

Altersabhängige Modellierung des Entwicklungsverlaufes
ausgewählter Wachstumsmerkmale weiblicher Jungrinder
und deren Zusammenhang zum Pubertätseintritt

Dissertation
zur Erlangung des
Doktorgrades der Agrarwissenschaft (Dr. agr.)

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Geowissenschaften und Informatik

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplom-Agraringenieur(in) Nicole Reinhold
Geb. am 08.05.1984 in Rodewisch

Gutachter:

1. Prof. Dr. Joachim Spilke
2. Prof. Dr. Joachim Krieter

Tag der Verteidigung: 24.06.2013

Halle (Saale) 2013

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung und Zielstellung.....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Wachstum und Entwicklung.....	3
2.1.1 Definition des Wachstums.....	3
2.1.2 Wachstumsphasen.....	3
2.1.3 Geschlechts- und Zuchtreife	4
2.1.4 Aufzuchttempfehlung	6
2.1.5 Einflüsse auf das Wachstum und die Entwicklung.....	8
2.2 Methoden zur Beurteilung der Körperentwicklung	12
2.2.1 Bestimmung der Körpermasse.....	12
2.2.2 Bestimmung der Rückenfettdicke	13
2.2.3 Body Condition Scoring.....	14
2.2.4 Weitere Methoden.....	15
2.3 Modellierung des Wachstums.....	16
2.4 Zusammenfassung der Literaturübersicht	18
3. Material und Methoden	19
3.1 Tiermaterial	19
3.2 Merkmalerfassung und Datenmaterial	20
3.3 Progesteronanalyse	23
3.4 Lineares gemischtes Modell	24
3.5 Generalisiertes lineares Modell	25
3.6 Vorgehensweise bei der statistischen Modellwahl.....	26
4. Ergebnisse	30
4.1 Modellierung der Wachstumsmerkmale.....	30
4.1.1 Deskriptive Statistik.....	30

