als auch unter gemäßigten Umwelttemperaturen festzustellen. Besonders hervorzuheben ist aber die Kombination der beiden Gene, wobei der homozygote Typ im Hinblick auf die sexuelle Reife besonders sensibel auf niedrige Umwelttemperaturen reagiert. Offenbar ist das Wärmebedürfnis der verzweigten Lockentiere (*FF*) für die Optimierung der Geschlechtsreife deutlich höher.

Unter dem Aspekt der besonderen Bedeutung der Legeleistung für die Produktionseffizienz ist der Wirkung des Zwerggens (*dw*) per se oder indirekt durch Begrenzung der Körpergewichtsentwicklung und damit der Beeinflussung der sexuellen Reife eine wichtige Rolle beizumessen.

Die Beziehung zwischen Körpergewicht und Legeleistung ist kurvilinear (Horst und Petersen, 1979; Horst, 1985). Während sie bei schweren Mastpopulationen überwiegend negativ ist, ist sie bei sehr leichten Legepopulationen positiv (Petersen, 1994).

Die Angaben in der Literatur über den Einfluss des Verzweigungsgens auf Geschlechtsreife und Legeleistung sind sehr unterschiedlich. Die Einzüchtung des Verzweigungsgens bei

Legepopulationen führt zu einer Verzögerung der Legereife und zu einer Reduktion der Legeleistung (Petersen et al., 1977; Horst und Petersen, 1979; Rauen, 1985; Horst und Becker, 1991; Merat und Bordas, 1991; Merat et al., 1994b; Garces et al., 2001), wobei das Ausmaß der retardierenden Wirkung des *dw*-Gens auf die sexuelle Reife und die Legeleistung bei schwereren Herkunftsn im Vergleich zu leichten Legepopulationen weniger ausgeprägt ist (Hutt, 1959; Petersen und Horst, 1978; Becker, 1983; Siegel und Dunnington, 1985; Renden, 1987).

Bei Broilerhennen wurde eine verzögernde Wirkung, zum Teil sogar ein Vorverlegen der sexuellen Reife durch den Zwergfaktor nachgewiesen von einigen Autoren, von anderen nicht (Ricard und Cochez, 1971; Chambers et al., 1974; Kousiakis et al., 1985), und auch im Hinblick auf die Legeleistung wurde keine depressive Zwerggenwirkung festgestellt (Japp und Mohammadian, 1969; Ricard und Cochez, 1971; Chambers et al., 1974; Kousiakis et al., 1985; Merat und Bordas, 1991). Von daher ist in Abhängigkeit von dem genetischen Wachstumspotenzial des Populationshintergrunds die Wirkung des Zwerggens auf die sexuelle Reife und Legeleistung, in die das Zwerggen eingezüchtet wird, sowie der Umwelttemperatur, der Fütterung und des Managements differenziert zu bewerten.

Im Gegensatz zu der in der Literatur beschriebenen Wirkung des Zwerggens auf die Legeleistung der Broilermutterhennen bestehen bei allen vorliegenden Versuchsreihen deutliche Leistungsunterschiede zwischen den verzwergten und normalwüchsigen Hennen.

Allerdings liegen die Gewichte der Versuchshennen deutlich unter den in der Literatur zitierten Gewichten für Broilermutterhennen (Japp und Mohammadian, 1969; Prod'homme und Merat, 1969; Richard und Cochez, 1972; Van Middelkoop, 1973).

Andererseits besteht aber eine Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Leclercq und Blum (1975) (Rhode Island Red gekreuzt mit New Hampshire x White Rock) und Proudfoot et al. (1984), die ebenso eine retardierende Zwerggenwirkung auf die Legeleistung feststellten.

Geht man zunächst von der gemäßigten Temperaturstufe der Versuchsreihe I und Versuchsreihe II sowie von mittleren Umwelttemperaturen der Versuchsreihe III aus, so verringert die Einzüchtung des Verzweigungsgens die Legeleistung deutlich. Das auffallend niedrige Leistungsniveau der gelockten Zwerges des Versuchs II resultiert aus einer extremen Verzögerung der Legereife und höherem Anteil an Nicht-Legern durch die kombinierte Wirkung des Zwerg (*dw*) - und des doppelten Lockengeneffektes (*FF*) sowie des restriktiven

Fütterungsregimes. Der höhere Aufwand an aufgenommener Futterenergie für die Erhaltung durch die Homozygotie des Lockengens gepaart mit der Begrenzung der Futteraufnahmekapazität durch die Wirkung des Zwerggens führt zu einer Limitation der Energieverfügbarkeit für Wachstum und reproduktive Leistung besonders unter gemäßigten Umwelttemperaturen und unter Haltungsbedingungen, in denen die Futteraufnahmekonkurrenz zwischen den Tieren nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Diese hier gefundenen Ergebnisse stimmen mit denen von Landauer und Dunn (1930) überein, die einen erhöhten Anteil an sexuell nie reifenden, homozygoten Frizzlehähnen und -hennen verzeichneten. Ähnliche Wirkungen auf Wachstum und Reproduktion wurden auch bei extremen Futterrestriktionen für Broilermutterhennen nachgewiesen (Pym and Dillon, 1974; Brody et al., 1980; Siegel und Dunnington, 1985; Robbins et al., 1986; Triyuwanta et al., 1992; Attia et al., 1995).

Unter Temperaturbelastung reagieren die normalfiedrigen- und heterozygot gelockten Hennen mit deutlichem Leistungsrückgang, wobei kein Unterschied in der Legeleistung der normalwüchsigen und verzweigten Hennen beider Befiederungstypen besteht (Abb. 4.7 und Tabelle 4.8). Von daher nimmt die wärmebedingte Leistungsdepression bei verzweigten Hennen ein geringeres relatives Ausmaß an, was auch auf ein höheres Adaptationsvermögen der Zwerge hindeuten könnte. Aus dem höheren Adaptationsvermögen der Zwerge und der retardierenden Wirkung des Zwerggens auf die Legeleistung resultiert also ein antagonistisches Verhalten.

Während bei der Einzüchtung des Lockengens in heterozygoter Form unter den gemäßigten Temperaturen keine lockengenbedingte Leistungsdepression festzustellen ist und unter der hohen Temperatureinwirkung eine nicht signifikante Überlegenheit (16 %) durch die Lockenfiedrigkeit (*Ff*) gegenüber der Normalfiedrigkeit besteht, führt die Einkreuzung des Lockengens in homozygoter Form zu einer ausgeprägten Interaktion ($P \leq 0,0001$) zwischen den Faktoren Befiederungstyp und Umwelttemperatur. Während die homozygot gelockten Hennen (*FF*) unter den gemäßigten Temperaturen den normalfiedrigen Hennen in ihrer Leistung deutlich unterlegen sind, besteht unter der hohen Temperatureinwirkung eine deutliche Überlegenheit des Locken-Genotyps (Abb. 4.7, Tab. 4.8). In Bezug auf die Wirkung des heterozygoten Genotyps auf die Legeleistung stimmen diese Ergebnisse mit den Untersuchungen von von Haaren-Kiso (1991) und Männer (1991) überein, die ebenfalls keine Leistungsdepression unter den gemäßigten Umwelttemperaturen, aber eine Überlegenheit der

Ff-Hennen von 7 % unter Temperaturstress feststellten.

Wie bereits oben dargestellt, wiesen die nackthälsigen Junghennen während der Aufzucht höhere Gewichtszunahmen und während der Legeperiode in der gemäßigten Umwelt geringere Zuwächse auf als normalbefiederte Tiere. Andererseits sind die Nackthalshennen (*NaNa*) unabhängig von der Temperatur signifikant um 8 Tage früher reif als die *nana*-Hennen. Von daher bewirkt eine restriktive Fütterung der *NaNa*-Tiere in der Aufzucht keine verzögerte Geschlechtsreife.

Trotz reduzierter Gewichtsentwicklung der Nackthalshennen unter gemäßigten Temperaturen besteht kein Unterschied in der Legeleistung beider Genotypen. Jedoch reagieren die *nana*-Hennen der schweren Mastelertiere unter dem Einfluss hoher Umwelttemperaturen mit erheblicher Leistungsdepression, wobei das Ausmaß der wärmebedingten Leistungsreduktion wesentlich größer ist als bei Legehennen unterschiedlicher Körpergrößentypen (Horst und Petersen, 1979; Becker, 1983; Rauen 1985; von Haaren-Kiso, 1991) und bei schweren Mutterhennen (Chhum, 1994) unter ähnlicher Dauertemperaturbelastung (32 °C). Demgegenüber wirkt die Einzüchtung des Nackthalsgens dem wärmebedingten Legeleistungsrückgang deutlich entgegen. Im Gegensatz zu den Versuchsergebnissen von Rauen (1985), welche neben einer signifikanten wärmebedingten Leistungsdepression bei normalbefiederten Hennen ebenso auch bei heterozygoten Nackthalshennen eine wärmebedingte Leistungsdepression nachweisen, sind im vorliegenden Versuch die homozygoten Nackthälse unter der warmen Umweltbedingung in ihrer Leistung den Hennen der Kontrollumwelt sogar überlegen (Abb. 5.3 und Tabelle 4.6). Dies liegt an dem verbesserten Akklimatisationsvermögen und geringerem Energieerhaltungsbedarf der homozygoten Nackthalshennen an warmen Standorten.

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurden eine nachteilige Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf das Eigewicht sowie eine Reduzierung der Schalenstabilität nachgewiesen (Carmon und Huston, 1965; Horst und Petersen, 1977; El Jack und Blum, 1978; Ahvar, 1979; El Jack und de Reviere, 1979; Becker, 1983; Rauen, 1985; Sauveur und Picard, 1987; von Haaren-Kiso, 1991; Pech-Waffenschmidt, 1992; Chhum, 1994).

In Abhängigkeit von der genotypischen Form besteht eine deutliche Differenzierung in der Wirkung des Lockengens auf das Eigewicht sowie auf die Merkmale der Eiqualität sowohl unter den gemäßigten als auch unter den warmen Umwelttemperaturen. Während die

Einzüchtung des *F*-Gens in heterozygoter Form weder direkt noch in Wechselwirkung mit der Umwelttemperatur einen Einfluss auf die Qualitätsmerkmale, also auf Eigewicht sowie äußere und innere Einqualitätsmerkmale, ausübt, wirkt das Lockengen in homozygoter Form sowohl direkt als auch in Interaktion mit der Umwelttemperatur auf das Eigewicht.

Unter gemäßigten Umwelttemperaturen legen die homozygoten Lockenhennen um 8 % und unter hohen Umwelttemperaturen um 27 % schwerere Eier als normalbefiederte Hennen (Tabelle 4.10).

In einer Vielzahl von Untersuchungen ist ein negativer Einfluss des Verzweigungsgens auf das Eigewicht nachgewiesen worden (Prod'homme und Merat, 1969; Ricard und Cochez, 1972; Horst und Petersen, 1979; Bullermann-Hiendl, 1981; Kousiakos, 1985; Männer, 1991). So lässt sich auch bei den hier durchgeführten Experimenten eine gesicherte Verringerung des Eigewichtes bei verzweigten Hennen unter den gemäßigten Umwelttemperaturen feststellen. Unter den hohen Umwelttemperaturen ist allerdings auffällig, dass das Verzweigungsgen in beiden Experimenten uneinheitlich wirkt. Während im ersten Experiment die Zwergghennen sogar schwerere Eier legen als die normalwüchsigen Hennen, besteht bei der nachfolgenden Versuchsreihe (II) eine deutliche Differenz zwischen den beiden Körpergrößentypen zu Gunsten der normalwüchsigen Hennen. Zu vermuten ist, dass die Reduzierung der Eigrösse mit der höheren Legeleistung der verzweigten Hennen in diesem Versuchsdurchgang zusammenhängt.

Im Hinblick auf die Schalenstabilitätsmerkmale ist zwar auch bei Lockenhennen (FF) eine nachteilige Wirkung der hohen Umwelttemperaturen vorhanden, das Ausmaß der wärmebedingten Reduktion ist aber wesentlich weniger ausgeprägt als bei normalbefiederten Hennen. Die Ergebnisse der Schalenqualität spiegeln sich lediglich im Bruteianteil der normalwüchsigen Hennen wider. Unter der Wärmebelastung ist der Anteil an brutfähigen Eiern bei normalbefiedrigen normalwüchsigen Hennen (*ffDw*-) gegenüber den normalwüchsigen Lockenhennen (*FFDw*-) signifikant um 8,5 % reduziert (88,6 vs. 97,6). Dagegen besteht unter gemäßigten Umwelttemperaturen kein Unterschied zwischen beiden Genotypen (97,7 vs. 97,1 %).

Das Eigewicht ist bei normalbefiedrigen Hennen der schweren Mastlinie (VZL) unter dem Einfluss der hohen Dauertemperaturen im Vergleich zur Kontrollumwelt um 15 % reduziert. Der negative Einfluss der hohen Umwelttemperatur ist zwar auch bei Nackthalshennen wirksam, das Ausmaß der wärmebedingten Leistungsreduktion ist allerdings wesentlich

geringer (Abb. 5.3). Betrachtet man aber die insgesamt produzierte Eimasse unter Temperaturstress, nämlich die Komponenten der Legeleistung Eizahl und Eigewicht, so zeigen die Nackthalschennen (*NaNa*) unter Wärmebelastung sogar eine höhere Leistung als die beiden Genotypen unter gemäßigter Umwelttemperatur (*NaNa* 9,2 kg im Warmstall vs. *NaNa* 9,0 kg und *nana* 8,85 kg im Kontrollstall). Vermutlich führt auch die mit den niedrigen Körpergewichten verbundene Einschränkung des Erhaltungsbedarfs der Nackthalschennen (*NaNa*) unter hohen Umwelttemperaturen zu einer Erhöhung der Eizahl bei gleichzeitiger Verringerung des Eigewichtes (s. Kapitel 4).

Bei dem positiven Leistungseffekt der befiederungsverändernden Gene *K-*, *Na* und *F* wurde allerdings keine spezifische Genwirkung per se auf das Eigewicht nachgewiesen (Rauen, 1985; Katanbaf et al., 1989; Merat, 1990; von Haaren-Kiso, 1991; Männer, 1991; O'Sullivan et al., 1991; Männer, 1992; Chhum, 1994; Mennicken, 1995). Auch bei dem hier durchgeführten Experiment konnte in der gemäßigten Umwelt kein signifikanter direkter Einfluss des Nackthalsgens auf das Eigewicht aufgedeckt werden. Da das Eigewicht mit dem Körpergewicht positiv korreliert ist, dürften hierfür vielmehr die niedrigeren Körpergewichte der Nackthalschennen für die Eigewichtsdifferenzen verantwortlich sein.

Die Schalenstabilität ist unter thermischer Belastung sowohl bei normalbefiederten Hennen als auch bei nackthalsigen Hennen reduziert, wobei die wärmebedingte Reduktion bei den Nackthalschennen ein wesentlich geringeres Ausmaß einnimmt.

Die Ergebnisse der Merkmale der Schalenqualität spiegelt der Bruteianteil wider, der durch den Anteil an Bruch-, Knick- und Windeiern determiniert ist (Tab. 4.11 und Tab 4.17). Die wärmebelasteten normalgefiederten Hennen (*nana*) produzieren gegenüber den Nackthalschennen des Warmstalls sowie den Hennen des Kontrollstalls signifikant weniger brutfähige Eier.

Hohe Umwelttemperaturen führen zu einer Reduktion des Schalen- und Dotteranteils zu Gunsten des Klaranteils (Miller und Sunde, 1975; El Jack und Blum, 1978; Ahvar et al., 1982; von Haaren-Kiso, 1991; Kyarisiima und Balnave, 1996). Diese temperaturbedingten Veränderungen der Eifractionen sind allerdings bei den hier analysierten Daten (VZL) lediglich tendenziell zu erkennen.

Fertilität und Schlupffähigkeit

Die hohen Umwelttemperaturen führen bei Hennen sowohl unter experimentellen als auch unter kommerziellen Bedingungen zu einer Reduktion der Fertilitätsrate und Schlupffähigkeit (Heywang, 1944; Howes et al., 1961; Clark und Sarakoon, 1967; Landauer, 1967; Huston, 1975; Al-Saudi et al., 1979; El Jack und de Reviere, 1979; Merat et al., 1989; Hsia, 1990; Chhum, 1994; Mennicken, 1995; Singh, 1999). Allerdings wurden auch in anderen Untersuchungen keine bzw. nur tendenzielle Beeinträchtigungen der Fertilität durch die hohen Umwelttemperaturen bei Hennen aufgezeigt (Muiruri und Harrison, 1991; McDaniel et al., 1995). Die Ursachen für die wärmebedingte Verringerung der Fertilität sind nicht vollständig aufgeklärt (s. Kapitel 2). Die hohen Temperaturen führen zu einer Reduktion der Spermienpenetration in der Perivitellin-Membran, die möglicherweise auf die reduzierte Anzahl bzw. Lagerung der Spermien in den Drüsen des Ovidukts zurückzuführen ist (McDaniel et al., 1995).

Insgesamt ist bei natürlicher Paarung und bei hoher Temperatureinwirkung auf beide Geschlechter eine deutliche Depression der Reproduktionsleistung zu erwarten, was durch folgende Faktoren verursacht sein kann: verringerte Spermatogenese, reduzierter Spermientransfer bei der Paarung, gestörter Spermientransfer in den uterovaginalen Spermienaufbewahrungsdrüsen, abnormale Interaktion zwischen Spermien und Aufbewahrungsdrüsen, gestörter Transfer der Spermien im Ovidukt zum Fertilisationsort des Infundibulums sowie Bindung und Penetration der Perivitellin-Membran, verzögerte oder gestörte Fertilisation sowie abnormale Embryogenese in Verbindung mit Genomveränderungen, z. B. durch wärmeinduzierte Chromosomschäden oder durch schädigende, direkte Einwirkung hoher Temperaturen auf die Embryogenese (Singh, 1999). McDaniel et al. (1995) schätzt als Folge des durch Sommerhitze bedingten Fertilitätsrückgangs eine jährliche Minderproduktion von Eintagsküken allein in den USA von 279 Millionen Stück und den Schaden auf 54 Millionen US Dollar.

Übereinstimmend mit der oben aufgeführten Literatur zeigen die vorliegenden Versuchsergebnisse eine deutliche Reduktion der Fertilität der wärmebelasteten Hennen sowohl bei den leichteren Tieren der Broilermutterlinie (MZL) als auch bei der schweren Mastlinie (VZL).

Die genotypisch bedingte Differenzierung bei der Wirkung des Lockengens ist, ähnlich wie bei der Legeleistung aufgezeigt, auch bei dem Merkmal Fertilität deutlich erkennbar.

Während unter Wärmebelastung die homozygot gelockten Hennen gegenüber den normalfiedrigen Hennen eine deutlich höhere Befruchtungsrate aufweisen (*FF* 77,8 % vs. *ff* 48,9 %), führt unter Temperaturbelastung der Faktor Lockenfiedrigkeit in heterozygoter Form zu keiner signifikanten Verbesserung der Fertilität (*Ff* 60,1 % vs. *Ff* 58,3 %). Dabei ist von Interesse, dass *FF*-Hennen unter Wärmestress sich in der Fertilität nicht von den Vergleichstieren im Kontrollstall unterscheiden.

Im Hinblick auf die Wirkung des Verzweigungsgens auf die Fertilität sind die Angaben in der Literatur recht unterschiedlich. Während Kousiakis et al. (1985) sowie Proudfoot et al. (1982) eine Reduktion der Fertilität bei verzweigten Hennen bei natürlicher Anpaarung feststellten, konnten Proudfoot et al. (1984) und Chambers et al. (1974) gleichfalls bei natürlicher Anpaarung keinen Einfluss des Verzweigungsgens auf die Fertilität nachweisen. Marks (1983) stellte unter der Anwendung der künstlichen Insemination keinen Unterschied bei der Befruchtungsrate fest. Nach Ricard et al. (1972) führte die Einzüchtung des Verzweigungsfaktors sogar zu einer Erhöhung der Befruchtungsrate. Nach Merat (1990) stellt die Fertilität der verzweigten Hennen bei der natürlichen Anpaarung und der Nutzung schwerer Hähne insgesamt kein Problem dar, obgleich bei einer zu starken Gewichts differenzierung der beiden Geschlechter eine Beeinträchtigung des Befruchtungserfolgs auftreten kann.

Bei dem hier durchgeführten Experiment unter der Anwendung der künstlichen Insemination führt die Einzüchtung des Verzweigungsgens in beiden Umwelten in Versuchsreihe I zu einer geringgradigen Verbesserung der Fertilität. Unter den Bedingungen der Versuchsreihe II besteht andererseits eine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Majorgenen zugunsten des Lockenzweig-Kombinationstyps (*FFdw*-). Die Fertilität der lockenfiedrigen Zwerghenen (*FFdw*-) ist deutlich höher als bei den normalfiedrigen Zwerghenen (*ffdw*-).

Die Körpergewichtsbegrenzung mittels restriktiver Fütterung in der Aufzuchtperiode kombiniert mit einer ad libitum Fütterung in der Legeperiode führt möglicherweise bei normalfiedrigen Zwerghenen zu einer erhöhten Fetttanlagerung während der Legeperiode. Bekannt ist bereits, dass der Verzweigungsfaktor insgesamt zu einer Veränderung der Fettstoffwechselphysiologie mit der Folge einer reduzierten Lipolyse und damit verbundenen erhöhten Körperfettanlagerung führt (Guillaume, 1976; Merat, 1990). So wurde auch in mehreren Experimenten ein höherer Verfettungsgrad bei verzweigten Tieren gegenüber den Normalwüchsigen festgestellt (Merat und Guillaume, 1969; Ouhayoun, 1970; Ricard, 1970;

Summer, 1971). Becker (1983) sowie Rauen (1985) stellten jedoch eine geringere Schlachtkörperverfettung durch den Verzweigungsfaktor bei Legehennen fest. Betrachtet man die Analyse des Schlachtkörpers der unterschiedlichen Genotypen des Versuchsdurchgangs II (Abbildung 5.1), so wird außerdem ersichtlich, dass unabhängig vom Temperatureinfluss Körper und Leber der normalfiedrigen Zwergghennen einen höheren Verfettungsgrad aufweisen als bei den Vergleichsgenotypen *FFdw-*, *FFDw-* und *ffDw-*. Obgleich eine positive Beziehung zwischen der abdominalen Verfettung und der Körperverfettung besteht (Whitehead, 1988; Chambers 1990), ist die Abdominalverfettung bei den normalfiedrigen Zwergen (*ffdw-*) niedriger als bei den normalwüchsigen Hennen. Da keine Ganzkörperanalyse vorgenommen wurde, ist andererseits damit zu rechnen, dass Ungenauigkeiten bei der subjektiven Beurteilung der Körper- bzw. der Leberverfettung auftreten können. Immerhin wird deutlich, dass mit dem erhöhten Erhaltungsenergieaufwand die Locken-Genotypen insbesondere in Kombination mit dem Verzweigungsgen einen geringeren Verfettungsgrad in allen untersuchten Kriterien aufweisen (Abb. 5.2).

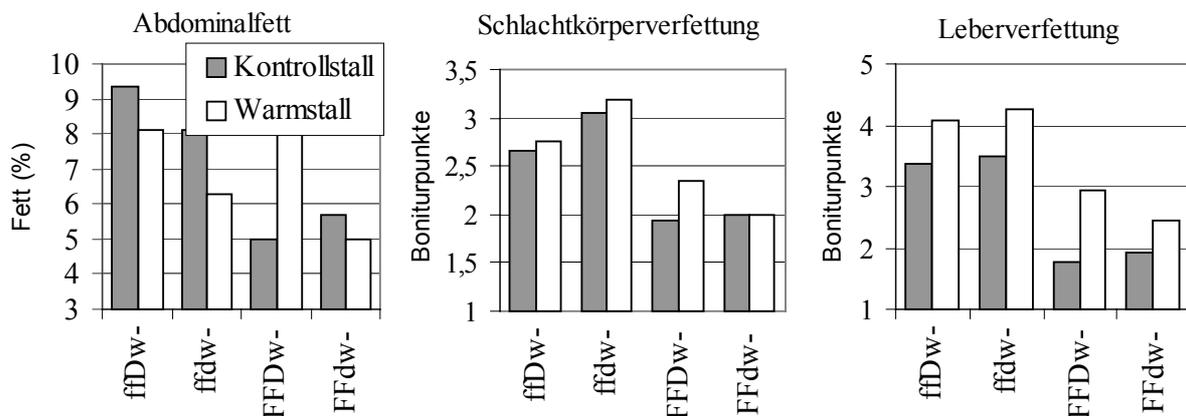


Abb. 5.1: Der Effekt der Majorgenotypen *FF* und *dw-* auf den prozentualen Anteil an abdominalem Fett, Schlachtkörperverfettung (1 bis 5 Punkteskala) sowie Leberverfettung (1 bis 5 Punkteskala) unter gemäßigten und hohen Umwelttemperaturen (Vers. II)
*The effect of major genes *FF* and *dw-* on abdominal fat (% of eviscerated carcass), fatness of eviscerated carcass and liver fat under moderate and high ambient temperature*

Einen reduzierenden Effekt auf die Körperfettanlagerung durch das Lockengen registrierte auch von Haaren-Kiso (1991). Im Hinblick auf den Einfluss des Körperverfettungsgrads auf die Fertilität wiesen Bilgili und Renden (1985) einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen nach. Whitehead et al. (1987) stellten bei ad libitum -

Fütterung der Zwergghennen (zwei Gewichtsklassen) während der Legeperiode im Vergleich zur restriktiven Fütterung eine höhere Körperversfettung und damit verbunden eine niedrigere Fertilität fest (s. Kapitel 2). Von daher könnte auch der deutlich niedrigere Verfettungsgrad der Lockenhennen (*FF*) deren hohe Fertilitätsrate ursächlich begünstigen. Umgekehrt ist anzunehmen, dass die niedrige Befruchtungsrate der normalfiedrigen Zwergghennen in deren höherem Verfettungsgrad begründet liegt.

Der beobachtete Fertilitätsrückgang wärmebelasteter normalbefiedelter Hennen (*ffDw-*, *ffdw-*) in der Postinseminations – bzw. Frühperiode verläuft parallel zu dem Befruchtungsverlauf der gelockten Hennen in beiden Umwelten sowie zu dem der normalbefiederten Hennen des Kontrollstalls, befindet sich aber auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Die Parallelität des Befruchtungsverlaufs bei dem gewählten 7-tägigen Inseminationsintervall besteht nicht nur bei der Mutterzuchtlinie sondern auch bei beiden Genotypen der Vaterzuchtlinie, wobei auch hier die geringere Wärmetoleranz der normalbefiederten Hennen zu einer Verringerung der Fertilität über die gesamte Postinseminationsperiode führt.

Die Erhöhung der konvektiven Wärmeabgabe durch das Nackthalsgen verbessert die Befruchtungsrate gegenüber der Normalbefiedering um 26 % (*NaNa* 82,2 % vs. *nana* 65,3 %). Dies steht im Einklang mit Versuchsergebnissen von Merat et al. (1989), Merat et al. (1991) und Bordas et al. (1993), die ebenfalls unter Temperaturbelastung eine Verbesserung der Fertilität sowohl bei homozygoten (*NaNa*) als auch bei heterozygoten (*Nana*) Nackthalsghennen gegenüber normalgefiederten Tieren (*nana*) feststellten. Unter gemäßigten Umwelttemperaturen besteht ebenfalls eine nichtsignifikante Überlegenheit der Nackthalsghennen von 4,8 % gegenüber den normalbefiederten Hennen. Diese könnte in niedrigeren Körpergewichten und möglicherweise in einem niedrigeren Verfettungsgrad der Nackthälse begründet liegen. Andererseits fanden Bordas et al. (1993) ebenfalls eine Erhöhung der Befruchtungsrate bei Nackthalsghennen (*NaNa* x *NaNa* Kreuzungen) unter gemäßigten Umwelttemperaturen. Ladjali et al. (1995) führen die Erhöhung der Befruchtungsrate bei Nackthalsghennen auf eine durch das Nackthalsgen bedingte Reduktion der frühembryonalen Abnormitäten zurück.

Im Hinblick auf die Befruchtungsdauer bei Nackthalsghennen unter den warmen und gemäßigten Umweltbedingungen kamen Bordas et al. (1993) zu einem ähnlichem Ergebnis.

Die Autoren konnten keinen Unterschied in der Befruchtungsentwicklung bei einem 7-tägigen Besamungsintervall zwischen Nackthals-Genotypen (*NaNa*- und *nana*-Hennen) bei unterschiedlichen Umwelttemperaturen feststellen. Bei einer von ihnen gewählten Postinseminationsdauer von 20 Tagen allerdings war eine schnellere Abnahme der Fertilität bei den wärmebelasteten normalbefiederten Hennen (*nana*) deutlich erkennbar. (Merat et al., 1989). Häufigere Besamung (7- vs. 3-tägige Intervalle) führt nach Merat et al. (1989) zwar insgesamt zu einer Verbesserung der Fertilität, jedoch nicht zu einer Kompensation der wärmebedingten Fertilitätsdepression. Von daher verursachen die hohen Temperaturen insgesamt eine Reduktion der Anzahl der Spermien am Ort der Fertilisation und deren schnellere Reduzierung in der postinseminatorischen Periode. Dies wird durch die Experimente von McDaniel et al. (1995) bestätigt, die eine wärmebedingte Verringerung der Penetrationskanäle in der Perivetellin-Membran feststellten (s. Kapitel 2).

Im Hinblick auf die Bedeutung des Eigewichtes für das Befruchtungsgeschehen lässt sich erkennen, dass eine kurvilineare Beziehung zwischen Eigewicht und Befruchtungsrate, und zwar sowohl bei der Mutterzuchtlinie als auch bei der Vaterzuchtlinie, besteht. Jedoch ist darauf zu verweisen, dass sich bei den unter thermischer Belastung gehaltenen normalbefiederten Hennen (*nana*) kleine Eiggröße und niedrige Befruchtungsrate vermengen, so dass die gefundenen Regressionswerte den bestehenden Zusammenhang nicht eindeutig widerspiegeln. Deshalb wurden in Abb. 5.2 Mittelwerte der Befruchtungsrate für unterschiedliche Eigewichtsklassen wiedergegeben. Die Parallelität der Befruchtungsergebnisse der jeweiligen Genotypen, die bereits regressionsanalytisch ermittelt wurden (Abb. 4.11), ist auch hier weitgehend erkennbar. Generell nimmt die Befruchtungsrate mit zunehmendem Eigewicht auch bei den nicht wärmebelasteten Hennen ab Gewichtsklasse 45-50 g annähernd linear zu. Offenbar bestehen physiologische Zusammenhänge, die gleichzeitig Eigewicht und Befruchtungsfähigkeit beeinflussen. Angaben in der Literatur zu der Wirkung des Eigewichtes auf die Fertilität sind rar und widersprüchlich. Während Morris et al. (1968), Tindell und Morris (1964) und Proudfoot et al. (1982) übereinstimmend mit den hier gemachten Beobachtungen eine Zunahme der Befruchtungsrate mit zunehmendem Eigewicht bei Broilern feststellen, bestand nach Proudfoot und Hulan (1981) kein Zusammenhang zwischen Eigewicht und Befruchtungsrate.

Dagegen stellten Stöve-Schimmelpfennig und Flock (1982) eine Abnahme der Umlagerate aufgrund embryonaler Mortalität und reduzierter Befruchtungsrate mit zunehmendem Eigewicht fest. Zusätzlich sind sie der Auffassung, dass die reduzierte Fertilität zum Teil mit Körpergewicht und Verfettungsgrad bzw. Alter der Hennen und damit verbunden mit der Abnahme der natürlichen Paarungsfrequenz (bzw. Libido) in Zusammenhang steht (s. Kapitel 2).

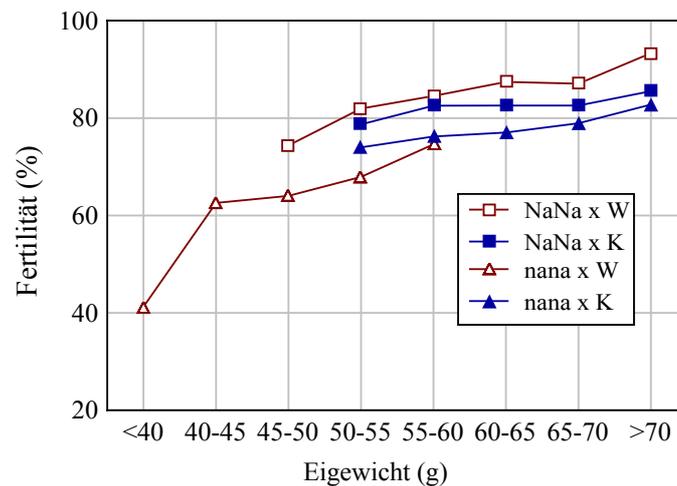


Abb. 5.2: Fertilität in Abhängigkeit von Bruteigewicht und Genotyp der Hennen unter warmen und gemäßigten Umwelttemperaturen (VZL)
Fertility in relation to egg weight, genotypes of naked neck and normally feathered hens under warm and moderate ambient temperatures

Im Hinblick auf den Einfluss des Alterseffektes auf den Befruchtungserfolg wurden charakteristische kurvilineare Beziehungen gefunden, wobei mit zunehmendem Alter der Befruchtungserfolg zunächst zunimmt, dann bis zur 60. Lebenswoche abfällt und bis zum Ende der Legeperiode wieder leicht zunimmt. Eine gravierende Ausnahme bilden die normalbefiederten Hennen (*ffdw*-, *ffDw*- und *nana*) der beiden Zuchtlinien unter Wärmebelastung. Hier ist nach einer anfänglichen leichten Zunahme der Fertilität mit fortschreitendem Alter eine wesentlich schnellere Abnahmerate festzustellen (Abb. 4.10 und 4.11). In Abb. 5.3 wurden im Bezug auf den Effekt der Altersklassen auf die Fertilität Mittelwertvergleiche bei den Hennen der Vaterzuchtlinie durchgeführt. Auffallend sind auch hier die negativ zu bewertende physiologische Alterung der normalbefiederten Tiere (*nana*) einerseits und die besonders positiv zu bewertende Abnahme des Alterseffektes bei Nackthalshennen (*NaNa*) unter Wärmestress andererseits. Die hier beobachtete Abnahme der

Fertilität der Hennen mit zunehmendem Alter wurde in einer Vielzahl von Experimenten nachgewiesen (Huston, 1975; Kirk et al., 1980; Pierson et al., 1988; Fasenko et al., 1992a; Bramwell et al., 1996; Singh, 1999; Hocking and Bernard, 2000). Dabei nimmt die altersbedingte Fertilitätsabnahme einen kurvilinearen Verlauf ein, wobei der Fertilitätsrückgang und der altersbedingte Legeleistungsverlauf zeitlich zusammenfallen (Kirk et al., 1980; Bramwell et al., 1996). Nach diesen und eigenen Feststellungen ist es möglich, dass physiologische Mechanismen, die das Legeleistungsgeschehen determinieren, auch den Fertilitätsprozess beeinflussen (s. Kapitel 2).

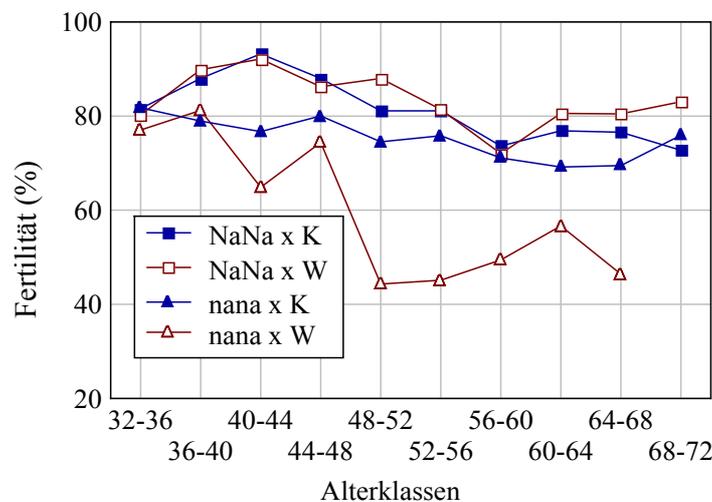


Abb. 5.3: LSQ –Mittelwerte für die Fertilität in Abhängigkeit von Altersklassen der Hennen bei unterschiedlichen Genotypen unter warmen und gemäßigten Umwelttemperaturen (VZL)
LSQ – means for the effect of age on fertility of naked neck and normally feathered hens under warm and moderate ambient temperatures (VZL)

In diesem Zusammenhang sind auch die Ergebnisse von Fasenko et al. (1992a) interessant, wonach eine signifikante Wirkung des Hennenalters, Eigewichtes, Hennengewichts und der Postinseminationszeit, jedoch nicht der Position des Eis in der Legeserie und Legezeit einen Einfluss auf die Fertilität ausüben. Insgesamt sind die Ursachen für den Einfluss des Alters und auch der Temperatur auf die Fertilität nicht eindeutig geklärt (s. Kapitel 2). Zusätzlich lassen die eigenen Resultate erkennen, dass thermische Belastungen zu einer Verstärkung der generell altersbedingten Fertilitätsreduktion beitragen.

Was die Bedeutung des Hennengewichtes anbelangt, so zeigen die vorliegenden Versuchsergebnisse eine zusätzliche Beeinträchtigung der Fertilität der schwergewichtigen

Hennen an. Dies steht in Übereinstimmung mit der Arbeit von Fasenko et al. (1992 a), die gleichfalls einen deutlichen Fertilitätsrückgang von über 3,7 kg bei schwergewichtigen Broilerhennen nachwies.

Hinsichtlich der Schlupffähigkeit bedeutet die thermische Dauerbelastung sowohl bei mittelschweren (MZL) als auch bei schweren (VZL) Hennen ein weiteres deutliches Moment für die Absenkung des Bruterfolges. Die Schlupffähigkeit äußert sich als dominierende maternale Eigenschaft, die durch hohe Temperaturen bei den normalbefiederten Hennen beeinträchtigt wird, wobei die genotypisch bedingte Unterschiedlichkeit der Lockengenwirkung unter Temperaturbelastung, die bereits bei den oben angeführten reproduktiven Leistungen nachgewiesen wurde, sich ebenso auch bei dem Merkmal Schlupffähigkeit fortsetzt. Während kaum ein Unterschied zwischen heterozygot gelockten und normalfiedrigen Hennen im Merkmal Schlupffähigkeit besteht (*FF* 70,9 % vs. *Ff* 70,6 %), führt die Lockenbefiederung in homozygoter Form aufgrund einer wesentlich effizienteren Wärmeabgabe zu einer deutlichen Verbesserung der Schlupfrate (*FF* 83,6 % vs. *ff* 60,8 %). Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen bestehen dagegen keine Differenzen in den Schlupfergebnissen zwischen homozygot und heterozygot gelockten und normalfiedrigen Hennen. Somit stehen die vorliegenden Ergebnisse im Widerspruch zu den Versuchen von Landauer und Dunn (1930), die eine Reduktion der Schlupffähigkeit insbesondere bei homozygot gelockten Mutterhennen feststellten und dies mit exzessiver sensibler Wärmeabgabe im Zuge der Thermoregulation und der damit verbundenen veränderten Stoffwechselsituation der Mutterhennen begründeten (Landauer, 1967). Die Ergebnisse der Reproduktionsanalysen verdeutlichen jedoch, dass trotz des erhöhten Energieverbrauches für die Aufrechterhaltung der Homöostase sowie der damit einhergehenden Verzögerung der sexuellen Reife und damit der Legeleistung, keine Beeinträchtigung von Fertilität und Schlupffähigkeit besteht. Dies steht auch in Einklang mit der Arbeit von Hutt (1930), der ebenfalls keine erhöhte embryonale Mortalität bei heterozygot gelockten Hennen nachweisen konnte.

Was schließlich die Zwergwüchsigkeit der Hennen für das Merkmal Schlupffähigkeit angeht, so sind die Ergebnisse der beiden Experimente nicht eindeutig. Während im ersten Versuchsdurchgang (I) ein signifikanter Vorteil bei dem Merkmal Schlupffähigkeit zu Gunsten der Zwerghennen besteht, ist im zweiten Versuchsdurchgang nur ein unbedeutender Einfluss des Verzweigungsgens auf die Schlupffähigkeit zu erkennen. Dies steht nicht im

Widerspruch zu den Ergebnissen von Sherwood (1971), Chambers et al. (1974) und Kousiakis et al. (1985), die ebenfalls keine signifikante Wirkung des Zwerggens auf die Schlupffähigkeit bei Broilermutterhennen ermittelten.

Während durch die thermische Belastung die Schlupffähigkeit bei den normalbefiederten Hennen der Vaterzuchtlinie (VZL) -ähnlich wie auch bei den normalbefiederten Hennen der Mutterzuchtlinie nachgewiesen- deutlich beeinträchtigt wird, wird sie bei den restriktiv befiederten Hennen kaum verändert. Dabei ist der zusätzliche Effekt des Nackthalsgens auf die embryonale Sterblichkeit besonders beim heterozygoten Typ angesichts der hohen Wärmebelastung der *nana*-Typen relativ unbedeutend. Der Vergleich der Schlupfergebnisse bei Bruteiern aus der Anpaarung von *NaNa*-Hähnen x *nana*-Hennen und *nana*-Hähnen x *NaNa*-Hennen verdeutlicht (56,2 % vs. 66,5 %), dass die nackthalsgenbedingte Erhöhung der konvektiven Wärmeabgabe bei den Hennen zu einer Verbesserung der Schlupffähigkeit führt. Ähnliche positive Ergebnisse bei gleichen Versuchsanpaarungen unter Temperaturbelastung fanden Merat et al. (1989), Merat et al. (1991) und Bordas et al. (1993).

Ein für den Bruterfolg wichtiges Moment ist weiterhin die kurvilineare Beziehung zwischen Eigewicht und Schlupffähigkeit. Aus der quadratischen Regression der vorliegenden Daten ergeben sich für das Schlupfvermögen Maximalwerte bei ca. 60-65 g Eigewicht, dabei können die Regressionen in Abhängigkeit von der maternalen Umwelt unterschiedliche Verlaufsformen einnehmen. Im einzelnen ist unter Temperaturbelastung mit zunehmendem Eigewicht ein schneller Rückgang der Schlupffähigkeit nach Erreichen des Maximalwertes verbunden. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass Bruteier von Hennen unterschiedlicher Altersstufen für die Schlupftests im Laufe der Legeperiode verwendet worden sind, mit der Konsequenz, dass der Einfluss des Eigewichtes zum Teil mit dem Alterseffekt vermengt ist. Die Ergebnisse von Kirk et al. (1980) zeigen eine kurvilineare Beziehung zwischen Schlupfrate, Alter und altersbedingter Zunahme des Eigewichtes. Einen kurvilinearen Zusammenhang zwischen Eigewicht und Schlupffähigkeit fanden auch Nordskog und Hassan (1971). Wohingegen Stöve-Schimmelpfennig und Flock (1982) sowie Förster et al. (1992) eine lineare Abnahme der Schlupfrate mit zunehmendem Eigewicht feststellten. Aus Regressionsanalysen von Fassenko et al. (1992a) wird deutlich, dass durch Erweiterung des Regressionsmodells auf die Faktoren Hennenalter, Hennengewicht, Postinseminationszeit, Lagerungsalter, Position in der Legeserie und Legezeit während des Tages sich das Aussagequantum verändert. Sie stellten fest, dass das Eigewicht für die

embryonale Mortalität unbedeutend ist, während die Position des Eies und die Legezeit den größten Einfluss auf den Schlupf der befruchteten Eier ausübten. Von Interesse ist hierbei, dass eine deutliche Reduktion der Schlupffähigkeit der ersten Eier in der Serie besteht, was ebenfalls von Förster et al. (1994), Bacon und Nestor (1979) und Robinson et al. (1991) ermittelt wurde. Ein weiter fortgeschrittener Entwicklungsstand des Embryos bei der Oviposition und Alterung der Follikel am Eierstock bei den ersten, signifikant schwereren Eiern im Vergleich zu den folgenden Eiern wird als Begründung aufgeführt (Robinson et al., 1991; Fasenko et al., 1992a).

In den eigenen Untersuchungen wurde als wichtiger Einflussfaktor die Lagerzeit des Bruteis angesehen. Wie die kovarianzanalytisch ermittelten Ergebnisse (Abb. 4.13 und 4.14) verdeutlichen, ist mit zunehmendem Alter des Eis ein lineares Absinken der Schlupffähigkeit festzustellen. Dabei treten keine Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren und Lagerungsdauer auf, so dass die Abnahmerate der Schlupffähigkeit mit zunehmendem Alter des Eis für die jeweiligen Einflussfaktoren parallel verlaufen. Dies bedeutet, dass die Lagerung der Bruteier zu keiner spezifischen Veränderung der embryonalen Sterberate führt, die durch den embryonalen Genotyp (*Na* vs. *na*) oder durch die maternale Umwelttemperatur (Kontrollstall vs. Warmstall) beeinflusst wird. In einer Vielzahl von Experimenten ist eine Beeinträchtigung der embryonalen Überlebensfähigkeit durch die Lagerung des Bruteis nachgewiesen worden. Allerdings ist noch zu berücksichtigen, dass Wechselwirkungen zwischen Lagerungsdauer, Lagerungstemperaturen, Alter der Henne und genetischem Hintergrund bestehen.

Im Vergleich zu der Einlage der frisch gelegten Bruteier führt die kurze Lagerung (1 bis 2 Tage) der Eier zu einer Erhöhung der Schlupffähigkeit (Asmundson and MacIlriath, 1948; Funk et al., 1950; Förster et al., 1992). Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Schlupffähigkeit ist in diesem Zusammenhang in der Veränderung der inneren Eiqualität durch Änderung des pH-Wertes zu sehen. Der pH-Wert des Eiklars liegt bei der Eiablage bei 7,6 und erhöht sich mit zunehmender Lagerung durch die CO₂-Verdunstung kurvilinear. Nach ein und zwei Tagen Lagerung liegt der pH-Wert bei 8,5 bzw. bei 8,8. Bei längeren Lagerungsperioden (4 bis 8 Tage) erhöht sich der pH-Wert des Eiklars weiter und erreicht ein alkalines Plateau, das sich in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Alter der Hennen bei 9,2 bis 9,5 einpendelt (Kosin und Konishi, 1973; Gudrum et al., 1989; Stern, 1991; Lapao et al., 1999). Der pH-Wert des Eigelbs liegt dagegen bei 6,5. Damit unterliegt die Keimscheibe einem starken

Protongradienten (Stern, 1991).

Nach Brake et al. (1997) scheint die Einstellung dieses Ionengradienten für die embryonale Entwicklung notwendig zu sein. Ein pH-Wert von 8,2 bis 8,8 wird für die embryonale Entwicklung als Optimum angenommen (Brake et al., 1997). Mit der Erhöhung des pH-Werts des Eiklars ist eine Abnahme der Eiklarhöhe und dessen Verflüssigung verbunden. Die Verflüssigung des Eiklars verbessert den Transport der Nährstoffe vom Eiklar zur Keimscheibe und reduziert möglicherweise den Widerstand gegenüber der Gasdifffusion (CO_2 , O_2 und H_2O) während der frühen Periode der Bebrütung (Brake et al., 1997; Lapao et al., 1999). Ferner wird dem hohen pH-Wert antimikrobielle und antivirale Wirkung zugeschrieben, insbesondere bevor sich das embryonale Immunsystem und phagozytische System entwickelt haben (Stern, 1991; Brake et al., 1997). Diese werden als Ursache für eine positive Beeinflussung des frühembryonalen Überlebens und der Schlupffähigkeit durch eine kurze Lagerung der Bruteier angenommen. Andererseits nehmen Eiklarhöhe und Viskosität mit zunehmender Lagerung fortwährend ab und die embryonale Mortalität nimmt zu.

Der pH-Wert des Eiklars liegt bei längerer Lagerung über 9,0 und wird damit nach Benton und Brake (1996) und Brake et al. (1997) für die embryonale Entwicklung suboptimal und schädlich. Nach Bohren et al. (1961) und Byng and Nash (1962) nimmt die Schlupffähigkeit erst nach 2 bis 3 Tagen Lagerung ab. Nach Meijerhof et al. (1994) tritt eine signifikante Reduktion der Schlupffähigkeit erst nach einer Woche Lagerung ein. Demgegenüber stellten Oluyemi und George (1972) eine Verbesserung der Schlupffähigkeit bei 4 bis 6 Tagen Lagerdauer fest.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen sind in Abbildung 5.4 auf der Grundlage varianzanalytisch berechneter Mittelwerte für die einzelnen Lagerungstage und für homozygot dominante und rezessive Embryonen dargestellt. Bemerkenswert ist hierbei die Erhöhung der frühembryonalen Mortalität ab dem 5. Lagerungstag als wesentliche Ursache für die starke Abnahme der Schlupffähigkeit.

In der Tendenz stimmen die Verlaufskurven für die Schlupffähigkeit mit den vorher ermittelten Regressionslinien (Abb. 4.14) überein und werden auch hier durch einen parallel verlaufenden, linearen Rückgang mit der Lagerungsdauer gekennzeichnet.

Eine solche Regression der Schlupfrate stimmt mit den Ergebnissen von Merritt (1964), Kirk et al. (1980) und Lapao et al. (1999) überein, die ebenfalls eine Reduktion der

Schlupffähigkeit mit zunehmender Lagerungsdauer feststellten.

Im Laufe der Lagerung verlieren die Bruteier gleichzeitig durch Wasserverdunstung an Gewicht. Die Eigewichtsreduktion während der Lagerung wird vor allem durch die Eischalenporosität, Lagerungsdauer und Lagerungsbedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur) beeinflusst. Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit während der Lagerung bzw. die Reduktion der Verdunstung durch das Verpacken der Bruteier führte bei längeren Lagerungsperioden zu einer Verbesserung der Schlupffähigkeit (Kosin und Konishi, 1973; Reinhart und Hurnik, 1982). Die Ursachen hierfür sind allerdings nicht klar. Verdunstung während des frühen Stadiums des Bebrütens erhöht die Osmolarität des Eiklars. In der früheren Phase der Entwicklung ist der Embryo gegenüber den osmotischen Veränderungen und Desikkation empfindlicher als während des späteren Stadiums seiner Entwicklung (Synder and Birchard, 1982; Seymour and Piiper, 1988; Ar, 1991). Wenn die Desikkation während der frühen Phase der embryonalen Entwicklung tatsächlich eine schädliche Wirkung auf den Embryo ausübt, muss eine exzessive Wasserverdunstung während der Lagerung vermieden werden (Meijerhof, 1994).

Kaufmann (1939) stellte ebenfalls fest, dass ein mittels artifizieller Reduktion des Luftdruckes entstandener erhöhter Feuchtigkeitsverlust nicht per se für die Verringerung der Schlupffähigkeit auch bei längerer Lagerungsdauer anzunehmen ist. Nach Meijerhof (1994) ist es auch fraglich, ob unter optimalen Lagerungsbedingungen die Wasserverdunstung in der Vorbrutperiode ausreichend hoch sein wird, um während der Brut die osmotische Balance des Embryos zu beeinflussen. Ferner konnten Benton und Brake (1996) keine direkte Beziehung zwischen Verdunstungsmenge während der Lagerung, Eiklar-pH-Wert und Veränderung der Eiklarhöhe feststellen.

Für ein Maximum an Schlupferfolg muss das Ei von der Einlage bis zum Einpicken der Luftkammer etwa 12 bis 14 % an Gewicht verlieren (Lundy, 1969; Rahn, 1981; Meir und Ar, 1987; Tullet, 1990).

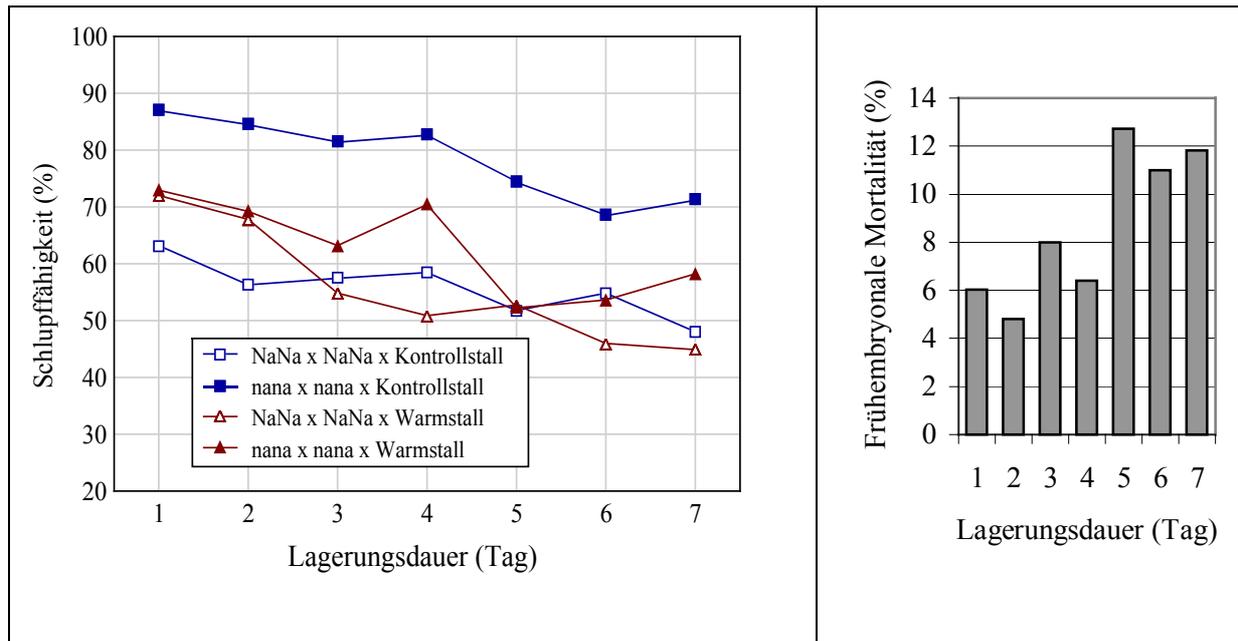


Abb. 5. 4: Einfluss der Lagerungsdauer und der maternalen Umwelttemperatur auf die Schlupffähigkeit homozygoter Nackthals- und normalbefiederter Embryonen (linke Abb.). Einfluss der Lagerungsdauer auf die frühembryonale Mortalität der normalbefiederten Embryonen unter gemäßigten Hennen-Haltungstemperaturen (rechte Abb.)

The effect of length of egg storage and ambient temperatures of hens on hatchability of naked neck and normal feathered embryos (left figure). The effect of length of egg storage of early embryonic mortality of normal feathered embryo and moderate ambient temperatures (right figure).

Verglichen mit dieser Menge ist die Verdunstungsmenge während der Lagerung marginal. Ferner wird, wie die Versuche von Meijerhof (1994) zeigen, eine hohe Wasserverdunstung während der Lagerung zum Teil durch eine geringere Verdunstung während der Brut korrigiert. Von daher ist unter konventionellen Lagerungsbedingungen die Wasserverdunstung während der Lagerung insgesamt minimal und deren Einfluss auf die Schlupffähigkeit zu vernachlässigen. Bei der Analyse der Wirkung der Verdunstungsmenge während der Lagerung auf die Schlupffähigkeit sind bei dem hier vorliegendem Datenmaterial die Wirkungen von Eialter und Eigewicht durch Berücksichtigung der beiden Faktoren als Kovariable im Modell korrigiert worden. Die Schlupfergebnisse in Abhängigkeit von der Verdunstungsmenge spiegeln folglich den Einfluss der Verdunstungsmenge während der Lagerung und während der Bebrütung wider. Dabei kann die Verdunstungsmenge während der Lagerung als ein Kriterium für die Beurteilung der Porosität der Eischale und dessen Einfluss auf die Schlupffähigkeit betrachtet werden (Rauch und Steinke, 1954). Der Einfluss

der Schalenqualität bzw. der Schalenporosität auf die Schlupffähigkeit und Diffusion der respiratorischen Gase ist im Kapitel 2 ausführlich beschrieben.