4.1.2 Wiederholbarkeit der Merkmale	32
4.1.3 Zusammenhang zwischen Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS	36
4.1.4 Entwicklung der Körpermasse	38
4.1.5 Entwicklung der durchschnittlichen täglichen Zunahme	44
4.1.6 Entwicklung der Rückenfettdicke	50
4.1.7 Entwicklung des Body Condition Score	58
4.1.8 Zusammenhang der Tiereffekte der Merkmale	65
4.2 Pubertätseintritt.....	69
4.2.1 Progesteron-Profile	69
4.2.2 Zusammenhang zwischen Pubertätseintritt, Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS	71
4.2.3 Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Wachstumsmerkmale	72
5. Diskussion und Schlussfolgerungen	82
5.1 Wiederholbarkeit der Merkmale	82
5.2 Modellwahl	83
5.3 Merkmalsentwicklung	84
5.4 Merkmalszusammenhang.....	90
5.5 Pubertätseintritt.....	92
6. Zusammenfassung.....	94
7. Summary	96
Literaturverzeichnis	98
Anhang.....	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlungen für die durchschnittliche tägliche Zunahme	8
Tabelle 2: Literaturergebnisse zum Einfluss der Fütterung auf den Pubertätseintritt	10
Tabelle 3: Statistische Maßzahlen von Körpermasse, Rückenfettdicke und der durchschnittlichen täglichen Zunahme	31
Tabelle 4: Statistische Maßzahlen der acht BCS-Stellen	32
Tabelle 5: Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessung für Körpermasse, Rückenfettdicke, BCS 1 und BCS 8	35
Tabelle 6: Pearson'sche Korrelationskoeffizienten von Körpermasse und Rückenfettdicke ..	36
Tabelle 7: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 1	37
Tabelle 8: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 3	37
Tabelle 9: Modellanpassung für die Körpermasse in der Erwartungswertstruktur	39
Tabelle 10: Modellanpassung für die Körpermasse in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 4)	41
Tabelle 11: Modellanpassung für die tägliche Zunahme in der Erwartungswertstruktur	45
Tabelle 12: Modellanpassung für die tägliche Zunahme in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 8)	48
Tabelle 13: Modellanpassung für die Rückenfettdicke in der Erwartungswertstruktur	52
Tabelle 14: Modellanpassung für die Rückenfettdicke in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 6 und Modell 9).....	54
Tabelle 15: Modellanpassung der Erwartungswertstruktur für BCS 8	59
Tabelle 16: Modellanpassung für BCS 8 in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 5)	62
Tabelle 17: Statistische Maßzahlen von Lebenstag, Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 zum Pubertätseintritt.....	72
Tabelle 18: Modellanpassung für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Wachstumsmerkmale.....	79
Tabelle 19: Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessung für die BCS-Stellen 2 bis 7	107
Tabelle 20: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 2	108
Tabelle 21: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 4	108
Tabelle 22: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 5	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messpunkt für die Rückenfettdicke nach SCHRÖDER and STAUFENBIEL (2006)	13
Abbildung 2: Ultraschallbild mit ausgemessener Rückenfettdicke	21
Abbildung 3: Verteilung der Beobachtungen pro Tier für (a) Körpermasse, (b) tägliche Zunahme, (c) Rückenfettdicke und (d) BCS 8.....	30
Abbildung 4: Bivariate Punktwolken von (a) Körpermasse und (b) Rückenfettdicke aus erster und zweiter Messung	33
Abbildung 5: Bivariate Punktwolken von (a) BCS 1 und (b) BCS 8 aus erster und zweiter Bonitur	33
Abbildung 6: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte der Körpermasse (KM)	38
Abbildung 7: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der Körpermasse (KM) des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, P=0.95).....	39
Abbildung 8: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und OLS-Residuen für Modell 4.....	40
Abbildung 9: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{2i} und in (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 2	42
Abbildung 10: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 10.....	42
Abbildung 11: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes (KM Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (KM 73) und Tier 283 (KM 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, P=0.95)	44
Abbildung 12: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.3) und Beobachtungswerte der mittleren täglichen Zunahme	45
Abbildung 13: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der täglichen Zunahme des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom mittleren Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, P=0.95)	46
Abbildung 14: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und die OLS-Residuen aus Modell 8	47
Abbildung 15: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{0i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 2	49
Abbildung 16: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 11.....	49
Abbildung 17: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.2) und Beobachtungswerte der Rückenfettdicke (RFD)	51

Abbildung 18: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der Rückenfettdicke (RFD) des Bestandes für (a) Modell 6 und (b) Modell 9 sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)	53
Abbildung 19: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und OLS-Residuen für (a) Modell 6 und für (b) Modell 9	53
Abbildung 20: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{6i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 4	55
Abbildung 21: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 23.....	56
Abbildung 22: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes (RFD Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (RFD 73) und Tier 283 (RFD 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)	57
Abbildung 23: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.7) und Beobachtungswerte von BCS 8.....	58
Abbildung 24: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf von BCS 8 des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)	60
Abbildung 25: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und die OLS-Residuen aus Modell 5	61
Abbildung 26: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{4i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 5	62
Abbildung 27: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 13.....	63
Abbildung 28: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes (BCS 8 Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (BCS 8 73) und Tier 283 (BCS 8 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$).....	64
Abbildung 29: Korrelationskoeffizienten der Merkmalsbeobachtungen in Abhängigkeit der Altersklassen	65
Abbildung 30: Korrelation der Tiereffekte von Körpermasse und Rückenfettdicke in Abhängigkeit des Lebensstages	66
Abbildung 31: Korrelation der Tiereffekte von Körpermasse und BCS 8 in Abhängigkeit des Lebensstages	66
Abbildung 32: Korrelation der Tiereffekte von Rückenfettdicke und BCS 8 in Abhängigkeit des Lebensstages	67