Wie aus den Abbildungen 4.12 und 4.14 hervorgeht, besteht eine kurvilineare Beziehung zwischen der Verdunstungsmenge während der Lagerung bzw. der Schalendurchlässigkeit und der Schlupffähigkeit. Sowohl eine niedrige als auch eine erhöhte Schalendurchlässigkeit führen zu einer Verringerung der Schlupffähigkeit. Bei den hier vorliegenden Schlupfergebnissen der beiden Zuchtlinien ist ein Maximum an Schlupferfolg bei einer Verdunstungsmenge von ca. 0,5 g zu erzielen. Da keine Interaktionen zwischen den Hauptfaktoren und der Kovariable Verdunstungsmenge auftreten, verlaufen die einzelnen Regressionen für die jeweiligen Hauptfaktoren parallel. Dies führt zu dem Rückschluss, dass die unterschiedliche Besetzung des Embryos mit Majorgenen (*FF*, *Ff*, *ff* bzw. *NaNa*, *Nana*, *nana*) einerseits und die maternale Umwelt andererseits keinen Einfluss auf die embryonalen Lebensbedingungen ausüben.

Embryonale Mortalität

Die Temperaturbelastung der normalbefiederten Hennen führt sowohl bei den mittelschweren Hennen der Mutterlinie (MZL) als auch bei den schweren Mast-Elternhennen der Vaterlinie (VZL) zu einer deutlichen Erhöhung der frühembryonalen Mortalität (Kapitel 4.8.2). Dabei können hierfür unterschiedliche Ursachen verantwortlich sein, die einzeln oder im Zusammenwirken die embryonale Überlebensfähigkeit beeinflussen. Unter Wärmebelastung ist die Eigröße reduziert, der prozentuale Anteil des Eidotters und der Eischale sind zu Gunsten des Eiklars verringert und Eischalendicke und Festigkeit nehmen ab. Die temperaturbedingte Reduktion der Schalendicke verbunden mit einer Erhöhung der Schalendurchlässigkeit (Peebles and Brake, 1987) führt zu einer Erhöhung der Verdunstung sowohl während der Lagerung als auch während der Brut. Der Einfluss der Schalenqualität und Schalenpermeabilität auf die Schlupffähigkeit und embryonale Mortalität ist bereits oben diskutiert. Da selbst bei kurzen Lagerungsperioden mit geringerer Verdunstung eine deutliche Reduktion der Schlupffähigkeit der Bruteier der wärmebelasteten Hennen zu verzeichnen ist (Abb. 5.4), dürfte es wenig wahrscheinlich sein, dass hiermit verbunden Veränderungen der Schalenpermeabilität und Eigewichtsverluste während der Vorbrut-Lagerung für eine Erhöhung der frühembryonalen Mortalität maßgebend sind. Unter den hohen

Umwelttemperaturen ist die Körperkerntemperatur erhöht (Monnet et al. 1980; Bordas und Merat, 1984; Herremans et al., 1988; von Haaren-Kiso, 1991; Pech-Waffenschmidt, 1992; Deeb and Cahaner, 1999). Nach Decuypere und Michels (1992) und Meijerhof (1994) führt die Körpertemperatur zu einer Veränderung des Stadiums der embryonalen Entwicklung bei der Oviposition. Die Autoren machen jedoch keine Angaben über den Einfluss der erhöhten Körperkerntemperatur auf die embryonale Entwicklung. Eine Verzögerung der embryonalen Entwicklung und eine erhöhte embryonale Mortalität wurde andererseits bei einer Unterkühlung der Legehennen beschrieben (Sturkie, 1946). Die Embryonen im Gastrula-Stadium können eine längere Lagerungsperiode besser überstehen als Embryonen in der Prae-Gastrula-Phase oder in der frühen Gastrula-Phase (Coleman und Siegel, 1966; Decuypere und Michels, 1992). Eine kurze Wärmebehandlung der Bruteier vor der Einlage führt zu einer Verbesserung der Schlupffähigkeit (Kosin, 1956; Becker und Bearnse, 1958; Mayes und Takeballi, 1984; Decuypere und Michels, 1992; Christensen, 2001). Demgegenüber stellte Meijerhof (1994) bei Broilerhennen keine Verbesserung, sogar eine Verringerung der Schlupffähigkeit durch eine Wärmebehandlung der Bruteier und damit verbunden einen Entwicklungsschub des Embryos fest. Diese Diskrepanz wird damit erklärt, dass der embryonale Entwicklungsstand nach der Oviposition bei den Bruteiern der heutigen Broilerlinien weiter fortgeschritten ist als bei den Hennen der oben erwähnten Versuche, die oft mit leichten Leghorn-Typen durchgeführt worden sind. Nach Bernier et al. (1951) besteht ein kurvilinearere Zusammenhang zwischen dem embryonalen Entwicklungsstand bei der Eiablage und dem Schlupferfolg. Hinsichtlich der Fragestellung, ob eine Erhöhung der Körperkerntemperatur zu einer Beschleunigung oder sogar zu einer Retardierung der embryonalen Entwicklung im Uterus und damit verbunden zu einem suboptimalen Entwicklungsstand für die embryonale Überlebensfähigkeit während der Lagerung und der Brut führt, kann vom heutigen Stand der Forschung aus nicht beantwortet werden. Die hohen Umwelttemperaturen führen allerdings zu einer Verkürzung der Legeserie, einer Verlängerung der Legeintervalle innerhalb einer Serie sowie zu einer prozentualen Erhöhung der am Mittag und Nachmittag gelegten Eier (Ahvar, 1979) mit dem haltungstechnischen Nachteil einer längeren Verweildauer im Stall. Nach McNally and Byerly (1936) besteht eine kurvilineare Beziehung zwischen der Länge der Legeintervalle und dem Entwicklungsstand des Embryos sowie der Schlupffähigkeit mit einem Optimum von 27 Stunden. Ahvar (1979) stellte fest, dass bei den unter Temperaturstress gehaltenen Hennen überwiegend sehr kurze

Legeserien mit 1, 2 oder 3 Eiern vorherrschen und die kurzen Legeserien längere Legeintervalle nach sich ziehen.

Es besteht demnach ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Eiablagezeit und der embryonalen Entwicklung (Fasenko et al., 1992a). So ist die embryonale Entwicklung bei den am frühen Morgen gelegten sowie am späten Nachmittag gelegten Eiern weiter vorangeschritten als bei den Eiern, die in der Mitte des Tages gelegt werden (Hutt und Pilkey, 1934; Bernier et al., 1951; Fasenko et al., 1992a). Zusätzlich beeinflusst die Eiablagezeit die frühe embryonale Mortalität (Christensen, 2001), wobei die embryonale Frühsterblichkeit bei den Eiern, die frühmorgens und spät nachmittags gelegt werden, erhöht ist (Hutt und Pilkey, 1930; McNally und Byerly, 1936; Fasenko et al. 1992a). Ferner wirkt sich die Position des Eis in der Legeserie auf den Entwicklungsstand des Embryos bei der Eiablage und damit auch auf die embryonale Überlebensfähigkeit aus (Mather und Laughlin, 1979; Förster, 1993). So sind die frühembryonale Überlebensfähigkeit und der Schlupferfolg bei den Erst-Eiern in der Legeserie gegenüber den Bruteiern in der mittleren Position deutlich verringert (Fasenko et al., 1992a; Förster, 1993).

Nicht auszuschließen ist auch, dass die maternale Wärmebelastung und die erhöhte Körpertemperatur eine Störung der Frühembryogenese im Uterus hervorrufen und somit eine embryonale Frühsterblichkeit bedingen. Anzumerken ist hierzu, dass die hohen Umwelttemperaturen offenbar keine Beeinträchtigung der weiblichen Gametogenese oder eine frühe Zellteilung der Zygote induzieren (Ladjali et al., 1995).

In diesem Zusammenhang mit der Sterblichkeit der Embryonen wird besonders der Effekt des Nackthalsgens diskutiert. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die Einzüchtung dieses Gens in Abhängigkeit vom genetischen Status des Embryos zu einer deutlichen Zunahme der späten embryonalen Sterberate führt. Während im Vergleich zur Normalbefiederung die heterozygote Besetzung des Nackthals-Locus zu einer Zunahme der späten embryonalen Mortalität um 4 % nach sich zieht, führt die homozygote Besetzung des Nackthals-Locus über den additiven Effekt der beiden Nackthals-Allele hinaus zu einer Erhöhung der Sterberate von 16,8 Prozent. In der Literatur wird eine Reduktion der embryonalen Überlebensfähigkeit durch das Nackthalsgen oft mittels einer Abweichung von der erwarteten Segregation bei einer *Nana* x *Nana* oder eine *Nana* x *nana* Anpaarung beschrieben, jedoch ohne quantitative Angaben über den Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (Crawford, 1975; Rauen, 1985; Merat, 1986; Gonzalez, 1990; Khan et al., 1998).

Die Ursache oder die Ursachen für eine durch das Nackthalsgen bedingte embryonale Mortalität sind nicht bekannt. Bernon and Crawford (in Merat, 1990) vermuten, dass eine erhöhte Mortalität bei Nackthalsembryonen durch eine Fehlstellung der Embryonen verursacht wird. Dabei wird angenommen, dass die reduzierte Befiederung am Hals und Nacken eine falsche Position des Kopfes verursachen. Die vorgenommenen Untersuchungen zur embryonalen Fehlstellung (Tabelle 4.37 und 4.38) verdeutlichen jedoch, dass keine signifikante Wirkung des Nackthalsgens auf eine embryonale Fehlstellung besteht. Die Nackthalsembryonen (*NaN*) liegen prozentual sogar häufiger in einer Normalstellung als die normalbefiederten Embryonen. Allerdings können diese Ergebnisse nicht belegen, ob und in wieweit eine Entfiederung am Hals, nachdem der Embryo seine endgültige Schlupfposition einnimmt, ein Hindernis für die weitere embryonale Schlupfbewegung insbesondere nach dem Anpicken der Schale (external pipping) darstellt.

Nach Gonzales et al. (1990) liegt die reduzierte Schlupffähigkeit der Nackthalsembryonen möglicherweise in einer durch das Nackthalsgen verursachten Vergrößerung des Eigewichtes und einer dickeren Eischale begründet. Ein wesentliches Argument gegen diese Hypothese ist, dass das Ausmass der durch das Nackthalsgen bedingten Erhöhung der embryonalen Mortalität von der elterlichen Herkunft unabhängig ist und keiner maternalen Wirkung unterliegt. Zudem wird die Größenordnung auch durch den heterozygoten bzw. homozygoten Status determiniert. Bezüglich des direkten Einflusses auf die Schalenqualität lässt sich weder bei dem vorliegenden Datenmaterial noch anhand der Literatur eine systematische Beeinflussung der Eischale durch das Nackthalsgen per se nachweisen (Bordas und Merat, 1984; Rauen, 1985; von Haaren-Kiso, 1991; Merat et al., 1991; Pech-Waffenschmidt, 1992; Garces, 2000). Allerdings zeigt sich in den vorliegenden Versuchen, dass der Eigewichtsverlust während der Lagerung durch Verdunstung wider Erwarten vom maternalen Befiederungsgenotyp direkt beeinflusst wird. Dabei steht der Eigewichtsverlust im Gegensatz zu den untersuchten Schalenstabilitätsmerkmalen (Dicke, Bruchfestigkeit und Deformation), die ihrerseits nicht vom maternalen Genotyp beeinflusst werden.

Die Bruteier der Nackthalschhennen verdunsten während der Lagerung signifikant weniger Flüssigkeit als die Bruteier der normalbefiederten Hennen, ein Phänomen, das auch bei gelockten Hennen der Mutterlinie festzustellen ist (Abbildung 5.5).

Von daher scheinen die befiederungsverändernden Gene gleichzeitig die Schalenpermeabilität zu verändern. Ob die befiederungsverändernden Gene die Kutikula, die Porosität der

Kalkschale (Porenweite, -anzahl und -verteilung) oder die Schalenmembran beeinflussen, bedarf weiterer Untersuchungen.

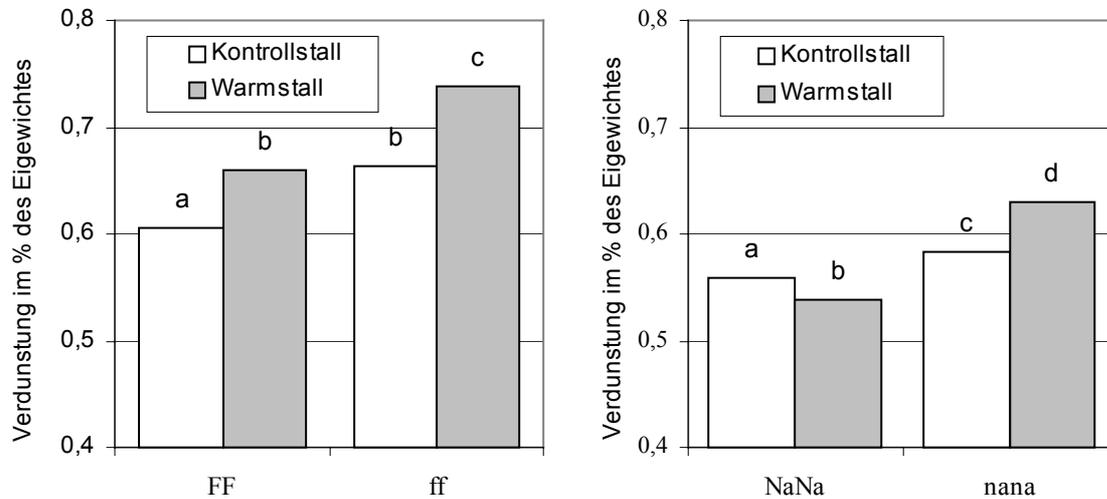


Abb. 5.5: Der Effekt der Hennenbefiederungs-Genotypen *NaNa* (VZL) und *FF* (MZL) sowie deren Haltungsumwelttemperatur auf die Verdunstungsmenge während der Vorbrutlagerung.
The effect of hens feathering genotypes NaNa (VZL) and FF (MZL) and ambient temperatures on egg weight loss of hatchings eggs

Ein weiteres, durch das Nackthalsgen induziertes Problem bildet die späte embryonale Mortalität. Sie fällt zeitlich zusammen mit einer Reihe komplexer Ereignisse, die im Schlupfprozess einbezogen sind wie Einsetzen der pulmonalen Ventilation, Anpicken der Schale sowie das Schlüpfen aus der Schale. Diese Ereignisse im Zuge des Schlupfprozesses sind zudem abhängig von der Entwicklung der unterstützenden Muskulatur wie der des Schlupfmuskels (*Musculus complexus*) und des Brustmuskels (*Musculus pectoralis*) sowie von der Veränderung des Kreislauf- und Respirationssystems und der Dottersacksabsorption (Decuypere et al., 1991). Während der späteren Phase der Entwicklung, also während der Plateauphase der Sauerstoffaufnahme bis zum Anpicken der Schale, ist der Embryo im Ei einer Hypoxie und Hypercapnie ausgesetzt, mit der Folge einer Limitation des oxidativen Stoffwechsels (Vleck and Bucher, 1998). Während dieser Phase stellt die anaerobe Glykogenolyse eine wichtige Energiequelle dar (Beattie, 1964; Freeman, 1965; Christensen und Donaldson, 1992). Glykogen ist zunächst bei der Eiablage kaum im Ei vorhanden und wird während der embryonalen Entwicklung hauptsächlich mittels Gluconeogenese

synthetisiert und in Leber, Herz und Skelettmuskulatur gespeichert. Während der Zeit nach dem Anpicken in der Luftkammer (internal pipping) bis zum Anpicken der Schale (external pipping) nimmt der Glykogengehalt in Leber und in Herz deutlich ab (Beattie, 1964; Freeman, 1965). Dabei sind die Thyroid-Hormone für die Synthese von Glykogen, für die hepatische Glykogenolyse und die Akkumulation des Glykogens in Gewebe mit geringerer Gluconeogenesefähigkeit essentiell (Christensen et al., 1996). Eine artifizielle Reduktion der Permeabilität der Schale und damit verbunden eine Verschärfung der Hypoxiebedingung führt zu einer stärkeren Abnahme des Glykogengehalts in Leber, Herz und Skelettmuskulatur und zu einer deutlichen Erhöhung der späten embryonalen Mortalität (Beattie, 1964; Tazawa et al., 1992). Im Gegensatz hierzu führte eine Sauerstoffbehandlung während der späten embryonalen Entwicklung bei Truthennen zu einer Reduktion der embryonalen Mortalität und einer Verbesserung der Schlupffähigkeit (Christensen und Donaldson, 1992). Der positive Effekt der Sauerstoffbehandlung auf den Schlupferfolg war zwar bei auf Wachstum oder Legeleistung selektierten Linien (Truthennen), nicht jedoch bei deren Kontrolllinien wirksam (Christensen et al., 1997). Dies deutet auf eine Veränderung der embryonalen Stoffwechselphysiologie (anaerober Metabolismus) durch genetische Einflussnahme hin (Christensen et al., 1997; Christensen et al., 1999). Nach Beattie (1964) und Christensen et al. (1992; 1993; 1997) ist die gespeicherte Glykogenmenge im Herzgewebe zu Beginn der Hypoxieperiode bzw. eine hypoxiebedingte Retardierung des Herzwachstums während der Hypoxieperiode für die Überlebensfähigkeit des Embryos während dieser kritischen Phase der embryonalen Entwicklung bedeutsam.

Übereinstimmend mit den Versuchsergebnissen von Hiller (1994) zeigt die eigene Analyse des oxidativen Metabolismus eine deutliche Reduktion der Stoffwechselaktivität der schlupfunfähigen Embryonen (14. bis 21. Bruttag) gegenüber den geschlüpften Küken (Abb. 4.19 und Tabelle 4.48). Von daher ist die Betrachtung des oxidativen Stoffwechsels während und vor der Hypoxieperiode sowie nach dem Anpicken der Schale und dessen Rolle im Hinblick auf die Synthese der Kohlenhydrate für den anaeroben Stoffwechsel von Bedeutung. Bei dem Vergleich der embryonalen Stoffwechselaktivität aller drei Befiederungsgenotypen wird ersichtlich, dass kein signifikanter Unterschied im Sauerstoffverbrauch und somit in der oxidativen Stoffwechselaktivität zwischen allen drei Genotypen bei schlupffähigen und lebensunfähigen Embryonen besteht. Auch ein möglicher Einfluss des Nackthalsgens auf den anaeroben Metabolismus ist nicht nachzuweisen, da es keine Unterschiede bei der

embryonalen Wärmeproduktion gibt, die als ein Maß für die gesamtembryonale Stoffwechselaktivität besteht. Dennoch sind weitere spezielle Untersuchungen der Stoffwechselfysiologie der Nackthalsembryonen notwendig, um die Wirkung des Nackthalsgens auf den embryonalen Metabolismus im Hinblick auf die embryonale Überlebensfähigkeit zu untersuchen.

Ein weiterer Faktor, der die embryonale Mortalität beeinflussen kann, ist der um das 3 bis 4fache hypertrophierende, kopfstreckende Muskel (Musculus complexus), mit dem das Aufbrechen der Kalkschale durchgeführt wird (Feher, 1988). Der M. complexus ist neben einer passiven Funktion als Widerlager des Nackens auch aktiv durch seine Kontraktion am Schlüpfvorgang beteiligt (Hagen, 1992). Der Stoffwechsel und die Enzymaktivität des M. complexus nehmen bis zum Schlupftag kontinuierlich zu, wobei Glykogen, dessen prozentualer Zellanteil zum Schlupf hin stark abnimmt, als Hauptenergieträger dient. Dabei ist die Aktivität der Enzyme des glykolytischen Stoffwechsels vergleichsweise höher als die Aktivität der oxidativen Enzyme (Literaturübersicht s. Hagen, 1992).

Wie die Ergebnisse der Analyse über den Anteil der angepickten Schalen bei den abgestorbenen Bruteiern verdeutlichen (Tabelle 4.3), besteht kein signifikanter Einfluss des Nackthalsgens auf die Häufigkeit des Anpickens der Schale.

Tab. 5.1: Der Effekt des Nackthalsgens (*Na*) auf die Häufigkeit des Anpickens der Schale
The effect of naked neck gene (Na) on external pipping frequency

Varianzursache*	LSQ-Mittelwerte (%)**	F-Wert und Signifikanzniveau
Hahnengenotyp		0,63
NaNa	12,5±2,2	0,4292
nana	15,0±2,3	
Hennengenotyp		1,76
NaNa	11,8±1,7	0,1850
nana	15,9±2,6	
Hahnengenotyp x Hennengenotyp		2,16
NaNa x NaNa	12,7±1,6	0,1416
NaNa x nana	12,3±3,6	
nana x NaNa	10,9±2,9	
nana x nana	20,2±3,3	

*765 Bruteier aus Kontrollumwelt; logistisches Modell (GLMM) mit fixen Einflussfaktoren Hahnen- und Hennengenotyp; **transformierte Werte

Allerdings ist dennoch eine hohe nichtsignifikante Überlegenheit der normalbefiederten gegenüber den nackthalsigen Embryonen zu verzeichnen. Ob das Nackthalsgen auf die Physiologie und histologische Struktur oder auf den für den Schlupfakt wichtigen Prozess der

Hypertrophierung des *M. complexus* einen Einfluss ausübt oder Muskel-, Stoffwechsel-, Hormon- und Enzymaktivität beeinflusst, insbesondere unter dem Aspekt, dass der über dem Muskel liegende kutane Bereich von der durch das Nackthalsgen bedingten Entfiederung betroffen ist, muss noch weiter erforscht werden.

Die Klärung der physiologischen Basis für die vom Nackthalsgen ausgehenden embryonalen Mortalität ist für künftige produktions- und züchtungstechnischen Maßnahmen von besonderem Interesse. Hierzu sind spezielle Untersuchungen notwendig wie :

- Untersuchung der embryonalen Bewegungsaktivität, Bewegung und Kontraktion des Kopfes beim externen Anpicken und Perforieren der Schale mittels nicht-destruktiver Technik wie Kernspintresonanztomographie (nuclear magnetic resonance imaging; NMRI) oder 3D-Sonographie (Kuchida et al, 1999; Narushin und Romanov, 2002).
- Einsatz dieser Technik zur vergleichenden histometrischen Untersuchung des *M. complexus*, möglicherweise auch zur Analyse von Ödemen, Blutungen (Hämorrhagien) und der Anzahl nekrotischer Zellen, die die Schlupffähigkeit beeinträchtigen (Rigdon et al., 1968 a; 1968b).
- Vergleichende Untersuchung der Gewichtsentwicklung von embryonalem Herz, Leber und Schlupfmuskel während der Plateauphase, des Anpickens und der Schlupfphase.
- Vergleichende histochemische Untersuchung (Glykogengehalt, Stoffwechselabbauprodukte, Enzym- und Hormonaktivität) von embryonalem Herz, Leber und Schlupfmuskel sowie embryonalem Blutserum während der Plateauphase, des Anpickens und der Schlupfphase.

Anzahl der Küken je Anfangshenne und Kükengewicht

In produktionstechnischer Sicht ist für die Beurteilung der Genwirkungen angesichts der vielschichtigen Interaktion bei den einzelnen Fruchtbarkeitsmerkmalen eine Analyse des komplexen Reproduktionserfolges, also in Form der erzeugten Küken in der Zeiteinheit, massgebend. Im Hinblick auf die Wirkung des Gens für Lockenfiedrigkeit auf den gesamten Reproduktionserfolg ist neben der Umwelttemperatur ein deutlicher Unterschied in Abhängigkeit vom Befiederungsgenotyp der Henne festzustellen. Während bei der Verwendung heterozygoter Frizzlehennen (I) keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen dem Hennengenotyp (*Ff*) und der Umwelttemperatur nachzuweisen sind, ist bei der Nutzung homozygoter Genotypen (II) eine signifikante Hennengenotyp x Umwelt - Interaktion zu Gunsten der Lockenhennen (*FF*) zu erkennen (Tabelle 4.41). Während unter

den hohen Umwelttemperaturen eine effektivere Wärmekonvektion bei Homozygotie des Lockengens eine höhere reproduktive Leistung vorhanden ist, führt die exzessive sensible Wärmeabgabe unter der gemäßigten Umwelt zu einer Retardierung von Legereife und Legeleistung und damit verbunden zu einer Verringerung der reproduktiven Leistung. Yunis und Cahaner (1999) zeigen, dass unter permanenter Wärmebelastung (32 °C) die Einzüchtung des Lockengens (*F*) in heterozygoter Form zu einer Verbesserung der Gewichtsentwicklung und Wachstumsrate der Broilerendprodukte führt. Das Niveau der Leistungsverbesserung durch das Lockengen blieb jedoch hinter der Einwirkung des Nackthalsgens (*Na*) bzw. hinter der kombinierten Wirkung der beiden Majorgene (*FfNana*) zurück. Ähnliche Ergebnisse liefern die Versuche von von Haaren-Kiso (1991) bei der Eileistung von Legehennen. Dies unterstreicht wichtige Einflussmöglichkeiten zur Steigerung des Hitzeadaptationsvermögens über eine „genetische“ Ausdünnung der Befiederung entweder durch Selektion oder erfolgreicher durch Kombination mit anderen tropenrelevanten Majorgenen zur Verbesserung der konvektiven Wärmeabgabe. Für die züchterische Nutzung des Lockengens ist allerdings günstiger, wenn die Elternpopulation im Merkmal Lockenfiedrigkeit homozygot ist. Allerdings sind noch keine Untersuchungen im Hinblick auf die reproduktive Leistung der homozygoten Broiler-Elternhennen unter konventionellen Produktionssystemen am tropischen Standort durchgeführt worden. Trotz einem deutlich erhöhten Leistungsniveau der homozygoten gelockten Hennen unter Temperaturbelastung muss - unter dem Aspekt einer Beeinträchtigung des Leistungsniveaus der gelockten Hennen unter gemäßigten Umwelttemperaturen - die züchterische Nutzung des Lockengens in homozygoter Form an spezifische, heiße tropische Standorte beschränkt werden. Da diurnale Temperaturschwankungen und mikroklimatische Bedingungen saisonal sehr differenziert wirken und somit Gen x Standort - Wechselwirkungen hervorrufen, sind regionale Tests erforderlich. Diese gewinnen verstärkt an Bedeutung, wenn außerdem eine Kombination des Lockengens mit dem Verzweigungsgen angestrebt wird, um den positiven Effekt des Verzweigungsgens für die Reduzierung des Futteraufwandes für die Mutterzuchtlinie zu nutzen. Dies zeigt sich im vorliegenden Versuch an dem Merkmal „Kükenanzahl“ bei verzweigten homozygot gelockten Hennen im Vergleich zu normalwüchsigen homozygot gelockten Hennen unter gemäßigten Temperaturen deutlich.

In der Literatur wird insgesamt eine positive Wirkung des Verzweigungsgens auf die Kükenzahl von Broiler-Eltern beschrieben (Sherwood, 1971; Chambers et al., 1974; Weaver,

1974).

Die vorliegende Untersuchung zeigt ferner, dass die permanente Hitzebelastung bei normalbefiederten schweren Mast-Elternhennen (VZL) zu einer deutlichen Reduktion an produzierten Küken und somit gesamtproduktiven Leistung führt. Diese ist hauptsächlich durch wärmebedingte Legeleistungsdepression und hohe Mortalität der Zuchthennen bedingt (Tabelle 4.42). Die Einzüchtung des Nackthalsgens unter Temperaturstress führt daher zu einer deutlichen Erhöhung an erzeugten Eintagsküken. Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen ist allerdings im Vergleich zu den normalbefiederten Hennen die produzierte Anzahl an Eintagsküken infolge der durch das Nackthalsgen bedingten Erhöhung der embryonalen Mortalität signifikant verringert.

Die Nutzung des Verzweigungsgens führt zu einer Reduktion des Eigewichtes bzw. Kükengewichts (Tabelle 4.44) und damit verbunden zu einer Retardierung des postembryonalen Wachstums. Die von Merat (1984; 1990) zusammengestellten Versuchsergebnisse mehrerer Autoren zeigen eine insgesamt stärkere Retardierung der Gewichtsentwicklung bei den männlichen normalwüchsigen Nachkommen (2 bis 3 %) der verzweigten Hennen als bei den weiblichen normalwüchsigen Nachkommen (0 bis 1 %). Dabei wird die Gewichtsreduktion der weiblichen Nachkommen der Zwerghennen auf die durch das Verzweigungsgen bedingte Verringerung des Eigewichtes und bei den männlichen Nachkommen hauptsächlich auf die nicht vollständige Rezessivität des rezessiven Zwergallels (*Dwdw*) zurückgeführt.

Da unter der Temperaturbelastung das Eigewicht erheblich reduziert ist (Tabelle 4.9 und 4.10), andererseits aber eine enge Beziehung zwischen dem Eigewicht, dem Kükengewicht und damit auch der Entwicklungsfreudigkeit der Küken besteht (Washburn und Guill, 1974; Shanawany, 1987; Sinclair et al., 1990; Pinchasov, 1991), ist die Einzüchtung der federreduzierenden und modifizierenden Majorgene auch ein Lösungsansatz durch Verbesserung der sensiblen Wärmeabgabe mit dem Ergebnis einer Erhöhung der Kükengewichte und Senkung der postembryonalen Mortalität (s. Literaturübersicht Wilson, 1991a). Der Einfluss des Eigewichtes bzw. des Kükengewichts ist allerdings auch abhängig von weiteren Faktoren wie Rasse und Herkunft, Geschlecht, Alter der Hennen, Fütterung, Umweltbedingung und Brut. Die von Wilson (1991a) durchgeführte Auswertung einer

Vielzahl von Versuchsergebnissen unterschiedlicher Autoren zeigt eine insgesamt positive Korrelation (0,3–0,5) zwischen Eigewicht und 5 bis 8 Wochen -Körpergewicht bei unterschiedlichen Broilerlinien. Mit zunehmendem genetischen Fortschritt in Wachstumsintensität und abnehmendem Alter bei den Vermarktungsgewichten der Broilerendprodukte nimmt die Korrelation zwischen Kükengewicht und Broiler-Endgewicht weiter zu und gewinnt verstärkt an ökonomischer Bedeutung.

Unter der Temperaturbelastung erhöht die Einzüchtung der federreduzierenden Gene (*F* und *Na*) das Eigewicht um immerhin etwa 10 Gramm. Zusammenfassend ist hervorzuheben, dass eine Verringerung der Wärmebelastung der Broiler-Elternhennen nicht nur deren reproduktive Leistung verbessert, sondern gleichzeitig auch die juvenile Überlebensfähigkeit und Gewichtsentwicklung ihrer Nachkommen begünstigt.

Der maternale Befiederungstyp (*FF* vs. *ff* oder *NaNa* vs. *nana*) beeinflusst die Gewichte der Eintagsküken. Die Eintagsküken, die von Nackthalshennen (*NaNa*) oder von Lockenhennen (*FF*) stammen, sind im Vergleich zu den Küken der Kontrollgruppe (Normalfedrigkeit) unabhängig vom Eigewicht signifikant schwerer. Die Ursache hierfür ist nicht ganz klar, und es bleibt offen, inwieweit hierauf auch die im Laufe der Brut reduzierte Wasserverdunstungsmenge bei den Bruteiern der Nackthals –(*NaNa*) bzw. Lockenmutterhennen (*FF*) einen positiven Einfluss hatte.

Schlussfolgerung

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass unter hoher Wärmebelastung eine Verminderung der Federmasse und Auflockerung des Gefieders zur Erhöhung der sensiblen Wärmeabgabe erreichbar ist und somit durch züchterische Nutzung der tropenrelevanten Majorgene (*NaNa* und *FF*) eine deutliche Verbesserung des produktiven Adaptationsvermögens und der Hitzetoleranz der Mast-Elterntiere erreicht werden kann. Auch praktische Versuche vor Ort (Mennicken, 1995) zeigen, dass unter heißen tropischen Bedingungen die Einzüchtung des geschlechtschromosomgebundenen Gens für die Reduzierung der Befiederungsgeschwindigkeit (*K*-Gen) beim Küken in kommerziellen Broiler-Elterntieren zu einer signifikanten Verbesserung der gesamtproduktiven Leistung führt. Die Effektivität der Wärmeabgabe und damit die Verbesserung der Gesamtleistung durch die Einführung des *K*-Gens ist aber wesentlich geringer einzuschätzen als die

Leistungssteigerung durch die Einzüchtung des Nackthals- und Lockengens in homozygoter Form. Die positive Wirkung dieser Gene auf die Produktionseffektivität ist aufgrund der zu beobachtenden Körpergrößen x Umwelt - Interaktion bei Masttieren noch höher zu beurteilen als bei der Einführung dieser Gene in leichte Legepopulationen. Unter den gemäßigten Umwelttemperaturen ist die gesamtproduktive Leistung der homozygoten Nackthalshennen aufgrund einer durch dieses Gen bedingten Erhöhung der embryonalen Mortalität insbesondere bei den homozygoten Embryonen reduziert. Bei der züchterischen Nutzung des Nackthalsgens ist deshalb die Einzüchtung dieses Gens in Parentallinien ratsam, da dann die negative Wirkung des Nackthalsgens auf die reproduktive Leistung weniger ins Gewicht fällt. Dabei können die homozygoten Nackthalshähne zur Erzeugung der Mastendprodukte dienen, wobei die Befiederungsreduktion der Hähne einer wärmebedingten Reduktion der Fertilität und Schlupffähigkeit entgegenwirkt (McDaniel 1995; 1996) und gleichzeitig auch die Gewichtszunahme der teilbefiederten Broiler-Endprodukte unter hohen Umwelttemperaturen verbessert wird (Deeb und Cahaner, 1999).

In Abhängigkeit von dem genetischen Hintergrund, in den das Verzweigungsgen eingezüchtet wird (Gen x Genom - Interaktion), ist die Wirkung des Zwerggens (*dw*) auf die reproduktive Leistung unterschiedlich. Während bei leichten Legetypen ein Rückgang der Legeleistung durch die Einzüchtung des Verzweigungsgens nachgewiesen und zu erwarten ist, ist vielmehr eine neutrale Wirkung des Verzweigungsgens insgesamt auf die reproduktive Leistung der Broiler-Mutter hervorzuheben. Dabei ist sogar bei Linien mit hohem Mast- und niedrigem Legeleistungsvermögen ein positiver Einfluss auf die Legeleistung feststellbar (s. Literaturübersicht Merat, 1984; Mennicken, 1995). Eine Verringerung des Energieerhaltungsaufwandes und damit verbunden eine Reduzierung des Futtermittelsverbrauches, ein geringerer Platzbedarf sowie die Wärmetoleranz der verzweigten Hennen sprechen für die züchterische Nutzung des Zwerggens in der Broiler-Kükenerzeugung, insbesondere an heißen Standorten mit geringerer Futtermittelfürbarkeit bzw. bei höherer Futterkosten-Situation.

Diese günstigen Eigenschaften sind bei den hier durchgeführten Untersuchungen nur bei den unter der thermischen Belastung gehaltenen normalfiedrigen Zwergghennen (*ffdw*-) und bei heterozygoten Zwergghennen (*Ffdw*-) nachweisbar gewesen. Allerdings verbessert unter der thermischen Belastung das Lockengen in heterozygoter Form die reproduktive Leistung nur geringgradig, während es in homozygoter Form die reproduktive Leistung deutlich erhöht.

Da die Kombination von Gefieder-Auflockerung (*FF*) und Verzweigung (*dw*-) unter

gemässigten Temperaturen das Reproduktionsvermögen deutlich absenkt, ist die züchterische Nutzung in Broiler- Elterhennen ebenfalls auf dem spezifisch hierfür geeigneten tropischen Standort zu verlagern.

Umgekehrt eröffnet der Einsatz dieser Gene die Möglichkeit für tropische Regionen unter gleichzeitiger Nutzung lokaler und/oder weltmarktverfügbarer genetischer Ressourcen eigenständige Zuchtarbeit zu leisten und bestehende Genotyp x Tropenumwelt - Interaktionen nachhaltig auszuschöpfen (Horst, 1998). Wenn auch die vorliegenden Stationsuntersuchungen unter Bedingungen extremer Temperaturbelastung durchgeführt wurden, und die konstanten Temperaturbelastungen keine Simulation der tropischen Verhältnisse darstellen, spiegeln Sie jedoch das Leistungsverhalten der verschiedenen Genotypen unter kurzzeitigen Belastungssituationen wider, die an tropischen Standorten zeitweise während bestimmter Jahres- oder Tageszeiten bzw. unter ungünstigen Windbedingungen auftreten können. Außerdem erlaubt eine definierte Wärmebelastung eine eindeutigere Beurteilung des Hitzeeinflusses. Dies gilt insbesondere für Mast-Elternlinien, die bei Managementfehlern einen drastischen Leistungseinbruch in den Tropen und Subtropen aufweisen können.

6. Zusammenfassung und Summary

6.1 Zusammenfassung

In einer Vielzahl von Untersuchungen, die überwiegend mit Legepopulationen durchgeführt worden sind, ist eine depressive Wirkung der hohen Umwelttemperaturen auf Wachstum und Fruchtbarkeitsgeschehen nachgewiesen. Durch die hitzebedingte Verringerung der Überlebensrate, der Legetätigkeit und der Qualität des Bruteis sowie durch verminderte Fertilität und Schlupffähigkeit wird die Wirtschaftlichkeit der Broiler-Elterntierhaltung unter den heißen Standortbedingungen beeinträchtigt. Eine Verringerung der wärmespezifischen Leistungsdepression kann mittels züchterischer und haltungstechnischer Möglichkeiten erzielt werden, wobei im Gegensatz zu Züchtungsumsetzungen die Einführung haltungstechnischer Maßnahmen mit hohen Investitionen und dauerhaft anfallenden Kosten verbunden ist.

In dieser Arbeit wurden die Einflüsse der tropenrelevanten Majorgene zur Verbesserung der tierischen Leistung der Mast-Elterntiere bei thermischer Belastung in mehreren faktoriell angelegten Versuchsreihen geprüft.

Entsprechend dem in der Praxis üblichen Produktionssystem für die Mastgeflügelzucht dienten in diesen Versuchsreihen zwei genetisch differenzierte experimentelle Mast-Eltern-Zuchtlinien. Die Broilermutterlinie (MZL) mit hoher Reproduktionsrate und guter Mastleistung ist segregiert in den Majorgenen für Zwergwüchsigkeit (*dw*) und Lockenfiedrigkeit (*F*), während die schwere Broilervaterlinie (VZL) mit genetischer Anlage für hohe Mastleistung in dem Majorgen für Nackthalsigkeit (*Na*) segregiert.

Die Hennen der Mutterzuchtlinie wurden zum Vergleich in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsreihen (I und II) ab der 18.-20. Lebenswoche bis jeweils zur 64. bzw. 72. Lebenswoche unter hohen (30 °C, rel. Luftf. 55-58 %) und gemäßigten Temperaturen (ca. 19 °C) in Einzelkäfigen gehalten. Zusätzlich wurden in der Versuchsreihe III die Hennen aller vier Genotypen ab der 18. Lebenswoche in nur einer Versuchskammer unter konstanten Temperaturen von ca. 24,5 °C und 55 % relativer Luftfeuchte in Einzelkäfigen kontrolliert.

Die Junghennen wurden während der Aufzuchtperiode in der Versuchsreihe I ad libitum und

in der Versuchsreihe II restriktiv gefüttert. In der Legeperiode erhielten die Zwerge eine ad libitum Ration, während die normalwüchsigen Typen restriktiv (Vers. II) gefüttert wurden. Abweichend davon erhielten alle Hennen der Versuchsreihe III während der gesamten Versuchsdauer ein ad libitum-Futterangebot.

Die Hennen der Mutterzuchtlinie der Versuchsreihe I waren im Merkmal Lockenfiedrigkeit heterozygot, mit und ohne Kombination mit dem Zwergfaktor dw ($Ffdw-$, $FfDw-$, $ffdw-$). Als Kontrolllinie dienten Normaltyp-Hennen ohne Ausstattung mit den oben erwähnten Majorgenen ($ffDw-$). Die Hennen der Mutterzuchtlinie der Versuchsreihe II und III waren im Merkmal Lockenfiedrigkeit homozygot ($FFDw-$, $FFdw-$). Als Kontrolllinie dienten ebenfalls normalfiedrige und normalwüchsige Hennen ($ffDw-$).

Die Ergebnisse lassen sich für die Hennen der Mutterzuchtlinie wie folgt zusammenfassen:

Die thermische Belastung führt insgesamt zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Überlebensfähigkeit der adulten Hennen und zu einer erheblichen Depression der reproduktiven Leistung (Eizahl, Eigewicht, Eischalenqualität, Bruteianteil, Fertilität, Schlupffähigkeit, Anzahl der Küken, Kükengewicht) in beiden Versuchsdurchgängen I und II.

Bei der Versuchsreihe I führt die Einzüchtung des F -Gens in heterozygoter Form (Ff) unter Temperaturbelastung zu keiner signifikanten Verbesserung der untersuchten Merkmale, obgleich eine tendenzielle positive Wirkung des F -Gens auf die Merkmale Überlebensfähigkeit, Legeleistung und Fertilität vorhanden ist. Unter gemäßigten Temperaturen besteht kein Einfluss des Lockengens in heterozygoter Form auf die Überlebensfähigkeit, das Wachstum und die Komponenten der reproduktiven Leistung.

Während der Einfluss des Zwerggens (Vers. I) sich bei den Merkmalen Gewichtsentwicklung, Legereife, Eizahl und Eigewicht depressiv bemerkbar macht, verbessert er den Bruteianteil und die Schlupffähigkeit. Bei den Merkmalen Eizahl und Eigewicht bestehen allerdings signifikante Wechselwirkungen mit der Umwelttemperatur. Während unter gemäßigten Umwelttemperaturen die Zwerge den Normalwüchsigen signifikant unterlegen sind, besteht unter Temperaturbelastung aufgrund des besseren Adaptationsvermögens der Zwerge kein Unterschied zwischen beiden Körpergrößentypen.

Bei der Versuchsreihe II treten bei fast allen untersuchten Merkmalen mit Ausnahme der

Legereife signifikante Interaktionen zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur auf. Dabei führt die Einzüchtung des *F*-Gens in homozygoter Form (*FF*) unter Temperaturbelastung zu einer deutlichen Verbesserung der Überlebensfähigkeit der Hennen und der Komponenten der Reproduktionsleistung Eizahl, Eigewicht Schalenqualität, Bruteanteil, Fertilität, Schlupffähigkeit, Anzahl der Küken und Kükengewicht.

Unter gemäßigten Temperaturen ist die Wirkung des *F*-Gens in doppelter Dosis auf die reproduktive Leistung uneinheitlich. Während die Überlebensfähigkeit der Hennen, die Eischalenqualität, die Fertilität, das Eigewicht und das Kükengewicht durch die Einzüchtung des *F*-Gens erhöht wird, ist die Eizahl und damit verbunden die Kükenzahl in ausgeprägtem Umfang reduziert. Die Ursache für die depressive Wirkung des Lockengens in homozygoter Form auf die Legeaktivität liegt zum Teil in der verzögert einsetzenden Legereife, die sowohl unter gemäßigten als auch unter hohen Temperaturen auftritt und bei dem Kombinationstyp (*FFdw*-) insbesondere unter gemäßigten Temperaturen ein erhebliches Ausmaß einnimmt (dreifache Interaktion).

Auch in Versuch II ist eine depressive Wirkung des Zwergfaktors auf die Gewichtsentwicklung der Hennen und die Komponenten der reproduktiven Leistung Legereife, Eizahl, Kükenzahl und Kükengewicht vorhanden. Bei den Merkmalen Legebeginn, Legeleistung und Fertilität treten Interaktionen zwischen den Loci auf, wobei der Kombinationstyp (*FFdw*-) dem normalbefiederten Zwergtyp (*ffdw*-) im Merkmal Legeleistung unterlegen und im Merkmal Fertilität überlegen ist. Zwischen beiden Befiederungstypen des Normalwuchses (*FFDw*- und *ffDw*-) bestehen keine signifikanten Unterschiede.

Die depressive Wirkung des homozygoten Lockengentyps auf das Legegeschehen ist tendenziell auch in der Versuchreihe III erkennbar.

Bei der Versuchsreihe IV (VZL) treten bei fast allen untersuchten Merkmalen mit Ausnahme der Legereife signifikante Interaktionen zwischen Befiederungstyp und Umwelttemperatur auf.

Unter der thermischen Belastung weisen die normalbefiederten Hennen (*nana*) bei allen untersuchten Merkmalen deutliche Leistungsdepressionen auf.

Die Einzüchtung des Nackthalsgens in homozygoter Form (*NaNa*) führt unter Temperaturbelastung zu einer deutlichen Verbesserung der Überlebensfähigkeit der Hennen, des Wachstums und der Komponenten der Reproduktionsleistung Eizahl, Eigewicht Schalenqualität, Bruteanteil, Fertilität und Kükengewicht sowie Kükenzahl. Aufgrund einer Nackthalsgen bedingten Erhöhung der embryonalen Mortalität sind die Nackthalshennen (*NaNa*) in den Merkmalen Schlupffähigkeit und Kükenzahl den normalbefiederten Hennen (*nana*) gegenüber unterlegen, wenn der Embryo im Merkmal Nackthalsigkeit homozygot ist. Ist der Embryo jedoch heterozygot - also aus der Anpaarung *nana x NaNa* hervorgegangen - sind die Nackthälse (*NaNa*) den normalbefiederten Hennen (*nana*) auch im Merkmal Schlupffähigkeit überlegen.

Unter gemäßigten Temperaturen ist die Wachstumsrate der nackthalsigen Hennen (*NaNa*) gegenüber den normalbefiederten Hennen (*nana*) reduziert. Im Hinblick auf die Komponenten der Reproduktionsleistung besteht mit Ausnahme des Schlupferfolges und damit verbunden der Anzahl der Küken zwischen beiden Genotypen kein signifikanter Unterschied.

Durch die Einzüchtung des Nackthalsgens wird die spätembryonale Mortalität erhöht, wobei die Mortalität der Embryonen im homozygoten Genotyp ein wesentlich höheres Ausmaß erreicht als die der heterozygoten Embryonen. Die Ursachen für die durch das Gen bedingte embryonale Mortalität liegt weder im embryonalen Sauerstoffverbrauch noch in der embryonalen Wärmeentwicklung oder in der Stellung des Embryos im Ei in der Spätphase der Brut begründet.

6.2 Summary

In a series of experiments, mostly conducted in laying populations, a depressive effect of high temperatures on growth and reproduction has been verified. For reasons of depressions in important characteristics such as survival rate, laying activity and quality of hatching egg as a result of the influence of hot temperatures the profitability of the broiler industry in hot climates is affected. A depression of performance due to high temperature can be reduced through breeding or management practices, which unlike breeding measures involve investments and permanently arising expenses.

The present thesis investigates the influence of major genes relevant in tropical environment

for improvements in growth rate, livability and reproduction performance of broiler parents under thermal impact in a series of factorial experiments.

According to the common production systems for the broiler industry two different parental broiler lines have been used in this experimental design. The broiler breeder dams (MZL) with high reproduction rate and good fattening performance are carriers of the major genes for dwarfism (*dw*-) and frizzle (*F*), while the heavy broiler sire line (VZL) with genetic disposition for high growth performance is carrier of the major gene for naked neck (*Na*).

In two successive experimental series (I and II), the hens of the broiler breeder dam line (MZL) were housed in separate cages under high and moderate temperatures, 30 °C and 19 °C respectively, with relative humidity of 55-56 % from the 18th-20th week of age to the 56th and 72th week respectively. Especially in the experimental series III the hens of all four genotypes were housed in separate cages under one roof and constant temperature of around 24.5 °C and 55 % relative humidity.

All hens of experimental series I have been fed ad libitum during the rearing period; during laying period only dwarfs were fed ad libitum while those of normally sized animals kept under restricted feeding. In experimental series II all hens were under restricted feeding during rearing period followed by the same set-up as in experimental serie I which was ad libitum feed for dwarfs and restricted feeding for normally sized hens. In conduct to the first two experiments all hens of experimental series III have been fed ad libitum during the whole course of the experiment.

Hens of the broiler breeder line (MZL) in experimental series I were heterozygous for the frizzle gene, both in combination and without the *dw* -factor (*Ffdw*-, *FfDw*-, *ffdw*-). Hens without the above mentioned major genes (*ffDw*-) served as control lines. Hens of the broiler breeder dam line (MZL) of experimental series II and III were homozygous for the frizzle trait and were also carriers of the combination of *dw* -factor or of normal body size (*FFdw*-, *FFDw*-, *ffdw*-). The normally sized and feathered hens (*ffDw*) gain served as control line.

The results for the hens of the broiler breeder dam line hens (MZL) may be summarized as

follows:

The thermal impact leads overall to a significant interference of survival rate of adult hens and a considerable depression in reproduction performance (number of eggs, egg weight, egg shell quality, seatable eggs, fertility, seat ability, number of chicks, chick weight) in both experimental settings I and II.

Under high ambient temperatures, the frizzle gene in heterozygous form (*Ff*) does not lead to a significant improvement in the tested traits in experimental series I, although a significant positive effect of the *F*-gene is recognizable for the following traits: survival rate, laying performance and fertility. Under moderate temperatures the frizzle gene in heterozygous form has no significant impact on survival ratio, growth and the components of reproduction performance.

While the influence of the dwarf gene (exp. I) with respect to growth development, sexual maturity, number of eggs and egg weight is depressive, it improves the fraction of hatchable eggs and also the hatchability. A significant interaction with the environmental temperatures exists for number of eggs as well as for egg weight. Under moderate conditions the dwarfs are significantly inferior to the normally body sized birds while under hot temperatures due to the better adaptability of the dwarfs there is no difference between the two types of body size.

In the experimental series II almost all traits except for sexual maturity show a significant interaction between feathering genotype and environmental temperatures. The survival ratio of hens and components of reproduction performance such as number of eggs, egg weight, shell quality, fraction of seatable eggs, fertility, hatchability, number of chicks and chick weight clearly improves if the *F*-gene is present in homozygous form (*FF*).

Under temperate conditions the effect of the homozygous *F*-gene on reproduction performance is inconsistent. While survival ratio of hens, egg shell quality, fertility, egg weight and weight of chicks improves by the presence of the *F*-gene, number of eggs and in association with that number of chicks is distinctly reduced. The reason for the depressive effect of the homozygous *F*-gene on laying intensity consists in the delay of age at first egg which occurs under moderate and high temperatures. This deficiency gains a considerable dimension for the combined genotype (*FFdw*-) especially under temperate conditions, adding

up to a triple interaction.

In experiment II, the *dw*-factor also shows an overall depressive effect on the growth of hens and on most components of reproductive performance such as sexual maturity, number of eggs, number of chicks and chick weight. For other reproductive traits such as sexual maturity, laying performance and fertility special locus by locus -interactions occur. The combined genotype (*FFdw*-) proves to be inferior to the normal feathered dwarf type (*ffdw*-) for laying performance but superior to the normally size dam type in fertility. Furthermore, significant differences were found between the two types of feathering in the normally sized genotypes (*FFDw*- and *ffDw*-) were not observed.

A nonsignificant depressive effect of the homozygous *F*-gene on laying performance was also noted in the experimental series III, too.

The experimental series IV (VZL) shows significant interactions between feathering type (*NaNa*, *nana*) and environmental temperatures in almost all traits tested (with the exception of age of maturity).

Under thermal pressure the normally feathered hens (*nana*) show clear performance depressions in all traits measured. The use of the naked neck gene (*Na*) in homozygous form results under high temperatures in a distinct improvement of survival ratio of hens, growth and components of reproduction like number of eggs, egg weight, shell quality, fraction of seatable eggs, fertility and chick weight as well as number of chicks. Due to an increase in embryonic mortality as a result of the naked neck gene, the naked necks (*NaNa*) are inferior to the normal hens (*nana*) for the trait hatchability when the embryos were homozygous for the *Na*-gene. If the embryos were heterozygous descending from a *nana* x *NaNa* mating plan *NaNa*-hens were also superior to *nana*-hens in hatchability.

Under temperate conditions, the growth rate of *NaNa*-hens is reduced compared to *nana* – hens. But in the components of reproduction performance differences were not significant between both genotypes; an exception was found only in hatchability and consequently in the complex trait of number of chicks .

Due to the *Na*-gene, embryonic mortality in the late hatching stage is significantly increased, whereby the homozygous genotype is much more affected than the heterozygous embryo. The

possible reason for the *Na*-gene induced embryonic mortality is still not clear. In this investigation the phenomenon can neither be explained by the oxygen consumption, nor by the heat development or by the position of the naked neck embryo.

7. Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

Ahvar, F. (1979). "Auswirkung hoher Umwelttemperaturen auf Eibeschaffenheit und Legerhythmus beim Huhn." Dissertation, Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Berlin, Technische Univesität Berlin.

Ahvar, F., J. Peterson, P. Horst und H. Thein (1982): "Veränderungen der Eibeschaffenheit in der 1. Legeperiode unter dem Einfluß hoher Umwelttemperaturen." Arch. Geflügelk. 46: 1-8.

Akbar, M. K., J. S. Gavora, G. W. Friars and R. S. Gowe (1983): "Composition of eggs by commercial size categories: Effect of genetic group, age and diet." Poultry Science 62: 925-933.

Al-Batshan, H. A., S. E. Scheideler, B. L. Black, J. D. Garlich and K. E. Anderson (1994): "Duodenal calcium uptake, femor ash and eggshell quality decline with age and increase following molt." Poultry Science 73: 1590-1596.

Al-Murrani, W. K. (1978): "Maternal effects on embryonic and postembryonic growth in poultry." British Poultry Science 19: 277-281.

Al-Saudi, K. A. and M. A. J. Al-Jebouri, (1979): "Production potential in subtropic climate of native Iraqi chicken compared to White Leghorn, New Hampshire and their cross." World's Poultry Science Journal 35: 227-236.

Alihussain-Gadhia, S. (1983): "Genotype-environment interaction in layers housed in tropical (Malaysia) and temperate (Germany) locations." Dissertation, Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Berlin, Technische Universität Berlin.

Amer, M. F. (1962): "Embryonic mortality and malpositions in fayomi chicken." Poultry Science 41: 1707-1712.

Amin-Bakhche, M. et P. Merat (1974): "Étude d' un gene de nanisme lie au sexe chez la poule croissance embryonnaire." Ann. Genet. Sel. anim. 6: 391-392.

Anderson, G. B., W. Bolton, R. M. Jones and M. H. Draper (1978): "Effect of age of the laying hen on the composition of the egg." British Poultry Science 19: 741-745.

Anderson Braun, A. F. (1988): Kunstbrut - Handbuch für Züchter. Hannover, M & H Schaper.

Applegate, T. J. and M. S. Lilburn (1998): "Effect of hen age, body weight and age at photo stimulation. 2. Embryonic characteristics of commercial turkeys." Poultry Science 77: 439-444.

Ar, A. (1991): "Egg water movements during incubation. In: " Avian incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann.

Arima, Y., F. B. Mater and M. M. Ahmad (1976): "Response of egg production and shell quality to increases in environmental temperature in two age groups of hens." Poultry Science 55: 818-820.

- Asmundson, V. S. and J. J. MacIlriath (1948): "Preincubation tests with turkey eggs." Poultry Science 27: 1109-1112.
- Attia, Y. A., W. H. Burke, K. H. Yamani and L. S. Jensen (1995): "Daily energy allotments and performance of broiler breeders. 2. Females." Poultry Science 74: 261-270.
- Bacon, W. L. and K. L. Nestor (1979): "Reproductive traits of first eggs of clutches vs. other clutch position in turkeys." Poultry Science 58: 257-258.
- Bakst, M. R. (1981): "Sperm recovery from oviducts of turkeys at known intervals after insemination and oviposition." J. Reprod. Fertil. 62: 159-64.
- Bakst, M. R. and J. M. Bahr (1993): "Poultry". In: Reproduction in farm animals. E. S. E. Hafez. Philadelphia, Lea & Febiger: 385-402.
- Bakst, M. R., G. Wishart and J. P. Brillard (1994): "Oviductal sperm selection, transport and storage in poultry." Poult. Sci. Rev. 5: 117-143.
- Bauer, F., S. G. Tullet and H. R. Wilson (1990): "Effects of setting eggs small end up on hatchability and post hatching performance of broilers." British Poultry Science 31: 715-724.
- Beattie, J. (1964): "The glycogen content of skeletal muscle, liver and heart in late chick embryos." British Poultry Science 5: 285-293.
- Beaumont, C., N. Millet, E. Le Bihan-Duval, A. Kipi and V. Dupuy (1997): "Genetic parameters of survival to the different stages of embryonic death in laying hens." Poultry Science 76: 1193-1196.
- Becker, W. A. and G. E. Bearnse (1958): "Pre-incubation warming and hatchability of chicken eggs." Poultry Science 43: 944 - 948.
- Becker, W. A. (1964): "The storage of White Leghorn hatching eggs in plastic bags." Poultry Science 43: 1109-1112.
- Becker, C. (1983): "Die Bedeutung von Körpergewicht sowie Körpergröße und Körperkondition für das produktive Adaptionsvermögen der Legehennen unter hohen Umgebungstemperaturen. Dissertation". Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, Institut für Tierproduktion. Berlin, Technische Universität Berlin.
- Belyavin, C. G., K. N. Boorman and J. Volynchok (1987): "Egg quality in individual bird". IN: Egg quality-current problems and recent advances. Ed. Weels and Belyavin. London, Butterworths. 20: 105-121.
- Bennet, C. D. (1992): "The influence of shell thickness on hatchability in commercial broiler breeder flocks." J. Appl. Poultry Res. 1: 61-65.
- Benton, C. E. and J. Brake (1996): "The effect of broiler breeder flock age and length of egg storage on egg albumen during early incubation." Poultry Science 75: 1069-1075.
- Bernier, P. E., J. V. Spencer and J. L. Swartwood (1951): "The relative effects of inbreeding and out breeding on reproduction in the domestic fowl." Hilgardia 20: 529-625 (in Landauer, W., 1967):
- Bernier, P. E. and G. H. Arscott (1960): "Relative efficiency of sex-linked dwarf layers and their normal sisters." Poultry Science 39: 1234.

- Bilgili, S. F., J. A. S. Renden and L. M. Krista (1984): "Relationship among fertility, sperm storage and shell quality." Poultry Science 63: 2292-2295.
- Bilgili, S. F. and J. A. Renden (1985): "Relationship of body fat to fertility in broiler breeder hens." Poultry Science 64: 1394-1396.
- Bohren, B. B., L. B. Crittenden and R. T. King (1961): "Hatching time and hatchability in the fowl." Poultry Science 40: 620-633.
- Bondary, K. and R. Kazemi (1975): "The influence of egg size on initial chick weight and subsequent broiler growth." Arch. Geflügelk. 4: 135-137.
- Boone, M. A. and T. M. Huston (1963): "Effects of high temperature on semen production and fertility in the domestic fowl." Poultry Science 42: 670-676.
- Bordas, A., P. Merat, D. Sergent et F. H. Ricard (1978): "Influence du gene Na (cou nu) sur la croissance, la consommation alimentaire et la composition corporelle du poulet selon le temperature ambiante." Ann. Genet. Sel. anim. 10: 209-231.
- Bordas, A., L. E. Monnet et P. Merat (1980): "Gene 'cou nu' , performances de ponte et efficacite alimentaire selon la temperature chez la poule." Ann. Genet. Sel. anim. 12: 343-361.
- Bordas, A. and P. Merat (1984): "Effects of the naked neck gene on the traits associated with egg laying a dwarf stock at two temperatures." British Poultry Science 25: 195-207.
- Bordas, A., et P. Merat (1992): "Performances de ponte de poules de genotypes NaNa (Cou nu homozygot), Nana+(Cou nu heterozygot) et na+na+(plumage normal) d'une lignee naine(dw) de type "oeuf brun" soumises a une chaleur constante ou avec des fluctuations." Arch. Geflügelk. 56: 22-27.
- Bordas, A., J. P. Brillard, G. Coquerelle, P. Merat et J. L. Monvoisin (1993): "Influence du gene "Cou nu" et de la fréquence des inseminations sur les performances de reproduction des poules selon la température ambiante." Arch. Geflügelk. 57(3): 136-141.
- Brake, J., T. J. Walsh, C. E. Benton, J R., J. N. Petite, R. Meijerhof and G. Penalva (1997): "Egg handling and storage." Poultry Science 76: 144-151.
- Bramwell, R. K. and B. Howarth (1992): "Preferencial attachment of cock spermatozoa to the perivitelline layer directly over the germinal disc of the hen's ovum." Biol. Reprod. 47: 1113-1117.
- Bramwell, R. K., H. L. Marks and B. Howarth (1995): "Quantitative determination of spermatozoa penetration of the perivitelline layer of the hen's ovum as assessed on oviposited eggs." Poultry Science 74: 1875-1883.
- Bramwell, R. K., C. D. McDaniel, J. L. Wilson and B. Howarth (1996): "Age effect of male and female broiler breeders on sperm penetration of the perivitelline layer overlying the germinal disc." Poultry Science 75: 755-762.
- Bray, D. F. and E. L. Iton (1962): "The effect of egg weight on strain differences in embryonic and postembryonic growth in domestic fowl." British Poultry Science 3: 175-188.
- Brillard, J. P. and M. R. Bakst (1990): "Quantification of spermatozoa in the sperm-storage tubules of turkey hens and the relation to sperm numbers in the privitelline layer of eggs." Biol. Reprod. 43: 271-275.

- Brillard, J. P. and H. Antoine (1990): "Storage of sperm in the uterovaginal junction and its incidence on the number of spermatozoa present in the perivitelline layer of hens' eggs." British Poultry Science 31: 635-644.
- Brillard, J. P. (1993): "Sperm storage and transport following natural mating and artificial insemination." Poultry Science 68: 2330-2334.
- Britton, W. M. (1977): "Shell membranes of eggs differing in shell quality from young and old hens." Poultry Science 56: 647-653.
- Brody, T., Y. Eitan, M. Soller, I. Nir and Z. Nitsan (1980): "Compensatory growth and sexual maturity in broiler females reared under severe food restriction from day of hatching." British Poultry Science 21: 437-446.
- Bruggeman, V., O. Onagbesan, E. D'hondt, N. Buys, M. Safi, D. Vanmontfort, L. Berghman, F. Vandesande and E. Decuyper (1999): "Effect of timing and duration of feed restriction during rearing on reproductive characteristics in broiler breeder females." Poultry Science 78: 1424-1434.
- Bullermann-Hiendl, A. (1981): "Einfluss des Verzweigungsgens auf Merkmale der Schalenstabilität und Schalenstruktur beim Huhn der leichten Leghornpopulationen unter gemäßigten und hohen Umwelttemperaturen." Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin. Berlin, FU und TU Berlin.
- Burgess (1988): "Do dwarfs have the future?" Poultry-Misset Oct/Nov: 11,13.
- Burton, F. G. and S. G. Tullet (1983): "A comparison of the effects of egg shell porosity on the respiration and growth and water balance of the chicken embryo." Comp. Biochem. Physiol. 75 A No. 2: 167-174.
- Butler, D. E. (1991): "Egg handling and storage at the farm and hatchery". In: Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. Cambridge, Butterworth Heinemann, Ltd.
- Byerly, T. C. and M. W. Olsen (1936 a): "Lethality of embryo malpositions in the domestic fowl." Poultry Science 15: 158-162.
- Byerly, T. C. and M. W. Olsen (1936 b): "Certain factors affecting the incidence of malpositions among embryos of the domestic fowl." Poultry Science 15: 163-168.
- Byerly, T. C. (1938): "Effect of different incubation temperatures on mortality of chick embryo." Poultry Science 17: 200-205.
- Byerly, T. C. and M. W. Olsen (1930): "Time of occurrence and probable causes of mortality in chick embryos." Proceeding of the 4. th World Poultry Congress (London); (in Romanoff, 1972): 178-183.
- Byerly, T. C. and M. W. Olsen (1933): "Time and manner of determination of the malposition head-in-small-end-of-egg." Poultry Science 12: 261-265.
- Byerly, T. C. and M. W. Olsen (1934): "Causes of the embryonic malposition head-under-left-wing." Poultry Science 13: 278-282.
- Byng, A. J. and D. Nash (1962): "The effects of egg storage on hatchability." British Poultry Science 3: 81-87.

- Cahaner, A. and F. Leenstra (1992): "Effects of high temperature on growth and efficiency of male and female broilers from lines selected for high weight gain, favorable feed conversion and high and fat content." Poultry Science 71: 1237-1250.
- Cahaner, A., N. Deeb and M. Gutman (1993): "Effect of the plumage-reducing naked neck (Na) gene on the performance of fast-growing broilers at normal and high ambient temperatures." Poultry Science 72: 767-775.
- Campos, A. C., F. H. Wilcox and C. S. Shaffner (1960): "The influence of fast and slow rise in ambient temperature on production traits and mortality of lying pullets." Poultry Science 39: 119-129.
- Carmon, L. G. and T. M. Huston (1965): "The influence of environmental temperature upon egg components of domestic fowl." Poultry Science 44: 1237-1240.
- Chambers, J. R., A. D. Smith, I. McMillan and G. W. Friars (1974): "Comparison of normal and dwarf broiler breeder hens." Poultry Science 53: 864-870.
- Chambers, J. R. (1990): "Genetics of growth and meat production in chickens." In: Poultry breeding and genetics. Ed. R. D. Crawford. Amsterdam, Elsevier.
- Chhum, P. L. (1994): "Wechselwirkung zwischen den Majorgenen für langsame und schnelle Befiederung (K, k) sowie für Zwerg- und Normalwuchs (dw, Dw) hinsichtlich des Leistungsvermögens unter Wärmebelastung bei Broilereltern und deren Nachkommen." Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität. Halle/Saale.
- Christensen, V. L. and F. M. McCorkle (1982): "Characterisation of incubational egg weight losses in three types of turkeys." Poultry Science 61: 848-854.
- Christensen, V. L. and W. E. Donaldson (1992): "Effect of oxygen and maternal dietary iodine on embryonic carbohydrate metabolism and hatchability of turkey eggs." Poultry Science 71: 747-753.
- Christensen, V. L., F. Donaldson and K. E. Nestor (1993): "Embryonic viability and metabolism in turkey lines selected for egg production or growth." Poultry Science 72: 829-838.
- Christensen, V. L. and K. E. Nestor (1994): "Changes in functional qualities of turkey egg shells in strains selected for increased egg production or growth." Poultry Science 73: 1458-1464.
- Christensen, V. L., W. E. Donaldson and J. P. McMurtry (1996): "Physiological differences in late embryos from turkey breeders at different ages." Poultry Science 75: 172-178.
- Christensen, V. L., F. Donaldson and K. E. Nestor (1997): "Effects of an oxygen-enriched environment on the survival of turkey embryo between twenty-five and twenty-eight days of age." Poultry Science 76: 1556-1562.
- Christensen, V. L. (2001): "Factors associated with early embryonic mortality." World's Poultry Science Journal 57: 359 - 372.
- Clark, C. E. and M. Amin (1965): "The adaptability of chickens to various temperature." Poultry Science 44: 1003-1009.
- Clark, C. E. and K. Sarakoon (1967): "Influence of ambient temperatures on reproductive traits of male and female chickens." Poultry Science 46: 1093-1098.

- Coleman, J. W. and Siegel (1966): "Selection for body weight at eight weeks of age. 5. Embryonic stage at oviposition and its relationship to hatchability." Poultry Science 45: 1008-1011.
- Coleman, M. A. and G. R. McDaniel (1975): "The effect of light and specific gravity on embryo weight and embryonic mortality." Poultry Science 54: 1415-1421.
- Coles, C. (1956): "The influence of the hen's egg weight on hatching." Poultry Science 35: 817-822.
- Compton, M. M., H. P. Van Krey and P. B. Siegel (1978): "The filling and emptying of the uterovaginal sperm-host glands in the domestic hen." Poultry Science 57: 1696-1700.
- Compton, M. M. and H. P. Van Krey (1979): "A histological examination of the uterovaginal sperm storage glands in the domestic hen following an insemination with variable semen dosages." Poultry Science 58: 478-480.
- Connell, C. J. (1988): "The effect of egg weight and eggs shell porosity on hatchability of turkey eggs." MS Thesis, University Glasgow; zit. in: French und Tullet (1990):
- Cooney, W. T. (1943): "Pre-incubation effects on chicken egg hatchability." Tech. Bull. Oregon Agric. Exp. Stn. 2. Zit. in: Proudfoot (1969).
- Cowan, P. J. and W. Michie (1983): "Raised environmental temperature and food rationing as means of restricting growth of the replacement pullet." British Poultry Science 24: 11-19.
- Crawford, R. D. (1975): "Abnormal segregation of the naked neck gene in domestic fowl." Poultry Science 54: 1751(Abstract).
- Crawford, R. D. (1978): "The naked neck locus in domestic fowl - A balanced polymorphism?" Poult. Sci. 57: 1131 (Abstract).
- Czarnecka, J. (1954): "Egg weight in relation to hatchability." Abstract in animal breeding abstracts, 1955, 23: 83.
- de Andrade, A. N., J. C. Pogler and W. R. Featherston (1974): "Effect of heat stress and diet and shell quality and performance of lying hens." Poultry Science 53: 1916-1917.
- de Andrade, A. N., J. C. Pogler and W. R. Featherston (1976): "Influence of constant elevated temperature on egg production and shell quality." Poultry Science 55: 685-693.
- de Andrade, A. N., J. C. Pogler, W. R. Featherston and C. W. Alliston (1977): "Interrelationships between diet and elevated temperatures (cyclic and constant) on egg production and shell quality." Poultry Science 56: 1178-1188.
- Decuypere, E., E. Dewil and E. R. Kühn (1991): The hatching process and the role of hormones. In: Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann. 22: 239-256.
- Decuypere, E. and H. Michels (1992): "Incubation temperature as a management tool; a review." World's Poultry Science Journal 48: 28-38.
- Deeb, D. and A. Cahaner (1999): "The effect of naked neck genotypes, ambient temperature and feeding status and their interaction on body temperature and performance of broilers." Poultry Science 78: 1341-1346.

- Deeming, D. C. (1991): "Embryonic temperature during incubation." Poultry International. September: 12-16.
- Deeming, D. C. and J. H. Van Middelkoop (1999): "Effect of strain and flock age on fertility and early embryonic mortality of broiler breeder eggs." British Poultry Science 40: 22-26.
- Donoghue, A. M. (1999): "Prospective approaches to avoid flock fertility problems: Predictive assessment of sperm function traits in poultry." Poultry Science 78: 437-443.
- Dunnington, E. A., P. B. Siegel, J. A. Chery and M. Soller (1983): "Relationship of age and body weight at sexual maturity in selected lines of chickens." Arch. Geflügelk. 47: 85-89.
- Eberhart, D. E. and K. W. Washburn (1993): "Assessing the effects of the naked neck gene on chronic heat stress resistance in tow genetic populations." Poultry Science 72: 1391-1399.
- El Jack, M. H. and J. C. Blum (1978): "The influence of high constant environmental temperature and energy level in the diet on the performance of the laying hen." Arch. Geflügelk. 42: 216-220.
- El Jack, M. H., J. C. Blum and B. Sauveur (1978): "The effect of high constant and fluctuating temperatures on blood acid-base balance and some plasma components of the laying hen." Arch. Geflügelk. 42: 123-127.
- El Jack, M. H. and M. de Reviere (1979): "The influence of fluctuating high environmental temperature on egg production, fertility and hatchability of the domestic fowl." Arch. Geflügelk. 43: 139-143.
- El-Boushy, A. R., P. C. M. Simon and G. Wiertz (1968): "Structure and ultra-structure of the hen's eggs shell as influenced by environmental temperature, humidity and vitamin C additions." Zit. in: Sauveure and Picard, 1987.
- El-Ibiary, H. M., C. S. Shafner and E. F. Godfrey (1966): "Hatchability of eggs set small end up." Poultry Science 45: 419-420.
- Elilbol, O., Peak S. D and J. Brake (2002): "Effect of flock age, length of egg storage and frequency of turning during storage on hatchability of broiler hatching eggs." Poultry Science 81: 945-950.
- Emery, D. E., P. Vohra, R. A. Ernst and S. R. Morrison (1984): "The effect of cyclic and constant ambient temperatures on feed consumption, egg weight and shell thickness of hens." Poultry Science 63: 2027-2035.
- Etches, R. J., T. M. John and A.M. Verrinder Gibbins (1995): "Behavioral, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress." In: Poultry Produktion in Hot Klimates. Ed. N. J. Daghir. Wallingford, UK. Cab International
- Fasenko, G. M., R. T. Hardin and F. E. Robinson (1992 a): "Relationship of hen age and egg sequence position with fertility, hatchability, viability and pre- incubation embryonic development in broiler breeders." Poultry Science 71(1374-1383).
- Fasenko, G. M., F. E. Robinson, R. T. Hardin and J. L. Wilson (1992 b): "Research note: variability in pre incubation embryonic development in domestic fowl. 2. Effect of duration of egg storage period." Poultry Science: 2129-2132.

- Fattori, T. R., H. R. Wilson, R. H. Harms and R. D. Miles (1991): "Response of broiler breeder female to feed restriction below recommended levels . 1. Growth and reproductive performance." Poultry Science 70: 26-36.
- Feher, G. (1988): "Der Vorgang des Schlupfes bei Gans und Ente." Anat. Histol. Embryol. 17: 107-120.
- Flock, D. K., und J. Petersen (1973): "Altersabhängige Beziehungen zwischen dem Eigewicht und Kriterien der Eischalenstabilität bei Leghorn-Kreuzungen." Arch. Geflügelk. 6: 224-228.
- Flock, D. K., (1994): In Mennicken (1995)
- Förster, A., E. Kalm und D. K. Flock (1992): "Schlupffähigkeit aus züchterischer Sicht." Lohmann Information, Oktober/September: 13-16.
- Förster, A. (1993): "Züchterische Möglichkeiten einer Verbesserung der Schlupfrate in Reinzuchtlinien eines Zuchtprogramms für braune Legehybriden." Dissertation, Agrarwissenschaftliche Fakultät, Kiel, Christian-Albrecht-Universität zu Kiel.
- Förster, A., E. Kalm und D. K. Flock (1994): "Einfluß der Ei-Position in der Legeserie auf Fruchtbarkeit, Schlupfrate und frühembryonale Sterblichkeit." Arch. Geflügelk. 58: 18-23.
- Freeman, B. M. (1965): "The importance of glycogen at the termination of the embryonic existence of *Gallus domesticus*." Comp. Biochem. Physiol. 28: 1169-1171.
- Freeman, B. M. and M. A. Vince (1974): Development of the avian embryo. London, Chapman and Hall.
- French, N. A. and S. G. Tullet (1991): "Variation in the eggs of poultry species". In: Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann. 22: 59-77.
- French, N. A. (1994): "Effect of incubation temperature on the gross pathology of turkey embryos." British Poultry Science 35: 363-371.
- French, N. A. (1997): "Modelling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development and egg size." Poultry Science 76: 124-133.
- French, N. A. (2000): "Effect of short periods of high incubation temperature on hatchability and incidence of embryo pathology of turkey eggs." British Poultry Science 41: 377-382.
- Froman, D. P., A. L. Feltman, M. L. Rhoads and J. D. Kirby (1999): "Sperm mobility: A primary determinant of fertility in the domestic fowl (*Gallus domesticus*):" Biology of Reproduction 61: 400-405.
- Fuller, H. L., D. K. Potter and W. Kirkland (1969): "Effect of delayed maturity and carcass fat on reproductive performance of broiler breeder pullets." Poultry Science 48: 801-809.
- Funk , E. M., J. Forward and H. C. Kempster (1950): "Effect of holding temperature on hatchability of eggs." Missouri Agric. Exp. Sta. Bull.; (Zit. in: Brake et al., 1997)
- Funk , E. M. and J. Forward (1951): "Effect of humidity and turning of eggs before incubation on hatching result." Res. Bull. Mo. Agric. Exp. Stn.; (Zit. in: Proudfoot , 1969)

- Garces, A. (2000): The efficiency of tropical relevant major genes in a dual purpose layer strain in the subtropical coastal region of South-East Africa. Dissertation, Department of Animal and Wildlife Sciences. Pretoria, Pretoria: Dissertation.
- Garces, A., N. A. Gasey and P. Horst (2001): "Productive performance of naked neck , frizzle and dwarf lying hens under various natural climates and two nutritional treatments." South African Journal of Animal Science 31: 174-180.
- Garses, A. and N. H. Casey (2003): "Oviposition and egg quality traits of dwarf and naked neck layers." South African Journal of Animal Science 33: 105-110.
- Gee, G., J. Mulkey and T. Huston (1964): "The influence of environmental temperatures upon egg components." Poultry Science 43: 1321-1322.
- Gleichauf, R. (1974): "in: Guillaume (1976):" 4th Europ. Poult. Conf. London 1:s. 543.
- Godfrey, A. B. (1936): "The effect of egg weight, quantity of total albumen per egg and quantity of thick albumen per egg on hatchability." Poultry Science 15: 294-297.
- Godfrey, G. F. and C. Williams (1955): "Unsuitability of the chick weight : egg weight ratio as indicator of post-natal growth." Poultry Science 34: 164-166.
- Goerzen, P. R., W. L. Julsrud and F. E. Robinson (1996): "Duration of fertility in ad libitum and feed-restricted caged broiler breeders." Poultry Science 75: 962-5.
- Gonzalez, L., P. Perez, L. M. Fraga, O. Gutierrez and R. Lerandi (1990): "A note on the incubating performance of eggs from the inter-se cross of a heavy strain with naked neck heterozygous." Cuban J. Agric. Sci. 24: 323-326.
- Goodwin, T. (1961): "Effect of hatching egg size and chick size upon subsequent growth rate in chickens." Poultry Science 40: 1480.
- Gowe, R. S. and R.W. Fairfull (1995): "Breeding for resistance to heat stress." In: Poultry production in hot climates. Ed. N. J. Dagher. Wallingford, UK. Cab International
- Gudrum, J. W., W. M. Britton and J. B. Davis (1989): "Effect of storage condition on albumen pH and subsequent hard-cooked egg peelability and albumen shear strength." Poultry Science 68: 1226-1231.
- Guill, R. A. and K. W. Washburn (1973): "Relationship between hatch weight as a percentage of egg weight and feed conversion ratio in broiler chicks." Poultry Science 52: 1641-1646.
- Guillaume, J. (1976): "The dwarfing gene dw: its effects on anatomy, physiology, nutrition, management. Its application in poultry industry." World's Poultry Science Journal 32: 285-304.
- Hagen, R. (1992): Zur Struktur und Bedeutung des Schlupfmuskels (M. complexus) beim Hühnerküken (*Gallus domesticus*): Dissertation, Veterinärmedizin. Berlin, Freie Universität Berlin.
- Hagger, C., Steiger-Stafl and C. Marguerat (1986): "Embryonic mortality in chicken eggs as influenced by egg weight and inbreeding." Poultry Science 65: 812-814.
- Hamburger, V. and H. L. Hamilton (1951): "A series of normal stages in the development of the chick embryo." J. Morph. 88: 49-92.

- Hamilton, R. M. G. (1978): Observation on the changes in physical characteristics that influence egg shell quality in ten strains of White Leghorns. Poultry Science 57: 1192-1197.
- Hammade, H., M. Petitjean, M. Douaire, J. Mallard and P. Merat, (1987): "Effet du gene Na (Cou nu) chez des elevés a deux temperatures. II. Caracteristiques du sperme et reproduction." Genet. Sel. Evol. 19 (3): 365-380.
- Herremans, M., A. Abd El Azim, P. Merat and E. Decuypere (1988): "Some physiological, morphological and production parameters associated with naked neck gene (Na) in dwarf (dw) laying hens." Arch. Geflügelk. 25: 181-187.
- Heywang, B. W. (1944): "Fertility and hatchability when the environmental temperature of chicken is high." Poultry Science 334-339.
- Hiller, P. (1994): "Untersuchung über den embryonalen und mitochondrialen Energiestoffwechsel beim Legehuhn im Hinblick auf die Zuchtwertschätzung der Reproduktionsleistung." Dissertation, Fachgebiet Agrarwissenschaften. Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Hocking, P. M. (1993): "Effect of body weight at sexual maturity and the degree and age of restriction during rearing on the ovarian follicular hierarchy of broiler breeder females." British Poultry Science 34: 739-801.
- Hocking, P. M. and R. Bernard (2000): "Effects of the age of male and female broiler breeders on sexual behavior, fertility and hatchability of eggs." British Poultry Science 41: 370-377.
- Hoiby, M., A. Aulie and O. B. Reite (1983): "Oxygen uptake in fowl eggs incubated in air and pure oxygen." Comp. Biochem. Physiol. 74 A No. 2: 315-318.
- Horn, P., L. Papocsi, I. Csalava and G. Glattfelder (1980): "The influence of hatching egg size, age of the parents and sex of the broiler subsequent performance during rearing." Europ. Geflügelkongress, 4. (1-8). Hamburg
- Horst, P., M. Wolf und J. Petersen (1972): "Untersuchungen über die züchterische Bedeutung von Genotyp x Messzeit- Interaktionen für die Ausprägung von Merkmalen der Eiqualität bei der Legehennen." Arch. Geflügelk. 4: 121-128.
- Horst, P., und J. Petersen (1975): "Untersuchungen zur Auswirkung hoher Umwelttemperaturen auf die Leistungsreaktion von Legehennen unterschiedlichen Körpergewichtes." Arch. Geflügelk. 6: 225-231.
- Horst, P. and J. Petersen (1977): "The importance of the dwarf gene (dw) on laying hen breeding." Arch. Geflügelk. 41: 246-252.
- Horst, P., und J. Petersen (1978): "Hohe Umwelttemperatur als auslösender Faktor von Genotyp-Umwelt-Interaktion beim Legehuhn." Arch. Geflügelk. 1978: 173-178.
- Horst, P., und J. Petersen (1979): "Der Effekt des Dwarf-Gens auf das Akklimatisationsvermögen von Legehennen an hohe Umwelttemperaturen." Arch. Geflügelk. 43: 242-245.
- Horst, P. (1980): "Genetical perspective for poultry breeding on improved productive ability to tropical conditions." 2th World congress of genetics applied to animal production, 8: 887-892.

- Horst, P. (1985): Effect of genotype x environment interactions on efficiency of improvement of egg production. In: Poultry Genetics and Breeding. Ed. W. G. Hill, J. M. Manson, And D. Hewitt. P. S. S. Series. The Alden Press, Oxford. 18; 79-82.
- Horst, P. (1989): "Bedeutung von Majorgenen für die Hühnerzucht." Jahresbuch für die Geflügelwirtschaft: 23-27.
- Horst, P., und C. Becker (1991): "Wechselwirkung zwischen Körperentwicklung und Legeleistung beim Huhn." Arch. Geflügelk. 55: 25-37.
- Horst, P. and K. P. Mathur (1994): "Feathering and adaptation to tropical climates." 9th European Poultry Conference, Glasgow UK August 7-12th (P. 79-82).
- Horst, P. (1998): "Breeding possibilities in hot climates with special reference to tropical countries." 10th European Poultry Conference (p. 71-76), Jerusalem, Israel.
- Howes, J. R., W. Grub und C. A. Rollo (1961): "The effects of high constant environmental temperatures upon the duration of fertility." Poultry Science 40: 1416.
- Hsia, L. C. (1990): "The effect of high environmental temperature on animal production." Proceedings the 5.th AAAP Animal Science Congress, Taipe, Taiwan.
- Hughes, R. J. (1988): "Inter-relationship between egg shell quality, blood acid-base balance and dietary electrolytes." World's Poultry Science Journal 44: 30-40.
- Hurnik, J. F., J. D. Summers, B. S. Reinhart and E. M. Swierczewska, (1977): "Effect of age on the performance of laying hens during first year of production." Poultry Science 56: 222-230.
- Hussein, S. M., R. H. Harms and D. M. Janky (1993): "Effect of age on the yolk to albumin ratio in chicken egg." Poultry Science 72: 594-597.
- Huston, T. M., W. Perry and J. L. Carmon (1957): "Breed differences in egg production of domestic fowl held at high environmental temperatures." Poultry Science 36: 1247-1254.
- Huston, T. M. and J. L. Carmon (1961): "The influence of high environmental temperature on specific gravity and albumen quality of hen eggs." Poultry Science 40: 1060-1062.
- Huston, T. M. (1975): "The effects of environmental temperature on fertility of the domestic fowl." Poultry Science 54: 1180-1184.
- Hutt, F. B. (1929): "Studies in embryonic mortality in the fowl, I. The frequencies of various of malpositions of the chick embryo and their significance." Proc. Roy. Soc. Edin. 49: 118-130.
- Hutt, F. B. and A. M. Pilkey (1930). "Studies in embryonic mortality in the fowl IV: Comparative mortality in rates in eggs laid at different periods of the day and their bearing on theories of the origin of monsters." Poultry Science 9: 194-203.
- Hutt, F. B. (1930): "The genetics of the fowl I. The inheritance of frizzled plumage." Journal of Genetics 22: 109-127.
- Hutt, F. B. and A. M. Pilkey (1934): "Studies in embryonic mortality in the fowl, V. Relationship between positions of the egg and frequencies of malpositions." Poult. Sci. 13: 3-13.

- Hutt, F. B. (1949): Genetics of the fowl. New York:Toronto: London, McCraw- Hill Company, INC.
- Hutt, F. B. (1959): "Sex-linked dwarfism in the fowl." The Journal of Heredity 50: 209-220.
- Ingkasuwan, P. and F. X. Ogasawara (1966): "The effect of light and temperature and their interaction on the semen production of White Leghorn males." Poultry Science 45: 1199-1206.
- Japp, R. G. and F. V. Muir (1968): "Erratic oviposition and egg defects in broiler-type pullets." Poultry Science 47: 417-423.
- Japp, R. G. and M. Mohammadian (1969): "Sex-linked dwarfism and egg production of broiler dams." Poultry Science 48: 344-346.
- Jassim, E. W., M. Grossman, W. J. Koops and R. A. J. Luykx (1996): "Multiphasic analysis of embryonic mortality in chickens." Poultry Science 75: 464-471.
- Joulbert, J. J., G. F. Potgieter , N. S. Honeyborne and A. Cloete (1980): "The influence of egg size on future development of broilers." Europ. Geflügelkongress, Hamburg 80 vol 2: 170-176.
- Kaltofen, R. S. (1969): "The effect of air movements on hatchability and weight loss of chicken eggs during artificial incubation". In: The fertility and hatchability of the hen's egg. T. C. Carter and B. M. Freeman. Edinburgh, Oliver & Boyd.
- Katanbaf, M. N., E. A. Dunnington and P. B. Siegel (1989): "Restricted feeding in early and late-feathering chickens. 2. Reproductive responses." Poultry Science 68: 352-358.
- Katongole, J. B. D., S. Ochetima and P. Horst (1990): "Effect of dwarf (dw) and naked neck (Na) genes on performance of layers under Zambian condition." Zambian Journal of Agricultural Science 1: 30-39.
- Kaufmann, L. (1939): "An experimental study of the effects of storage on embryonal development of hen's eggs." Proceeding of seventh world's poultry congress and exposition, Cleveland, Ohio, USA (in: Meijerhof, 1994).
- Khan, A. G. and A.K. Verma (1983 a): "Influence of dw gene on egg production of 'Narmada-XI' egg layer and dwarf and normal broiler pullets." Indian J. Anim. Sci. 53: 978-984.
- Khan, A. G. and A.K. Verma (1983 b): "Influence of dw gene on post-maturity body weight and sexual maturity of 'Narmada-XL' layer and dwarf and broiler pullets." Indian J. Anim. Sci. 53(9): 973-977.
- Khan, A. G., R.N.S. Tiwari, K.K.S. Baghel and R.D. Gupta (1987): "Influence of the dwarfing gene dw on egg production and viability under summer heat stress." British Poultry Science 28: 541-546.
- Khan, A. G. (1996): "Production efficiency of dwarf chicken with variable polygenic genomes under summer heat stress". Proceeding, World's Poultry Congress (p. 641-646), New Delhi, India.
- Khan, A. A., D. Chaudhuri, B.P. Singh, A. K. Dev Roy, S. Saran, S. Malik, B. Singh and R. D. Sharma (1998): "Effect of naked neck gene on fertility, embryonic development and hatchability of two broiler populations. " 10th European Poultry Conference, Jerusalem, Israel, 21-26 June (p. 531-532), Jerusalem, Israel,.

Khoo, T. H. and S. A. S. Hussein (1982): "Comparison of normal and dwarf broiler breeder hens and their economic implication in production." Proc. of 6th annual conference of the Malaysian society of animal production.

Kirby, J. D. and D.P. Froman (1990): "Analysis of poultry fertility data." Poultry Science 69: 1764-1768.

Kirk, S., G. G. Emmans, R. McDonalds and D. Arnot (1980): "Factors affecting the hatchability of eggs from broiler breeders." British Poultry Science 21: 37-53.

Kohne, H. J. and J. E. Jones (1975 a): "Changes in plasma electrolytes, acid -base balance and other physiological parameters of adult female turkeys under conditions of acute hyperthermia." Poultry Science 54: 2034-2038.

Kohne, H. J. and J. E. Jones (1975 b): "Acid -Base balance, plasma electrolytes and production performance of adult turkey hens under conditions of increasing ambient temperature." Poultry Science 54: 2038-2045.

Kosin, I. L. (1956): "Studies on pre-incubation warming of chicken and turkey eggs." Poultry Science 35: 1384-1392.

Kosin, I. L. and A. M. Mun (1960): "Clutch size, oviposition time and 'floor' eggs as factors in turkey hatchability." Poultry Science 39: 82-92.

Kosin, I. L. and T. Konishi (1973): "Pre-incubation storage conditions and their effect on the subsequent livability of chicken embryos: Exogenous CO₂, plastic bags and extending holding periods as factors." Poultry Science 52: 296-302.

Kousiakos, D., L. D. Andrews and L. Stamps (1985): "Comparison of dwarf and normal broiler breeder hens." Poultry Science 64: 795-802.

Kuchida, K., M. Fukaya, S. Miyoshi, M. Suzuki and S. Tsuruta (1999): "Nondestructive prediction method for yolk:albumen ratio in chicken by computer image analysis." Poultry Science 78: 909-913.

Kyariisima, C. C. and D. Balnave (1996): "Influence of temperature during growth on responses of hens to high or low temperatures during lay." British Poultry Science 37: 553-562.

Ladjali, K., M. Tixier-Boichard, A. Bordas and P. Merat (1995): "Cytogenetic study of early chicken embryos: effect of naked neck gene and high ambient temperatures." Poultry Science 74: 903-909.

Lake, P. E. (1969): "Factors affecting fertility". In: The fertility and hatchability of the hen's egg. T. C. Carter and B. M. Freeman. Edinburgh, Oliver and Boyd. 5: 3-29.

Lancaster, F. M. and D. R. Jones (1988): "Cooling of broiler hatching eggs during incubation." British Poultry Science 29: 597-604.

Landauer, W. and L. C. Dunn (1930): "The 'frizzle' character of fowls." The Journal of Heredity 21: 291-305.

Landauer, W. (1933): "A gene modifying frizzling in the fowl." The Journal of Heredity 24: 153-154.

Landauer, W. (1967): "The hatchability of chicken eggs as influenced by environment and heredity". Monograph I, Torres Agricultural Experiment Stations.

- Lapao, C., L.T. Gama and M. Chaveiro Soares (1999): "Effect of broiler breeder age and length of egg storage on albumen characteristics and hatchability." Poultry Science 78: 640-645.
- Leclercq, B., J. Siomon, J. C. Blum and C. Calet (1970): "Influence des restrictions alimentaires intervenant des la naissance sur les performances de ponte de deux souches de poulettes." Annales de Zootechnie 19: 333-346.
- Leclercq, B. and J. C. Blum (1972): "Effets de la restriction alimentaire pendant la periode de croissance sur les performances des reproductrices naines." Ann. Genet. Sel. anim. 4: 259-270.
- Leclercq, B. and J. C. Blum (1975): "Restricted feeding of growing pullets: Interaction between the methode of restriction and the dwarfism gene (dw)." Arch. Geflügelk. 5: 153-158.
- Lilburn, M. S. and D. J. Myers-Miller (1990): "Effect of body weight, feed allowance and dietary protein intake during the pre breeder period on early reproductive performance of broiler breeder hens." Poultry Science 69: 1118-1125.
- Littel, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stoup and R. D. Wolfinger (1999): SAS system for mixed models. North Carolina, SAS Institute.
- Lokhorst, W. and C. Romijn (1965): Some preliminary observation on barometric pressure and incubation. Energy Metabolism. K. L. Blaxter. London, Academic press (zit. in: Freeman and Vince, 1974).
- Lundy, H. (1969): "A review of the effects of temperature, humidity, turning and gaseous environment in the incubator on the hatchability of the hen's egg". In: The fertility and hatchability of the hen's egg. T. C. Carter and B. M. Freeman. Oliver and Boyd, Edinburgh. 18
- Mahmoud, K. Z., M. M. Beck, S. E. Schneider, M. F. Froman, K. P. Anderson and S. D. Kachman (1996): "Acute high environmental temperature and calcium-estrogen relationships in the hen." Poultry Science 75: 1555-1562.
- Maloney, J. M. A., J. C. Gilbreath and R. D. Morrison (1963): "Two-way selection for body weight in chickens 2. The effect of selections on other traits." Poultry Science 42: 334-344.
- Marks, H. L. (1983): "Selection for body weight at eight weeks of age in dwarf and normal meat-type chickens originating from a common control population background." Poultry Science 62: 227-234.
- Marks, H. L. (1985): Direct and correlated responses to selection fore growth. In: Poultry Genetics and Breeding. Ed. W. G. Hill, J. M. Manson and D. Hewitt,. Edinburgh.
- Mather, C. M. and K. F. Laughlin (1976): "Storage of hatching eggs: the effect on total incubation period." British Poultry Science 17: 471-479.
- Mather, C. M. and K. F. Laughlin (1979): "Storage of hatching eggs: the interaction between parental age and early embryonic development." British Poultry Science 20: 595-604.
- Mather, M. and K. F. Laughlin (1977): "Storage of hatching eggs: the effect on early embryonic development." British Poultry Science 18: 597-603.
- Mayes, F. J. and M. A. Takeballi (1984): "Storage of the eggs of the fowl (*Gallus domesticus*) before incubation: a review." World's Poultry Science Journal 40: 131-140.

- Männer, K. (1991): "Energiewechsel von Legehennen verschiedener Genotypen unter hoher Temperaturbelastung. 1. Mitteilung: Einfluss des Nackthalsgens (Na) auf Leistung und Energiewechsel von normalwüchsigen und verzweigten Legehennen." Arch. Geflügelk. 55(6): 247-257.
- Männer, K. (1992): "Energiewechsel von Legehennen verschiedener Genotypen unter hoher Temperaturbelastung. 2. Mitteilung: Einfluss des Gens für Federlockung auf Leistung (F) und Energiewechsel von normalwüchsigen und verzweigten Legehennen, voll- bzw. teilbefiederten Legehennen." Arch. Geflügelk. 56(1): 8-13.
- McDaniel, G. R. and D. A. Rolland (1977): "The influence of time of oviposition and egg shell quality on hatchability of eggs from broiler breeder hens." Poultry Science 56: 1354(Abstr.).
- McDaniel, G. R., D. A. Rolland, S. R. and M. A. Coleman (1979): "The effect of egg shell quality on hatchability and embryonic mortality." Poultry Science 58: 10-13.
- McDaniel, G. R., J. Brake and M. K. Eckman (1981 a): "Factors affecting broiler breeder performance. 4. The interrelationship of some reproductive traits." Poultry Science 60: 1792-1799.
- McDaniel, G. R., J. Brake and R. D. Bushong (1981 b): "Factors affecting broiler breeder performance. 1. Relationship of daily feed intake level to reproductive performance of pullets." Poultry Science 60: 307-312.
- McDaniel, C. D., R. K. Bramwell, J. L. Willson and B. Howarth (1995): "Fertility of male and female broiler breeders following exposure to elevated ambient temperatures." Poultry Science 74: 1029-1038.
- McDaniel, C. D., Bramwell R. K. and B. Howarth (1996): "The male contribution to broiler breeder heat-induced infertility as determined by sperm-egg penetration and sperm storage within the hen's oviduct." Poultry Science 75: 1546-1554.
- McNally, E. H. and T. C. Byerly (1936): "Variation in the development of embryos of hens' eggs." Poultry science 15: 280-283.
- McNaughton, J. L., J. W. Deaton, F. N. Reece and R. L. Haynes (1978): "Effect of age of parent and hatching egg weight on broiler chick mortality." Poultry Science 57: 38-44.
- Meijerhof, R. (1992): "Pre-incubation holding of hatching eggs." World's Poultry Science Journal 48: 57-68.
- Meijerhof, R., J. P.T. M. Noordhuizen and F. R. Leenstra (1994): "Influence of pre-incubation treatment on hatching results of broiler breeder eggs produced at 37 and 59 weeks of age." British Poultry Science 35: 249-257.
- Meijerhof, R. (1994): "Theoretical and empirical studies on temperature and moisture loss of hatching during the pre-incubation period." Dissertation, Landbau universiteit te Wageningen.
- Meir, M., A. Nir and A. Ar (1984): "Increasing hatchability of turkey eggs by matching incubator humidity to shell conductance of individual eggs." Poultry Science 63: 1489-1496.
- Meir, M. and A. Ar (1986): Improving hatchability of turkey eggs and pulet quality by correcting incubator humidity to match eggshell conductance. European poultry confrence, Paris. 2: 754-758.

- Meir, M. and A. Ar (1987): "Improving turkey poult quality by correcting incubator humidity to match egg shell conductance." British Poultry Science 28: 337-342.
- Mennicken, L. (1995): "Haltungstechnische und züchterische Möglichkeiten zur Reduzierung der Hitzebelastung von Broiler-Elterntieren am tropischen Standort". Dissertation. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin.
- Merat, P., et J. Gulliaume (1969): "Étude d'un gène de nanisme lie au sexe chez la poule." Ann. Genet. Sel. anim. 1 (2): 131-133.
- Merat, P. (1986): "Potential usefulness of the Na (naked neck) gene in poultry production." World's Poultry Science Journal 42: 124-142.
- Merat, P., M. Boichard, A. Bordas and G. Coquerelle (1989): "Rèsonse à la chaleur des genotypes NaNa (cou nu) et nana (plumage normal) pour le taux de fertilité et d'éclosion de la poule réproductrice." Arch. Geflügelk. 53: 185-191.
- Merat, P. (1990): Pleiotropic and associated effects of major genes. In: Poultry breeding and genetics. Ed. R. D. Crawford. Amsterdam, Elsevier.
- Merat, P., A. Bordas, G. Coquerelle et J. L. Monvoisin (1991): "Effet des gènes Na (cou nu) et O (oeuf bleu) sur la ponte, les caractéristiques des oeufs et les performances de reproduction des poules selon la température ambiante." Arch. Geflügelk. 55: 130-133.
- Merat, P., A. Bordas et G. Coquerelle (1994 a): "Rèsonse de poules cou nu ou à plumage normal a une supplémentation de la ration en vitamine C à température ambiente élevée." Arch. Geflügelk. 58: 289-292.
- Merat, P. (1972): "Quelques effets du gène dw sur la ponte et sur la qualité des oeufe." Ann. Genet. Sel. anim. 4: 217-223.
- Merat, P., et F. Ricard (1974): "Étude d'un gène de nanisme lié au sexe chez la poule: importance de l'état d'engraissement et gain de poids chez l'adulte." Ann. Genet. Sel. anim. 6: 211-217.
- Merat, P. (1984): "The sex-linked dwarf gene in the broiler chicken industry." World's Poultry Science Journal 40-18: 10.
- Merat, P., et A. Bordas (1991): "Caractéristiques de ponte comparées pour des poules naines (dw) et de taille normale (Dw) dans une lignée Leghorn Blanche et dans un croisement de 1re génération Leghorn x Fayoumi." Genet. Sel. Evol. 23: 455-460.
- Merat, P., Minvielle F., Bordas A. and G. Coquerelle (1994 b): "Heterosis in normal versus dwarf hens." Poultry Science 73: 1-6.
- Merritt, E. S. (1964): "Pre-incubation storage effects on subsequent performance of chickens." British Poultry Science 5: 67-73.
- Merritt, E. S. and R. S. Gowe (1965): "Post embryonic growth in relation to egg weight." Poultry Science 44: 477-480.
- Miller, P. C. and M. L. Sunde (1975): "The effect of precise constant and cyclic environments on shell quality and other lay performance factors with Leghorn pullets." Poultry Science 54(36-46).

- Monnet, A. P., A. Bordas et P. Merat (1980): "Gène cou nu, poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température." Ann. Genet. Sel. Anim.: 241-254.
- Moore, R. W., K. W. Koelkebeck and J. R. Cain (1982): "Effects of a low volume cooled air source on heat stressed broiler breeders." Poultry Science 61: Abstract Nr. 1516.
- Morris, R. H., D. F. Hessels and R. J. Bisop (1968): "Relationship between hatching egg weight and subsequent early performance of broiler chickens." British Poultry Science 9: 305-315.
- Morrison, W. D., J. H. Smith, I. McMillan and I.J.H. Duncan (1990): "The effect of cooled roosts on the performance of heat-stressed broiler." Poultry Science 69: 97.
- Mueller, W. J. (1959): "The effect of environmental temperature and humidity on the calcium balance and serum calcium of laying pullets." Poultry Science 38: 1296-1301.
- Mueller, W. J. (1961): "The effect of constant and fluctuating environmental temperatures on the biological performance of laying pullets." Poultry Science 40: 1562-1571.
- Muiruri, H. K. and P. C. Harrison (1991): "Effect of roost temperature on performance of chicken in hot ambient environments." Poultry Science 70: 2253-2258.
- Muller, H. D. and M. Williams (1975): "The fate of hatching eggs set upside down." Poultry Science 54: 1344-1345.
- Narushin, V. G. and M. N. Romanov (2002): "Egg physical characteristics and hatchability." Word's Poultry Science Journal 58: 297-303.
- Nichelmann, M. (1999): "Bedeutung der Klimafaktoren und der Klimaadaptation". In: Tierzucht in den Tropen und Subtropen. Ed. P. Horst u. I. Reh., Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Nordskog, A. W. and G. M. Hassan (1971): "Direct and maternal effects of egg-size genes on hatchability." Genetics 67: 267-278.
- O'Sullivan, N. P., E. A. Dunnington and P. B. Siegel (1991): "Relationships among age of dam, egg components, embryo lipid transfer and hatchability of broiler breeder eggs." Poultry Science 70: 2180-2185.
- Odom, T. W., P. C. Harrison and W. G. Bottje (1986): "Effects of thermal-induced respiratory alkalosis on blood ionized calcium levels in the domestic hen." Poultry Science 65: 570-573.
- Oguike, M. A. (2000): "Effect of age on physio-chemical properties of egg shell of domestic fowl." Der Tropenlandwirt 101. Jahrgang, April: 63-68.
- Okuda, A. and H. Tazawa (1988): "Gas exchange and development of chicken embryos with widely altered shell conductance from the beginning of incubation." Respiration Physiology 74: 187-198.
- Oluyemi, J. A. and O. George (1972): "Some factors affecting hatchability of chicken eggs." Poultry Science 51: 1762-1763.
- Ouhayoun, J. (1970): "Étude d'un gène de nanisme lie au sexe chez la poule." Ann. Genet. Sel. anim. 2: 33-36.

- Ousterhout, L. E. (1982): "The effect of ration complexity and feeding level on broiler breeder performance." Poultry Science 61: 2255-2260.
- Parsons, A. H. (1982): "Structure of egg shell." Poultry Science 61: 2013-2021.
- Payne, L. F. (1919): "Distribution of mortality during the period of incubation." J. Am. Assoc. Instr. Invest. Poultry Husb. 6: 9-12 (in: Jassim et al., 1996).
- Pech-Waffenschmidt, V. (1992): The effect of heat stress conditions on performance, physiology and blood chemistry of laying hens of different feathering types and nutritional considerations to improve the heat resistance. Dissertation, Institute of Animal Production. Berlin, TU.
- Pech-Waffenschmidt, V., E. Bogin, Y., Avidar and P. Horst (1995): "Metabolic and biochemical changes during heat stress in relation to the feathering degree of the domestic hen." Avian Pathology 24: 33-44.
- Peebles, E. D. and J. Brake (1985): "Relationship of eggshell porosity to stage of embryonic development in broiler breeders." Poultry Science 64: 2388-2391.
- Peebles, E. D. and J. Brake (1987): "Egg shell quality and hatchability in broiler breeder eggs." Poultry Science 66: 596-604.
- Peebles, E. D., C. D. Zumwalt, S. M. Doyle, P. D. Gerard, M. A. Latour, C. R. Boyle and T. W. Smith (2000): "Effects of breeder age and dietary fat source and level on broiler hatching egg characteristics." Poultry Science 79: 698-704.
- Petersen, J., P. Horst und J. Seehawer (1977): "Effekt des Dwarf-Gens auf Parameter der Jugendentwicklung und deren genetische Fundierung bei Legehennen." Arch. Geflügelk. 43: 242-245.
- Petersen, J., und P. Horst (1978): "Hohe Umwelttemperatur als auslösender Faktor von Genotyp x Umwelt-Interaktion beim Legehuhn." Arch. Geflügelk. 42: 173-178.
- Petersen, J. (1994): "Merkmalkomplexe; Eier". In: Tierzüchtungskunde. H. Kräußlich. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- Piepho, H. P. (1998): "Auswertung von Bonituren des Typs "Prozent Befall" mit SAS-Prozeduren für generalisierte lineare Modelle." Zeitschrift für Agrarinformatik 2: 26-37.
- Pierson, E. E. M., L. M. Krista and G. R. McDaniel (1988): "Effect of age and physiological status on sperm storage 24 hours after artificial insemination in broiler breeder hens." British Poultry Science 29: 193-197.
- Pinchasov, Y. (1991): "Relationship between the weight of hatching eggs and subsequent early performance of broiler chicks." British Poultry Science 32: 109-115.
- Prod'homme, J. u. P. Merat (1969): "Étude d'un gène de nanisme lie au sexe chez la poule." Ann. Genet. Sel. anim. 1: 135-145.
- Proudfoot, F. G. (1964): "The effect of plastic packaging and other treatment on hatching eggs." Can. J. Anim. Sci. 44: 87-95.
- Proudfoot, F. G. (1969): "The handling and storage of hatching eggs." In: The fertility and hatchability of hens egg. Ed. Carter and Freeman. Edinburgh, Oliver and Boyd.

- Proudfoot, F. G. (1976): "Care of hatching eggs before incubation." Canadian Department of Agriculture Publication 1573 ; (in: Mayes and Takeballi, 1984).
- Proudfoot, F. G., H. W. Hulan and K.B. McRae (1982): "Effect of hatching egg size from semi-dwarf and normal maternal meat parent genotypes on the performance of broiler chicken." Poultry Science 61: 655-660.
- Proudfoot , F. G. and H. W. Hulan (1981): "The influence of hatching egg size on the subsequent performance of broiler chickens." Poultry Science 60: 2167-2170.
- Proudfoot , F. G. and H. W. Hulan (1983): "Agriculture Canada Publication,," 1573/E; (zit. in: Wilson, 1991 b).
- Proudfoot , F. G., H. W. Hulan and K. B. McRae (1984): "Effect of photoperiod, light intensity and feed restriction on the performance on dwarf and normal maternal meat genotypes." Can. J. Anim. Sci. 64: 759-768.
- Pym, R. A. E. (1985): "Direct and correlated responses to selection for improved food efficiency". In: Poultry genetics and breeding. W. G. Hill, J. M. Manson and D. Hewitt,. Edinburgh.
- Pym , R. A. E. and J. F. Dillon (1974): "Restricted food intake and reproductive performance of broiler breeder pullets." British Poultry Science 15: 245-259.
- Rahn, H., A. Ar und C. V. Paganelli (1979): "Wie Vogeleier atmen." Spektrum der Wissenschaft 7 (April): 51-61.
- Rahn, H. (1981): "Gas exchange of avian eggs with special reference of turkey eggs." Poultry Science 60: 1971-1980.
- Rahn, H. and C. V. Paganelli (1991): "Energy budget and gas exchange of avian eggs". In: Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann. 21.
- Rauch, W., und L. Steinke (1954): "Über den Einfluß der Schalenporosität und der Eischalendicke auf das Schlupfergebniss von Bruteiern." Tierzüchtung und Züchtungsbiologie 62: 61-66.
- Rauen, H. W. (1985): Auswirkung des Gens für Befiederungsreduktion und Nackthalsigkeit (Na-Gen) auf das produktive Adaptationsvermögen von Legehennen an hohe Umgebungstemperaturen. Dissertation, Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Berlin, TU Berlin.
- Rauen, H. W., P. Horst and A. Valle-Zarate (1986): "Bedeutung des Gens für Befiederungsreduktion und Nackthalsigkeit (Na -Gen) für das produktive Adaptationsvermögen von Legehennen unter hoher Temperatur-Dauerbelastung." Arch. Geflügelk. 50: 235-245.
- Reinhart, B. S. and G. I. Hurnik (1982): "Hatching performance of cyrovac enclosed hatching eggs stored in a high humidity environment." Poultry Science 61: 564-566.
- Reinhart, B. S. and G.I. Hurnik (1984): "Traits affecting the hatching performance of commercial chicken broiler eggs." Poultry Science 63: 240-245.
- Reis , L. H., L. T. Gama and M. Chaveiro Soares (1997): "Effects of short storage conditions and broiler breeder age on hatchability, hatching time and chick weights." Poultry Science 76: 1459-1466.

- Renden, J. A. and M. L. Pierson (1982): "Production of hatching eggs by dwarf broiler breeders maintained in cages or in floor pens." Poultry Science 61: 991-993.
- Renden, J. A. (1987): "Egg production efficiency in dwarf lines selected for high and low body weight as influenced by feed restriction." Poultry Science 66: 1085-1089.
- Ricard, F. H. (1970): "Étude d'un gène de nanisme lie au sexe chez la poule." Ann. Genet. Sel. anim. 2: 19-31.
- Ricard, F. H. and L. P. Cochez (1971): "Effects of the sex-linked dwarf gene, dw, on reproduction performance of hens in meat-type strain of domestic fowl." World's Poultry Science Journal 27-3: 292-293.
- Ricard, F. H. and L. P. Cochez (1972): "Le gene de nanisme dw et les performances des poules dans une souche de type femelle-chair." Ann. Genet. Sel. anim. 4: 297-303.
- Ricard, F. H. (1976): Bases scientifiques de l'utilisation du gene de Nanisme dw dans la production du poulet de chair. 5. European Poultry Conference, Malta.
- Rigdon, R. H., T. M. Ferguson, J. L. Trammel, J. R. Couch and H. L. German (1968 a): "Necrosis in the "pipping" muscle of the chick." Poultry Science 47: 873-877.
- Rigdon, R. H., H. D. Brown, S. K. Chattopadhyay and A. Patel (1968 b): "Pipping muscle of the chick. Clinical, pathological and enzymatic study." Arch. Path. 85: 208-212.
- Robbins, K. R., G. C. McGhee, P. Osei and R. E. Beauchene (1986): "Effect of feed restriction on growth, body composition and egg production of broiler females through 68 weeks of age." Poultry Science 65: 2226-2231.
- Robbins, K. R., S. F. Chin, G. C. McGhee and K. D. Roberson (1988): "Effects of ad libitum versus restricted feeding on body composition and egg production of broiler breeders." Poultry Science 67: 1001-1007.
- Robertson, I. S. (1961 a): "Studies of chick embryo orientation using X-rays. II. Malpositioned embryos and their subsequent hatchability." British Poultry Science 2: 49-58.
- Robertson, I. S. (1961 b): "Studies on the effect of humidity on the hatchability of hens' eggs. I. The determination of optimum humidity for incubation." Journal of Agricultural Science (in: Landauer, 1967) 57: 185-194.
- Robinson, F. E., R. T. Hardin and A. R. Robbele (1990): "Reproductive senescence in domestic fowl: effects on egg production, sequence length and inter-sequence pause length." British Poultry Science 31: 871-879.
- Robinson, F. E., R. T. Hardin, A. Robinson and B. J. Williams (1991): "The influence of egg sequence position on fertility, embryo viability and embryo weight in broiler breeders." Poultry Science 70: 760-765.
- Robinson, F. E., Wilson, J. L., M. W. Yu, G. M. Fasenko and R. T. Hardin (1993): "The relationship between body weight and reproductive efficiency in meat-type chickens." Poultry Science 72: 912-922.

- Roland, D. A. (1979): "Factors influencing shell quality of aging hens." Poultry Science 58: 774-777.
- Romanoff, A. L. and A. J. Romanoff (1949): The avian egg. New York, John Wiley & Sons, INC.
- Romanoff, A. L. (1972): Pathogenesis of the avian egg. New York, Wiley-Interscience.
- Romijn, C. (1954): "Untersuchungen über künstliche Bebrütung von Hühnereiern." Arch. Geflügelk. 18: 173-183.
- Romijn, C. and W. Lokhorst (1960): "Foetal heat production in the fowl." J. Physiol. 150: 239-249.
- Roque, L. and M. C. Soares (1994): "Effects of eggshell quality and broiler breeder age on hatchability." Poultry Science 73: 1838-1845.
- Rossi, M. and C. Pompei (1995): "Changes in some egg components and analytical values due to hen age." Poultry Science 74: 152-160.
- Rudraprasad, V. C., S. K. Vijayasarithi and R.N. Sreenivas Govda (1996): "Malpositions in dead-in-shell chicken embryos." Indian J. Poult. Sci. 31: 56-59.
- Ruiz, J. and C. A. Lunam (2002): "Effect of pre-icubation storage conditions on hatchability, chick weight at hatch and hatching time in broiler breeders." British Poultry Science 43: 374-383.
- Rüsse, I. and F. Sinowatz (1990): Lehrbuch der Embryologie der Haustiere. Berlin und Hamburg, Paul Parey.
- Sanctuary, W. C. (1925): "One cause of dead chicks in the shell." Poultry Science 4: 141-143.
- Sarpong, S. and B. S. Reinhart (1985): "Broiler hatching stress and subsequent growout performance." Poultry Science 64: 232-234.
- Sauveur, B. and M. Picard (1987): Environmental effects on egg quality. Egg quality -current problems and recent advances (Poult. Sci. Symposium Series). R. G. Wells and C. G. Belyavin. London, Butterworths. 20.
- Schramm, G. P. (1996): "The effect of naked neck gene of some reproduction marks of cocks at normal and high ambient temperature. Proceeding, World's Poultry Congress. New Delhi.
- Seymour, R. S. and J. Piiper (1988): "Aeration of the shell membranes of avian eggs (in: Ar, 1991)." Respiration Physiology 71: 101-116.
- Shanawany, M. M. (1984): "Inter-relationship between egg weight, parental age and embryonic development." British Poultry Science 25: 449-455.
- Shanawany, M. M. (1987): "Hatching weight in relation to egg weight in domestic birds." World's Poultry Science Journal.
- Sherwood, D. H., C. D. Caskey, B. A. Krautmann, M. C. Van Wormer, S. B. Smith and R. E. Ward (1964): "Management and feeding of meat-type breeder chicken." Poultry Science 43 (1272-1278).
- Sherwood, D. H. (1971): "Comparison of midget meat type breeder chickens with a normal strain." Poultry Science 50: 1630.

- Siegel, P. B. and E. A. Dunnington (1985): "Reproductive complications associated with selection for broiler growth". In: Poultry genetics and breeding. W. G. Hill, J. M. Manson, D. Hewitt., Edinburgh.
- Sinclair, R. W., F. E. Robinson and R. T. Hardin (1990): "The effect of parent age and post hatch treatment on broiler performance." Poultry Science 69: 526-534.
- Singh, H. (1999): "Optimizing delivery of genetic merit in subtropical climates through advanced reproductive technologies." Poultry Science 78: 453-458.
- Singh, C. V., D. Kumar and Y. P. Singh (2001): "Potential usefulness of the plumage reducing naked neck (Na) gene in poultry production at normal and high ambient temperature." World's Poultry Science Journal 57: 139-156.
- Smith, J. B. (1931): "Malposition- a factor in hatchability." Proceeding of the twenty second annual wetting, Poult. Sci. Association, 1930 (zit. in: Landauer, 1967): 66-71.
- Smith, A. J. and J. Oliver (1972): "Some nutritional problems associated with egg production at high environmental temperatures. 4 The effect of prolonged exposure to high environmental temperatures on the productivity of pullets fed on high energy diet; (in: Smith, A. J. ,1974)." Rhodesian Journal of Agricultural Research 10: 43-60.
- Smith, A. J. (1973): "Some effects of high environmental temperatures on the productivity of laying hens (a review)." Trop. Anim. Hlth Prod. 5: 259-271.
- Smith, A. J. (1974): "Changes in the average weight and shell thickness of eggs produced by hens exposed to high environmental temperatures- A review." Trop. Anim. Hlth Prod. 6: 237-244.
- Smith, K. P. and B. B. Bohren (1975): "Age of pullet effects on hatching time, egg weight and hatchability." Poultry Science 54: 959-963.
- Smith, L. T. and R. Lee (1977): "Study of the naked gene of the fowl." Poultry Science 56: 1758.
- Steinke, L. (1983): Kunstbrut. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag.
- Stern, C. D. (1991): "The sub-embryonic fluid of the egg of the domestic fowl and its relationship to the early development of the embryo." Avian Incubation. Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet, Butterworth-Heinemann.
- Stockland, W. L. and L. G. Blaylock (1974): "The influence of temperature on the protein requirement of cage reared replacement pullets." Poultry Science 53: 1174-1187.
- Stöve-Schimmelpfennig, K., und D.K. Flock (1982): "Eigewicht und relative Fitness in der Legehennenzüchtung." Arch. Geflügelk. 46: 270-275.
- Strong, C. F. and R. G. Jaap (1977): "Embryonic and early post-hatching growth patterns of dwarf broiler-type chicken." Poultry Science 56: 1595-1599.
- Sturkie, P. D. (1946): "The production of twins in Gallus domesticus." The Journal of Experimental Zoology 101: 51-63 (zit. in: Decuypere, 1992).
- Suarez, M. E., H. R. Wilson, B. N. McPherson, F. B. Mather and C. J. Wilcox (1996): "Low temperature effects on embryonic development and hatch time." Poultry Science 75: 924-932.

- Summer, J. D. (1971): "Nutrition of the dwarf layer." World's Poultry Science Journal 27: 287-288.
- Synder, G. K. and G. F. Birchard (1982): "Water loss and survival in embryos of the domestic chicken." The Journal of Experimental Zoology 219: 115-117.
- Talmagde, W. T. (1977): "The effect of incubating eggs narrow end up on malposition II and hatchability." Poultry Science 56: 1046-1048.
- Tazawa, H. (1978): "Gas transfer in the chorioallantois. " In: Respiratory funktion in birds, adult and embryonic. J. Piiper. Berlin, Springer.
- Tazawa, H. and H. Rahn (1987): "Temperature and metabolism of chick embryos and hatchlings after prolonged cooling." The Journal of Experimental Zoology Supplement 1: 105-109.
- Tazawa, H., Y. Hashimoto, S. Nakazaw and G. C. Whittow (1992): "Metabolic responses of chicken embryos and hatchlings to altered O₂ environments." Respiration Physiology 88: 37-50.
- Teeter, R. G., M. O. Smith, F. N. Owens, S. C. Arp, S. Sangiah and J. E. Breazile (1985): "Chronic heat stress and respiratory alkalosis: Occurrence and treatment in broiler chicks." Poultry Science 64: 1060-1064.
- Tindell, D. and D. R. Morris (1963): "The effects of egg weight on subsequent broiler performance." Poultry Science 42: 534-539.
- Tomhave, A. E. (1956): "Influence of age of New Hampshire female breeders upon hatchability of eggs." Poultry Science 35: 236-237.
- Triuwanta, C., Leterrier, J. P. Brillard and Y. Nys (1992): "Maternal body weight and feed allowance of breeders affect performance of dwarf broiler and tibial ossification of their progeny." Poultry Science 71: 244-254.
- Tuffet, L. S. and L. S. Jensen (1991): "Effect of age of hen, egg weight and sex on chick performance and lipid retention." Poultry Science 70: 2411-2418.
- Tullet, S. G. (1990): "Science and the art of incubation." Poultry Science 69: 1-15.
- Tullet, S. G. and F. G. Burton (1986): "The recent reawakening of interest in bird physiology particularly eggs, eggshell porosity and embryonic respiration." Zeitschrift der Humbolt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. R. 35: 273-284.
- Van Krey, H. P., A. T. Leighton and L. M. Potter (1967): "Sperm gland populations and late seasonal decline in fertility." Poultry Science 46: 1332.
- Van Krey, H. P., P. B. Siegel and A. T. Leighon (1971): "Reapitability estimates and quantification of uterovaginal sperm-host gland numbers and population patterns." Biol. Reprod. 4: 31-34.
- Van Krey, H. P. and P. B. Siegel (1974): "Selection for body weight at eight weeks of age." Poultry Science 53: 741-745.
- Van Krey, H. P., B. Siegel and A. T. Leighon (1990): Reproductive biology in relation to breeding and genetics. Amsterdam- Oxford-New York-Tokyo, Elsevier.

- Van Middelkoop, J. H. (1973): "Influence of the dwarfing gene on yolk production and its consequences for normal egg laying of White Plymouth rock pullets." Arch. Geflügelk. 5: 192-196.
- Verbeke, G. and G. Molenberghs (1997): Linear mixed models in practice. New York, Springer Verlag.
- Vieira, S. L. and E. T. Moran (1999): "Effect of egg of origin and chick post-hatch nutrition on the broiler live performance and meat yields." World's Poultry Science Journal 55: 125-142.
- Visschedijk, A. H. J. (1968): "The air space and embryonic respiration. I. The pattern of gaseous exchange in the fertile egg during the closing stages of incubation." British Poultry Science 9: 173-184.
- Visschedijk, A. H. J. (1987): "Air Space : The embryonic medium." The Journal of Experimental Zoology Supplement 1: 194-201.
- Visschedijk, A. H. J. (1991): "Physics and physiology of incubation." British Poultry Science 32: 3-20.
- Vleck, C. M. and D. Vleck (1987): "Metabolism and energetic of avian embryos." The Journal of Experimental Zoology Supplement 1: 111-125.
- Vleck, C. M. (1991): Allometric scaling in avian embryonic development. Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. Ed. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann. 22.
- Vleck, C. M. and T. L. Bucher (1998): Energy metabolism, gas exchange and ventilation. Avian growth and development. a. R. E. R. Starck J. M. . New York, Oxford University Press.
- Vo, K. V., M. A. Boone, B. L. Hughes and J. F. Knechtges (1980): "Effects of ambient temperature on sexual maturity in chicken." Poultry Science 59: 2532-2537.
- von Haaren-Kiso, A. (1991): Bedeutung des Gens für Lockenfiedrigkeit (F) unter besonderer Berücksichtigung der Kombination mit anderen Majorgenen für das produktive Adaptationsvermögen von Legehennen an hohe Umwelttemperaturen. Dissertation, Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Berlin, Technische Universität Berlin.
- von Haaren-Kiso, A., P. Horst und A. Valle-Zarate (1994): "Direkte und indirekte Effekte des Gens für Lockenfiedrigkeit (F) auf das produktive Adaptionsvermögen von Legehennen." Arch. Geflügelk. 58(6): 248-257.
- Walsh, T. J., R. E. Rizk and J. Brake (1995): "Effects of temperature and carbon dioxide on albumen characteristics, weight loss and early embryonic mortality of long stored hatching eggs." Poultry Science 74: 1403-1410.
- Warren, D. C. and R. L. Schnepel (1940): "The effect of air temperatures on egg shell thickness in the fowl." Poultry Science 19: 67-72.
- Washburn, K. W., R. Peavey and G. M. Renwick (1980): "Relationship of strain variation and feed restriction to variation in blood pressure of heat stress." Poultry Science 59: 2586-2588.
- Washburn, K. W. and R. A. Guill (1974): "Relationship of embryo weight as a percent of egg weight to efficiency of feed utilization in the hatched chick." Poultry Science 53: 766-769.

- Weaver, W. D. (1974): "Mini-breeder pay if raising squab broilers (in: Merat, 1984)." Broiler Industry 37: 23.
- Whitehead, C. C., Kathleen, M. Herron and D. Waddington (1987): "Productive performance of dwarf broiler breeders given different allowances of food during the rearing and breeding periods and two lighting patterns." British Poultry Science 28: 415-427.
- Whitehead, C. C. (1988): Selection for leanness in broilers using plasma lipoprotein concentration as selection criterion. Leanness in Domestic Birds. Ed. B. Leclercq and C. C. Whitehead. London, Butterworths-Heinemann
- Whiting, T. S. and G. M. Pesti (1984): "Broiler performance and hatching egg weight to marketing weight relationships of progeny from standard and dwarf broiler dams." Poultry Science 63: 425-429.
- Whiting, T. S. and G. M. Pesti (1983): "Effects of the dwarfing gene (dw) on egg weight, chick weight and chick weight : egg weight ratio in a commercial broiler strain." Poultry Science 62: 2297-2302.
- Wiley, W. H. (1950): "The influence of egg weight on the pre-hatching and post-hatching growth rate in the fowl. I Egg weight-embryonic development ratios." Poultry Science 29: 570-574.
- Wilhelm, L. A. (1940): "Some factors affecting variations in egg shell quality." Poultry Science 19: 246-253.
- Willemsen, M. H. A., R. O. Pierce, E. A. Dunnington, G. Liu and P. B. Siegel (1996): "Genetic analyses of the effects of storage time on hatchability and incubation length of embryos from weight-selected populations and their crosses." Arch. Geflügelk. 60: 114-119.
- Wilson, H. R., D. R. Ingram and R. H. Harms (1983): "Restricted feeding of broiler breeders." Poultry Science 62: 1133-41.
- Wilson, H. R. and R. H. Harms (1986): "Performance of broiler breeders as affected by body weight during the breeding season." Poultry Science 65: 1052-1057.
- Wilson, H. R. (1991 a): "Interrelationships of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability." World's Poultry Science Journal 47: 5-20.
- Wilson, H. R. (1991 b): Physiological requirements of developing embryo: temperature and turning. Avian Incubation, Poultry Science Symposium number twenty-two. S. G. Tullet. London, Butterworth-Heinemann.
- Wilson, H. R. and R. F. Wilmering (1988): "Hatchability as affected by egg turning in high density plastic egg flats during the last half of incubation." Poultry Science 67: 685-688.
- Wishart, G. (1996): "How fertility works." Poultry International 35 (2): 54-58.
- Wishart, G. J. and F. H. Palmer (1996): "Correlation of the fertilising ability of semen from individual male fowls with sperm motility and ATP content." British Poultry Science 27: 97-102.
- Wishart, G. J. and H.J. Staines (1999): "Measuring sperms: egg interaction to assess breeding efficiency in chickens and turkeys." Poultry Science 78: 428-436.
- Wyatt, C. L., J. R. Weaver and W. L. Beane (1985): "Influence of egg size, egg shell quality and posthatch holding time on broiler performance." Poultry Science 64: 2049-2055.

Yalcin, S., A. Testik, S. Ozkan, P. Settar, F. Celen and A. Cahaner (1997): "Performance of naked neck and normal broilers in hot, warm and temperate climates." Poultry Science 76: 930-937.

Yannakopoulos, A. L. and A. S. Tserveni-Gousi (1987): "Relationship of parents's age, hatching egg weight and shell quality to day old chick weight as influenced by oviposition time." Poultry Science 66: 829-833.

Yannakopoulos, A. L. (1988): "Lack of effect of oviposition time and parental age on chick weight when egg weight remains constant." British Poultry Science 29: 431-434.

Yoo, B. H. and E. Wientjes (1991): "Rate of decline in hatchability with preincubation storage of chicken eggs depends on genetic strain." Poultry Science: 733-740.

Yu, M. W., F. E. Robinson, R. G. Charles and R. Weingard (1992): "Effect of feed allowance during rearing and breeding on female broiler breeders . Ovarian morphology and production." Poultry Science 71: 1750-1761.

Yunis, R., und A. Cahaner (1999): "The effect of the naked neck (Na) and frizzle (F) genes on growth and meat yield of broiler and their interactions with ambient temperatures and potential growth rate." Poultry Science 78: 1347-1352.

Zein-El-Dein, A., M. Zeiny and H. Ayoub (1981): "Carcass measurements of naked neck and normal chicks." Ann. Genet. Sel. Anim. 13(4): 435-440.

Zelterman, D. (1999): Models for discrete data. Oxford, Clarendon Press Oxford.

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 a) Die Auswirkung von hohen Umwelttemperaturen auf das Eigewicht (Ahvar et al., 1982; verändert von Sauveur und Picard, 1987).....	9
b) Veränderung von Eigewicht und Eibestandteilen nach 10-tägiger Hitzebelastung von 33 °C (Picard et al., 1984, zitiert in Sauveur and Picard, 1987)	9
Abb. 2.2: Schematische Darstellung der Spermienwanderung vom Ort der Insemination zu den Spermienaufbewahrungsdrüsen und deren Auftreten auf die äußere und innere Perivitellin-Membran (Wishart, 1996).....	15
Abb. 2.3: Darstellung der embryonalen Fehlstellungen (1-6) nach Romanoff (1972). Die römischen Zahlen (I-VI) stellen die Klassifikation der embryonalen Fehlstellungen nach Landauer (1967) und VII nach Beschreibung von Anderson Brown (1988) dar.....	29
Abb. 2.4: Darstellung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion des Kükenembryos während der Inkubation und postnataler Periode (Rahn et al., 1979).....	40
Abb. 3.1: Einfluss des Gens für Lockenfiedrigkeit (<i>F</i>) auf die Federstruktur	71
Abb. 3.2: Einfluss des Gens für Nackthalsigkeit und Befiederungsreduktion (<i>Na</i>) auf die Befiederung.....	71
Abb. 4.1: Einfluss des Locken - (<i>F</i>) und Verzweigungsgens (<i>dw</i>) auf die Gewichtsentwicklung in der Aufzuchtphase (LSQ-Mittelwerte)	93
Abb. 4.2: Einfluss des Nackthalsgens (<i>Na</i>) auf die Körpergewichtsentwicklung während der Aufzucht (LSQ-Mittelwerte)	96
Abb. 4.3: Einfluss des Lockengens (<i>F</i>) und des Zwerggens (<i>dw</i>) auf die Körpergewichtsentwicklung über die gesamte Legeperiode bei der Broilermutterlinie (MZL) (LSQ-Mittelwerte)	97
Abb. 4.4: Einfluss des Nackthalsgens (<i>Na</i>) auf die Gewichtsentwicklung schwerer Broilerhennen (VZL) während der Legeperiode unter gemäßigten (K) und warmen Umwelttemperaturen (W) (LSQ-Mittelwerte)	99
Abb. 4.5: Einfluß der Majorgene <i>F</i> und <i>dw</i> , der Umwelttemperatur und des Fütterungsregimes während der Aufzucht und in der Legeperiode auf die sexuelle Reife der Broiler-Mutterhennen (MZL).....	101

Abb. 4.6: Einfluss des Lockengens (F) und des Verzweigungsgens (dw) auf die Entwicklung der Legeleistung je vorhandene Henne. Die Balkendiagramme stellen den Einfluss des Locken- und Verzweigungsgens auf die mittlere Legeleistung je vorhandene (äußere Säulen) und je Anfangshenne (innere Säulen) über die gesamte Legeperiode unter hohen (W) und gemäßigten Umwelttemperaturen (K) dar (LSQ-Mittelwerte).....	104
Abb. 4.7: Der Einfluss des F - und des dw –Gens auf den Anteil nicht legender Hennen unter hohen (W) und gemäßigten (K) Umwelttemperaturen.....	105
Abb. 4.8: Einfluss des Na -Gens und der Umwelttemperatur auf die Entwicklung der Legeleistung je überlebende Henne (LSQ-Mittelwerte). Die Säulendiagramme stellen die durchschnittliche Legeleistung je überlebende Henne (äußere Säulen) und je Anfangshenne (innere Säulen) dar. (W= Warmstall; K= Kontrollstall)	111
Abb. 4.9: Der Einfluss des Nackthalsgens (Na) auf den Anteil nicht legender Hennen unter gemäßigten und hohen Umwelttemperaturen.	113
Abb. 4.10: Die Befruchtungsrate (Fertilität) in Abhängigkeit von Befruchtungsdauer, Hennenalter und Eigewicht (MZL).....	131
Abb. 4.11: Die Fertilität in Abhängigkeit von der Befruchtungsdauer, Eigewicht, Hennenalter und Hennengewicht (VZL).....	135
Abb. 4.12: Schlupfrate in Abhängigkeit von Eigewicht, Vorbrutlagerung und Verdunstungsgrad während der Vorbrutlagerung (MZL).....	142
Abb. 4.13: Die Schlupfrate in Abhängigkeit von der Eischalenstabilität (Deformation) (MZL)	143
Abb. 4.14: Schlupfrate in Abhängigkeit von Eigewicht, Hennengewicht, Vorbrutlagerung und Verdunstungsgrad während der Vorbrutlagerung (VZL).	147
Abb. 4.15: Die Schlupfrate in Abhängigkeit von der Eischalenstabilität (Deformation), (VZL).....	148
Abb. 4.16 Embryonale Mortalitätsrate während der frühen embryonalen Entwicklungsphase (MZL)	154
Abb. 4.17: Überlebenszeitanalyse nach der Kaplan-Meier Methode für die homozygot gelockten- (FF) und normalfedrigen (ff) Embryonen und bei der Haltung der Broiler-Elternhennen unter Warmstall- (W) und Kontrollstallbedingungen (K) (MZL, Vers. II).....	157
Abb. 4.18: Embryonale Mortalitätsrate während der frühen embryonalen Entwicklung (VZL).....	159
Abb. 4.19: Überlebenszeitanalyse (Survival analysis) nach der Kaplan-Meier-Methode für die homozygoten Nackthals- und normalbefiederten Embryonen und bei der Haltung der Broiler-Elternhennen unter Warmstall- (W) und Kontrollstallbedingungen (K) (VZL).....	161

Abb. 4.20: Der embryonale Sauerstoffverbrauch der geschlüpften und abgestorbenen Embryonen unterschiedlicher Genotypen für den Zeitpunkt 14. bis 19. Bruttag. Die Säulendiagramme stellen die Durchschnittswerte während dieser Periode dar.	164
Abb. 4.21: Embryonale Temperaturentwicklung bei geschlüpften und nicht schlupffähigen nackthalsigen (<i>NaNa</i>) und normalbefiederten (<i>nana</i>) Embryonen während des 16. bis 21. Bebrütungstages.	167
Abb. 5.1: Der Effekt der Majorgenotypen <i>FF</i> und <i>dw</i> - auf den prozentualen Anteil an abdominalem Fett, Schlachtkörperverfettung (1 bis 5 Punkteskala) sowie Leberverfettung (1 bis 5 Punkteskala) unter gemäßigten und hohen Umwelttemperaturen (Vers. II).....	190
Abb. 5.2: Fertilität in Abhängigkeit von Bruteigewicht und Genotyp der Hennen unter warmen und gemäßigten Umwelttemperaturen (VZL).....	193
Abb. 5.3: LSQ –Mittelwerte für die Fertilität in Abhängigkeit von Altersklassen der Hennen bei unterschiedlichen Genotypen unter warmen und gemäßigten Umwelttemperaturen (VZL)	194
Abb. 5. 4: Einfluss der Lagerungsdauer und der maternalen Umwelttemperatur auf die Schlupffähigkeit homozygoter Nackthals- und normalbefiederter Embryonen (linke Abb.). Einfluss der Lagerungsdauer auf die frühembryonale Mortalität der normalbefiederten Embryonen unter gemäßigten Hennen-Haltungstemperaturen (rechte Abb.)	200
Abb. 5.5: Der Effekt der Hennenbefiederungs-Genotypen <i>NaNa</i> (VZL) und <i>FF</i> (MZL) sowie deren Haltungsumwelttemperatur auf die Verdunstungsmenge während der Vorbrutlagerung	205

7.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Einfluss von hohen Umwelttemperaturen auf die Merkmale der Schalenqualität.....	11
Tab. 2.2:	Legeleistungsvergleich zwischen Normaltyp (<i>Dw</i> -) und Zwergtyp (<i>dw</i> -) bei Legehennen und Broiler-Elternhennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung.....	54
Tab. 2.3:	Legeleistungsvergleich zwischen teil- und normalbefiederten Hennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung	56
Tab. 2.4:	Eigewichte von Normaltyp (<i>Dw</i> -) und Zwergtyp (<i>dw</i> -) bei Lege- und Broiler-Elternhennen unter dem Einfluss von Wärmebelastung	59
Tab. 2.5:	Vergleich der Eiqualitätsmerkmale zwischen normal- (<i>nana</i>) und teilbefiederten (<i>Na</i> .) Hennen unter dem Einfluss der Wärmebelastung.....	60
Tab. 2.6:	Der Effekt des Zwerggens auf Fertilität, Schlupffähigkeit und Anzahl der Küken je Henne bei Broiler-Elterntieren.....	62
Tab. 2.7:	Segregation der Genotypen bei der Nachkommenschaft aus der Kreuzung heterozygoter Hähne mit normalbefiederten Hennen	65
Tab. 2.8:	Fertilitäts- und Schlupfrate in Abhängigkeit von Umwelttemperatur und Genotyp der Hennen (Merat et al., 1989).....	67
Tab. 3.1	Genetische Struktur und Anzahl der Tiere der Masteltern-Mutterlinie (MZL) und Masteltern-Vaterlinie (VZL).....	72
Tab. 3.2	Schematische Darstellung des Haltungs- und Fütterungsregimes der Versuchshennen	75
Tab. 3.3:	Anpaarungsplan für die Erfassung der Merkmale Fertilität, Schlupffähigkeit, Kükenzahl, embryonale Stellung, embryonale Mortalität und Kükengewicht.....	78
Tab. 4.1 :	Einfluss der Majorgene <i>F</i> und <i>dw</i> und der Umwelttemperatur auf die Mortalität während der Legeperiode bei der Mutterzuchtlinie (MZL).....	91
Tab. 4.2:	Einfluss des Nackthalsgens (<i>Na</i>) und der Umwelttemperatur auf die Mortalität während der Legeperiode bei der Vaterzuchtlinie (VZL).....	92
Tab. 4.3:	F-Werte und Signifikanzniveau für das Merkmal Geschlechtsreife (MZL).....	100
Tab. 4.4:	Einfluss der Majorgene <i>F</i> und <i>dw</i> und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Geschlechtsreife (LSQ-Mittelwerte).....	102
Tab. 4.5:	LSQ-Mittelwerte, Standardfehler und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal sexuelle Reife bei der Vaterzuchtlinie (VZL)	103
Tab. 4.6:	F-Werte und Signifikanzniveau für die Gesamteizahl je Anfangshenne (MZL).....	107

Tab. 4.7: Einfluss der Gene F und dw und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Legeleistung (Eizahl und Intensität) je Anfangshenne	110
Tab. 4.8: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Legeleistung je Anfangshenne (VZL).....	112
Tab. 4.9: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal Eigewicht (MZL).....	115
Tab. 4.10: Einfluss des Nackthalsgens (Na) und der Umwelttemperatur auf das Merkmal Eigewicht	116
Tab. 4.11: F-Werte und Signifikanzen für die Merkmale der Eischalenqualität (Bruchfestigkeit, Schalendicke, Deformation) (MZL).....	117
Tab. 4.12: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Merkmale der Eischalenqualität (MZL).....	118
Tab. 4.13: F-Werte und Signifikanzen für Eibestandteile (MZL).....	119
Tab. 4.14: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Merkmale der Eibestandteile (MZL)	120
Tab. 4.15: Einfluss des Nackthalsgens (Na) und der Umwelttemperatur auf die Qualitätsmerkmale der Eischale.	122
Tab. 4.16: Einfluss des Nackthalsgens (Na) und der Umwelttemperatur auf die Eibestandteile.....	122
Tab. 4.17: Einfluss des Locken -(F) und des Zwerggens (dw) und der Umwelttemperatur auf den Anteil brutfähiger Eier	124
Tab. 4.18: Einfluss des Nackthalsgens (Na) und der Umwelttemperatur auf den Anteil brutfähiger Eier.....	125
Tab. 4.19: Der Einfluss von Hahnengenotyp, Hennenbefiederungstyp, Hennenkörpergröße und Umwelttemperatur auf die Fertilität (MZL).....	127
Tab. 4.20: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Fertilität (MZL).....	128
Tab. 4.21: Varianztabelle für die Fertilität mit Berücksichtigung von Befruchtungsdauer, Alter der Henne und Eigewicht bei maternaler Linie (MZL)	130
Tab. 4.22: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursachen für die Fertilität (VZL).....	133
Tab. 4.23: Fertilität nach Hahnen- und Hennengenotyp und Umwelttemperatur mit Berücksichtigung von Befruchtungsdauer, Gewicht der Henne, Alter der Henne und Eigewicht (VZL).....	134

Tab. 4.24: Der Einfluss von Hahnen- und Hennenbefiederungstyp (<i>F</i>), Hennenkörpergröße (<i>dw</i>) und Umwelttemperatur (<i>U</i>) auf die Schlupffähigkeit (MZL).....	137
Tab. 4.25: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für die Schlupffähigkeit (%) der befruchteten Bruteier (MZL)	138
Tab. 4.26: Varianztabelle für die Schlupffähigkeit mit Berücksichtigung der Kovariablen Eigewicht (<i>E</i>), Lagerungsdauer (<i>D</i>) und Eigewichtsabnahme während der Lagerungsdauer (<i>V</i>) (VZL).....	140
Tab. 4.27: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwertes und F-Werte mit Signifikanzniveau der Varianzursache für das Merkmal Schlupffähigkeit der befruchteten Bruteier (VZL).....	144
Tab. 4.28: Schlupffähigkeit für Hahnen- und Hennengenotyp und Umwelttemperaturen mit Berücksichtigung der Kovariablen Hennengewicht (<i>G</i>), Eigewicht (<i>E</i>), Lagerungsdauer (<i>D</i>) und Gewichtsverlust während der Lagerungsdauer (<i>V</i>) (VZL).....	146
Tab. 4.29: F-Werte und Signifikanzen für die embryonale Stellung im Ei (MZL).....	149
Tab. 4.30: LSQ-Mittelwerte für das Merkmal embryonale Stellung im Ei (MZL)	150
Tab. 4.31: F-Werte und Signifikanzen für das Merkmal embryonale Stellung im Ei (VZL)	151
Tab. 4.32: LSQ-Mittelwerte für das Merkmal embryonale Stellung (VZL).....	152
Tab. 4.33: F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (MZL, Vers. II)	153
Tab. 4.34: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (MZL, Vers. II)	155
Tab. 4.35: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (VZL).....	158
Tab. 4.36: Embryonaler Sauerstoffverbrauch vom 14. bis zum 19. Bruttag (VZL)	163
Tab. 4.37: Embryonale Stoffwechselaktivität am 20./21. Bebrütungstag.....	164
Tab. 4.38: LSQ-Mittelwerte und Standardfehler für Atmungsaktivität am Schlupftag (ml/h/g Brutei)	165
Tab. 4.39: Embryonale Temperaturentwicklung vom 16. bis 21. Bruttag (VZL).....	166
Tab. 4.40: Anzahl der Küken je Anfangshenne (MZL)	169
Tab. 4.41: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Anzahl der Küken (MZL)	170

Tab. 4.42: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Anzahl der Küken je Anfangshenne in 24 Wochen (VZL).....	171
Tab. 4.43: F-Werte für das Merkmal Kükengewichte (MZL)	173
Tab. 4.44: LSQ-Mittelwerte und Fehler der Mittelwerte für das Merkmal Kükengewicht (MZL)	174
Tab. 4.45: LSQ-Mittelwerte, Fehler der Mittelwerte und F-Werte mit Signifikanzniveau für das Merkmal Kükengewicht (g), (VZL)	176
Tab. 5.1: Der Effekt des Nackthalsgens (<i>Na</i>) auf die Häufigkeit des Anpickens der Schale.....	207

Anhang

Anhang 1: Informationskriterien für die Auswahl der Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Befruchtungsrate (MZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and -2 log likelihood) for selection of model for fertility (MZL)

Modell Nr.	Hauptfaktoren	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	ACI / SB / -2LLG	
				Vers. I	Vers. II
1	Hahnengenotyp Hennenbefiederungstyp Henenkörpergrößentyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	-	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	-16234	-27432
			-16239	-27436	
			32464	54857	
2	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	<u>-16278</u>	-27356
			<u>-16283</u>	-27360	
			<u>32551</u>	54706	
3	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	-16339	-27727
			-16343	-27731	
			32672	55447	
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr local;	-16607	-27798
			-16612	-27802	
			33209	55590	
5	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr local;	-16199	<u>-27322</u>
			-16204	<u>-27327</u>	
			32392	<u>54639</u>	
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	-16278	-27356
			16283	-27360	
			32551	54706	
7	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	-18276	-30975
			-18283	-30982	
			36544	61943	
8	Wie Modell 1	random int/ sub=TierNr	repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	-17981	-30539
			-17985	-30545	
			35961	61070	
9	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr	repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	-18478	-31052
			-18485	-31058	
			36948	62095	
10	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr	repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr local;	-18350	-31098
			-18357	-31104	
			36693	62188	
11	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr	repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr local;	-17858	-30306
			-17861	-30312	
			35716	60604	
12	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr	repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	-17985	-30539
			-17991	-30545	
			35961	61070	

Anhang 2: Informationskriterien für die Auswahl der Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Befruchtungsrate mit der Berücksichtigung der Kovariablen Befruchtungsdauer, Gewicht der Henne, Alter der Henne und Eigewicht (MZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of models including covariates duration of fertility, age, bodyweight and eggweight for fertility (MZL)

Modell Nr.	Hauptfaktoren und Faktorkombinationen	Spezifikation der Kovarianzmatrix	AIC/SBC/-2LL
1	Hahnengenotyp, Hennengenotyp, Umwetterperatur, Befruchtungsdauer (B), Gewicht der Henne (W), Alter der Henne (A), Eigewicht (E), $B^2, W^2, A^2, E^2, B^3, W^3, A^3, E^3, B^4, A^4, B^5$; alle Interaktionen wurden im Modell berücksichtigt. Interaktionen zwischen den Kovariablen wurden nur im linearen Term im Modell aufgenommen.	repeated time/type =sp (lin) (time)sub=TierNr local;	-29886/-29890/59766
2	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr local;	-30122/-30127/60239
3	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	-29402/-29406/58798
4	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	-29695/-29699/59384
5	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	-29391/-29395/58776
6	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	<u>-29391/-29395/58776</u>
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz
12	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	Keine Konvergenz

Anhang 3: Die Auswahlkriterien für die Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Befruchtungsrate (VZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarzbyesian, -2LLG) for model selection (VZL)

Modell Nr.	Hauptfaktoren	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	ACI / SB / -2LLG
1	Hahnengenotyp Hennengenotyp Umwettemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	-	repeated time/type=sp(sph)(time) subject=TierNr. local	<u>-20650/-20655/-41294</u>
2	wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp)(time) subject=TierNr. local;	-20788/-20799/41570
3	wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau)(time) subject=TierNr. local;	-21378/-21382/42750
4	wie Modell 1		repeated time/type=sp(lin)(time) subject=TierNr. local;	-21553/-21558/43101
5	wie Modell 1		repeated time/type=sp(linl)(time) subject=TierNr. local;	-20766/-20771/41527
6	wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow)(time) subject=TierNr. local;	-22873/-22879/45738
7	wie Modell 1	random int/ subject=TierNr.	repeated time/type=sp(sph)(time) subject=TierNr. local;	-23217/-23231/46425
8	wie Modell 1	random int/ subject=TierNr.	repeated time/type=sp(exp)(time) subject=TierNr. local;	-22873/-22887/45738
9	wie Modell 1	random int/ subject=TierNr.	repeated time/type=sp(gau)(time) subject=TierNr. local;	-23320/-23326/46631
10	wie Modell 1	random int / subject=TierNr.	repeated time/type=sp(lin)(time) subject=TierNr. local;	-23356/-23362/46703
11	wie Modell 1	random int/ subject=TierNr.	repeated time/type=sp(linl)(time) subject=TierNr. local;	-22029/-22034/44048
12	wie Modell 1	random int/ subject=TierNr.	repeated time/type=sp(pow)(time) subject=TierNr. local;	-23089/-23103/46170

Anhang 4: Die Auswahlkriterien für die Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Befruchtungsrate mit der Berücksichtigung der Kovariablen Befruchtungsdauer, Gewicht der Henne, Alter der Henne und Eigewicht (VZL)

Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of models including traits duration of fertility, age, bodyweight and eggweight as covariate for fertility (VZL)

Modell Nr.	Hauptfaktoren	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	AIC/SBC/-2LL
1	Hahnengenotyp, Hennengenotyp, Umwetterperatur, Befruchtungsdauer (B) Gewicht der Henne (W) ,Alter der Henne (A), Eigewicht (E), B ² , W ² , A ² , E ² , B ³ , W ³ , A ³ , E ³ B ⁴ , A ⁴ , B ⁵ ; alle Interaktionen wurden im Modell berücksichtigt. Interaktionen zwischen den Kovariablen wurden nur im linearen Term im Modell aufgenommen.		repeated time/type=sp (lin) (time)sub=TierNr local	-25427/-25432/50848
2	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(linl) (time) Sub=TierNr local;	-27255/-27260/54505
3	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(sph) (time) Sub=TierNr local;	-27049/-27054/54093
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau) (time) Sub=TierNr local;	<u>-25425/-25429/50844</u>
5	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow) (time) Sub=TierNr local;	-25903/-25908/51800
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp) (time) Sub=TierNr local;	-25903/-25908/51800
7	Wie Modell 1	random sub=TierNr;	int/ repeated time/type=sp(lin) (time) Sub=TierNr local	-27070/-27077/54133
8	Wie Modell 1	random sub=TierNr;	int/ repeated time/type=sp(linl) (time) Sub=TierNr local;	-26984/-26990/ 53961
9	Wie Modell 1	random sub=TierNr;	int/ repeated time/type=sp(sph) (time) Sub=TierNr local;	-27103/-26983/53946
10	Wie Modell 1	random sub=TierNr;	int/ repeated time/type=sp(gau) (time) Sub=TierNr local;	-27160/-27166/54313
11	Wie Modell 1	random /sub=TierNr;	int repeated time/type=sp(pow) (time) Sub=TierNr local;	-26977/-26983/53946
12	Wie Modell 1	random sub=TierNr;	int/ repeated time/type=sp(exp) (time) Sub=TierNr local;	-26977/-26983/53946

Anhang 5: Die Kriterienwerte für die Modellauswahl für das Merkmal Schlupffähigkeit (MZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and -2 log likelihood) for selection of model for hatchability (MZL)

Modell Nr.	Fixe Effekte	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	ACI / SB / -2LLG	
				Vers. I	Vers. II
1	Hahnengenotyp Hennebefiederungstyp Hennenkörpergrößentyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	-	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr. local;	<u>-12403</u> <u>-12408</u> <u>24801</u>	-24313 -24317 48620
2	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr. local;	-12433 -12438 24860	-24259 -24264 48513
3	Wie Modell 1;		repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr. local;	-12490 -12495 24975	-24702 -24707 49399
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr. local;	-12547 -12551 25088	-24545 -24550 49085
5	Wie Modell 1;		repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr. local;	-12688 -12692 25370	<u>-24100</u> <u>-24105</u> <u>48196</u>
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr. local;	-12433 -12438 24860	-24259 -24264 48513
7	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr. local;	-12567 -12573 25127	-25121 -25126 50237
8	Wie Modell 1	random int/ sub=TierNr.	repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr. local;	-12469 -12475 24930	24930 -24936 49853
9	Wie Modell 1;	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr. local;	-12735 -12742 25463	-25123 -25128 50237
10	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr. local;	-12735 -12742 25463	-25031 -25037 50055
11	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr. local;	-12735 -12742 25463	-25122 -25129 50238
12	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr. local;	-12469 -12475 24930	-24930 -24936 49853

Anhang 6: Die Kriterienwerte für die Modellauswahl für das Merkmal Schlupffähigkeit unter der Berücksichtigung der Kovariablen Gewicht der Henne, Eigewicht, Lagerungsdauer und Gewichtsverlust während der Lagerung bei maternaler Linie (MZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of models including effects of bodyweight, storage and egg conductivity as covariate for hatchability (MZL)

Model Nr.	Fixe Effekte1	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	AIC/SBC/-2LL/
1	Hahnengenotyp, Hennengenotyp, Umwelttemperatur, Gewicht der Henne (w), Eigewicht (e), Lagerungsdauer (d), Gewichtsverlust während Lagerung (v), w^2 , e^2 , d^2 , v^2 , w^3 , e^3 , d^3 , v^3 , w^4 ; alle Interaktionen wurden im Modell berücksichtigt. Interaktionen zwischen den Kovariablen wurden nur im linearen Term im Modell aufgenommen.		repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr local;	-18125/-18130/36244
2	Wie Modell 1		repeated time/type= sp(linl) (time) sub=TierNr local;	<u>-17798/-17803/35590</u>
3	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-17837/-17842/35668
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-18848/-18170/36327
5	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-17848/-17853/35691
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-17848/-17853/35690
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr. Local;	18452/-18458/36897
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr. Local;	-18460/-18466/36912
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr. Local;	-18459/-18463/36912
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr. Local;	-18460/-18465/36912
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr	repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr. Local;	-18442/-18448/36876
12	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr. Local;	-184412/-18448/36876

1) die Wechselwirkung zwischen Hennengenotyp und Hennengewicht wurde im Modell nicht berücksichtigt.

Anhang 7: Die Kriterienwerte für die Modellauswahl für das Merkmal Schlupffähigkeit (VZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of model for hatchability (VZL)

Model Nr.	Hauptfaktoren	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	ACI/SB/ -2LLG
1	Hahnengenotyp Hennenbefiederungstyp Henenkörpergrößentyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;		repeated time/type= sp(sph) (time) sub=TierNr. local;	-17505/-17509/35004
2	Wie Modell 1		repeated time/type= sp(exp) (time) sub=TierNr. local;	-17509/-17514/35012
3	Wie Modell 1		repeated time/type= sp(pow) (time) sub=TierNr. local;	-17509/-17514/35012
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr. local;	-17950/-17955/35894
5	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr. local;	-17883/-17888/35760
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr. local;	<u>-17477/-17481/34948</u>
7	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr. local;	-18439/-18445/36869
8	Wie Modell 1	random int / sub=TierNr.	repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr. local;	-18406/-18412/36804
9	Wie Modell 1	random int / sub= TierNr.	repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr. local;	-18406/-18412/36805
10	Wie Modell 1	random int / sub= TierNr.	repeated time/type=sp(gau) (time) sub= TierNr.local;	-18439/-18445/36869
11	Wie Modell 1	random int / sub= TierNr.	repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr. local;	-184267/-18445/36869
12	Wie Modell 1	random int / sub= TierNr.	repeated time/type=sp(linl) (time) sub= TierNr.local;	-18439/-18481/34948

Anhang 8: Die Kriterienwerte (Model fit) für die Modellauswahl für das Merkmal Schlupffähigkeit mit der Berücksichtigung der Kovariablen Gewicht der Henne, Eigewicht, Lagerungsdauer, Gewichtsverlust während der Lagerung bei paternaler Linie (VZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz Bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of models including traits bodyweight, storage and egg conductance as covariate for hatchability (VZL)

Modell Nr.	Fixe Effekte	Zufällige Effekte	Struktur der Kovarianzmatrix für die wiederholten Daten	AIC/SBC/-2LL/
1	Hahnengenotyp, Hennengenotyp, Umwelttemperatur, Gewicht der Henne (w), Eigewicht (e), Lagerungsdauer (d), Eigewichtsverlust während Lagerung (v), $w^2, e^2, d^2, v^2, w^3, e^3, d^3, v^3, w^4$; alle Interaktionen wurden im Modell berücksichtigt. Interaktionen zwischen die Kovariablen wurden nur im linearen Term im Modell aufgenommen.		repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr local;	-18125/-18130/36244
2	Wie Modell 1		repeated time/type= sp(linl)(time) sub=TierNr local;	-17798/-17803/35590
3	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	-17837/-17842/35668
4	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	-18848/-18170/36327
5	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	-17848/-17853/35691
6	Wie Modell 1		repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	-17848/-17853/35690
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(lin)(time) sub=TierNr. local;	18452/-18458/36897
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(linl)(time) sub=TierNr. local;	-18460/-18466/36912
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr. local;	-18459/-18463/36912
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr. local;	-18460/-18465/36912
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr	repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr. local;	-18442/-18448/36876
12	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr.	repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr. local;	-18442/-18448/36876

Anhang 9: Die Auswahlkriterien für Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (MZL Vers. II)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of model for different stages of embryonic death (MZL)

Modell Nr.	Fixe Effekte	Spezifikation der Kovarianzmatrix	Embryonale Entwicklungsphase		
			frühe	mittlere	späte
			AIC/SBC/-2LL		
1	Hahnengenotyp Hennebefiederungstyp Hennenkörpergrößentyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	repeated time/type =sp (lin) (time)sub=TierNr local;	-29864	-33335	-28167
			-29864	-33340	-28171
			58901	66665	56327
2	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	<u>-29159</u>	-32999	<u>-28052</u>
			<u>-29163</u>	-33003	<u>-28056</u>
			<u>58312</u>	65991	<u>56097</u>
3	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-29439	-32947	-28114
			-29444	-32951	-28118
			58874	65887	56221
4	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-29864	-33385	-28290
			-29868	-33394	-28294
			59722	66773	56574
5	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-29354	-32962	-28106
			-29358	-32967	-28111
			58702	65919	56207
6	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-29354	-32962	-28106
			-29358	-32966	-28111
			58702	65918	56207
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr local;	-30048	-32999	-28261
			-30054	-33005	-28267
			60087	65990	56514
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	-30081	-33000	-28316
			-30087	-33006	-28322
			60154	65992	56624
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-30081	<u>-32916</u>	-28315
			-30087	<u>-32922</u>	-28319
			60154	<u>65824</u>	56624
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-30081	-33000	-28316
			-30087	-33006	-28322
			60154	65992	56624
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-29970	-32922	-28250
			-29976	-32928	-28256
			59932	65837	56492
12	Wie Modell 1	random int/sub= TierNr; repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-29970	-32922	-28250
			-29976	-32928	-28256
			59932	65837	56492

Anhang 10: Die Auswahlkriterien für die Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Zeitpunkt der embryonalen Mortalität (VZL)

Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and -2 log likelihood) for selection of model for time of embryonic mortality VZL)

Modell Nr.	Fixe Effekte	Spezifikation der Kovarianzmatrix	Embryonale Entwicklungsphasen		
			frühe	mittlere	späte
			AIC/SBC/-2LL		
1	Hahnengenotyp	repeated time/type =sp (lin)	-20607	-24642	-20607
	Hennengenotyp	(time)sub=TierNr local;	-20611	-24646	-20611
	Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;		41208	49276	41208
2	Wie Modell1	repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	<u>-20232</u>	-24660	-20120
			<u>-20236</u>	-24664	-20124
			<u>40458</u>	49314	40234
3	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-20424	-24644	<u>-20116</u>
			-20428	-24649	<u>-20120</u>
			40842	49283	<u>40226</u>
4	Wie Modell1	repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-20987	-24660	-20987
			-20991	-24664	-20991
			41968	49314	41968
5	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-20376	24649	-20376
			-20380	24653	-20380
			40746	49292	40746
6	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-20376	-24649	-20376
			20380	-24653	-20380
			40746	49292	40746
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr local;	-21113	-24479	Kein
			-21119	-24985	Konvergenz
			42128	48950	
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	-21192	Kein	Kein
			21198	Konvergenz	Konvergenz
			42377		
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-21112	-24498	Kein
			-21118	-24502	Konvergenz
			42218	48990	
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-21200	Kein	Kein
			-21206	Konvergenz	Konvergenz
			42393		
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-21059	<u>-24483</u>	-20236
			-21065	<u>-24489</u>	-20242
			42112	<u>48959</u>	40465
12	Wie Modell 1	random int/sub= TierNr; repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-21059	-24483	-21059
			-21065	-24489	-21065
			42112	48959	42111

Anhang 11: Die Auswahlkriterien für die Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Kükengewicht
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and $-2 \log$ likelihood) for selection of model for chickweight

Modell Nr.	Fixe Effekte	Spezifikation der Kovarianzmatrix	AIC/SBC/-2LL	
			Modell I	Modell II (Berücksichtigung des Eigewicht als Kovariable im Modell)
1	Hahnengenotyp Hennenfederstruktur Hennenkörpergrößentyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	repeated time/type =sp (lin) (time)sub=TierNr local;	-20101 -20105 40196	Keine Konvergenz
2	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	<u>-19804</u> <u>-19804</u> <u>36603</u>	-5050 -5055 10095
3	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-19875 -19879 39716	-5074 -5078 10142
4	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-20159 -20104 40313	-5190 -5195 10375
5	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-19861 -19865 39716	-5045 -5050 10085
6	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-19861 -19865 39716	<u>-5045</u> <u>-5050</u> <u>10085</u>
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr local;	-20089 -20095 40170	Keine Konvergenz
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	-19805 -19811 39603	-5052 -5057 10097
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-19882 -19888 39756	-5053 -5059 10099
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-20198 -20204 40389	-5091 -5097 10174
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-19853 -19859 39698	-5045 -5050 10085
12	Wie Modell 1	random int/sub= TierNr; repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-19853 -19859 39698	10085 -5045 -5050

Anhang 12: Die Auswahlkriterien für die Struktur der Kovarianzmatrix für das Merkmal Kükengewicht (VZL)
Fitting informations criteria (Akaike, Schwarz bayesian and -2 log likelihood) for selection of model for chickweight (VZL)

Modell Nr.	Fixe Effekte	Spezifikation der Kovarianzmatrix	AIC/SBC/-2LL	
			Modell I	Modell II (Berücksichtigung des Eigewichtes als Kovariable im Modell)
1	Hahnengenotyp Hennengenotyp Umwelttemperatur/ htype=3 ddfm=satterth;	repeated time/type =sp (lin) (time) Sub=TierNr local;	-12939/-12945/25871	-6326/-6331/12614
2	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(linl)(time) sub= TierNr local;	<u>-12795/-12799/25585</u>	Kein Konvergenz
3	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(sph)(time) sub=TierNr local;	-12850/-12854/12694	-6316/-6321/12627
4	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(gau)(time) sub=TierNr local;	-13063/-13069/26118	-6593/-6598/13181
5	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(pow)(time) sub=TierNr local;	-12820/-12824/25634	-6310/-6314/12614
6	Wie Modell 1	repeated time/type=sp(exp)(time) sub=TierNr local;	-12820/-12824/25634	<u>-6310/-6314/12614</u>
7	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(lin) (time) sub=TierNr local;	-12962/-12967/25919	-6326/-6331/-12647
8	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(linl) (time) sub=TierNr local;	-12795/-12799/25584	Kein Konvergenz
9	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(sph) (time) sub=TierNr local;	-12850/-12854/25694	-6316/-6326/12614
10	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr; repeated time/type=sp(gau) (time) sub=TierNr local;	-13132/-13136/26258	-6508/-6515/13008
11	Wie Modell 1	random int/sub=TierNr;repeated time/type=sp(pow) (time) sub=TierNr local;	-12820/-12824/25634	-6310/-6314/12614
12	Wie Modell 1	random int/sub= TierNr; repeated time/type=sp(exp) (time) sub=TierNr local;	-12820/-12824/25634	-6310/-6314/1214

Danksagung

Ganz herzlich möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. P. Horst für die Überlassung des Themas, die stets gewährte Unterstützung und hilfreiche Anregung bei der Anfertigung dieser Dissertation bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. W. Schlote für seine wertvolle Unterstützung, Diskussionsbereitschaft, die kritische Durchsicht des Manuskripts und Übernahme des Koreferats.

Frau Prof. Dr. A. Valle Zarate (Institut für Tierproduktion in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim) gebührt mein aufrichtiger Dank für die Übernahme des Koreferats.

Bei Herrn Prof. Dr. H.-P. Piepho (Institut für Pflanzenbau und Grünland der Universität Hohenheim) bedanke ich mich herzlich für die fachliche Beratung und grosse Diskussionsbereitschaft.

Herrn Prof. Dr. G. Seeland bin ich für seine uneingeschränkte Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und für die fachliche Anregung zu besonderem Dank verpflichtet.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Institut für Nutztierwissenschaften und der Versuchsstation, die mir Hilfe gewährt haben, gebührt mein Dank.

Herrn Aboayge, Frau M. Bütow und Frau P. Grimm danke ich für die Unterstützung der praktischen Durchführung der Versuche.

Frau R. Boelle-Sharifi danke ich für ihre unermüdliche Hilfsbereitschaft und sorgfältige Durchsicht des Manuskripts.

Frau U. Czarnetzki, Frau Dr. U. Funke, Herrn Dr. W. Hallatschek, Frau U. Janßen-Tapken, Herrn W. F. Lesener, Herrn U. Peter, Herrn G. Splettstößer und Frau Dr. B. Zumbach danke ich für Ihre freundschaftliche Hilfsbereitschaft.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei Herrn Prof. V. Dzapo (Institut für Tierzucht und Haustiergenetik der Justus Liebig Universität Giessen) und Frau Prof. Dr. H. Tönhardt (Institut für Veterinär-Physiologie der Freien Universität Berlin) für die Kooperationsbereitschaft bei der Durchführung der stoffwechselphysiologischen Experimente bedanken.