Abbildung 33: P4-Profile: (a) Pubertät ist nicht eingetreten, (b) Pubertät ist eingetreten, (c) Pubertät ist eingetreten mit präpubertär erhöhtem Progesteron-Spiegel, (d) indifferentes Tier	70
Abbildung 34: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Körpermasse	73
Abbildung 35: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Rückenfettdicke	73
Abbildung 36: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit des BCS 8	74
Abbildung 37: Bestandsspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Körpermasse, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95).....	76
Abbildung 38: Bestandsspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Rückenfettdicke, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95).....	77
Abbildung 39: Bestandsspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit des BCS 8, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95).....	78
Abbildung 40: Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Merkmale Körpermasse und Rückenfettdicke.....	81
Abbildung 41: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes von BCS 8 und Rückenfettdicke	89
Abbildung 42: Gegenüberstellung der einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe von BCS 8 und Rückenfettdicke für die Tiere 73 und 283.....	89
Abbildung 43: Bivariate Punktwolken von (a) BCS 2, (b) BCS 3, (c) BCS 4, (d) BCS 5, (e) BCS 6 und (f) BCS 7 aus erster und zweiter Bonitur	106

Abkürzungsverzeichnis

AIC	Akaike Informationskriterium
AICC	korrigiertes Akaike Informationskriterium
AK	Altersklasse
BCS	Body Condition Score
<i>cv</i>	Variationskoeffizient
EKA	Erstkalbealter
FRM	Fixed Regression Modell
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
GEE	generalized estimating equation
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
IGF-I	Insulin-like-growth-factor I
IKK	Intraklassenkorrelationskoeffizient
KM	Körpermasse
KM_1	zurückliegende Wägung
KM_2	aktuelle Wägung
LH	Luteinisierendes Hormon
LM	Lebensmonat
LSM	Least Square Means
LT	Lebenstag
LT_1	Lebenstag eines Tieres zur zurückliegenden Wägung
LT_2	Lebenstag eines Tieres zur aktuellen Wägung
max	Maximum
min	Minimum
ML	Maximum Likelihood
<i>n</i>	Anzahl Beobachtungen
OLS	Ordinary Least Square
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
Pd	Periode
P4	Progesteron
QIC	Quasi-Likelihood Informationskriterium
<i>r</i>	Korrelationskoeffizient
REML	Restricted Maximum Likelihood
RFD	Rückenfettdicke
RRM	Random Regression Modell
<i>s</i>	Standardabweichung
Stdabw	Standardabweichung

UN	unstructured
VC	variance components
VCM	Varianz-Kovarianz-Matrix

1. Einleitung und Zielstellung

Die Jungrinderaufzucht ist einer der wichtigsten Produktionszweige in der Milchproduktion. Hauptziel ist die Produktion gesunder, fruchtbarer Jungtiere mit einem hohen Milchleistungspotential und langer Nutzungsdauer (DROCHNER 2008). Dieses Ziel kann jedoch nur erreicht werden, wenn Kälber und Jungrinder optimal aufgezogen werden und ein Erstkalbealter von circa 24 Monaten erreichen. Denn nur mit diesem Erstkalbealter lässt sich aus ökonomischer Sicht die unproduktive und kostenintensive Phase der Kälber- und Jungrinderaufzucht so kurz wie möglich halten.

Dies gelingt jedoch recht selten, da in der Praxis das Erstkalbealter im Durchschnitt deutlich höher liegt. Als ein wesentlicher Grund kann hier die extensive Haltung der Jungrinder genannt werden, die im Sommer üblicherweise auf der Weide und im Winter in Stallhaltung durchgeführt wird. Eine weitere Ursache ist im geringen Ausbau von Herdenmanagementprogrammen zur Unterstützung operativer und analytischer Aufgaben zu sehen. Denn gerade in der Jungrinderaufzucht spielt die Kontrolle und Steuerung der Entwicklung und darauf aufbauend der Fruchtbarkeit und Gesundheit der Tiere eine übergeordnete Rolle.

So sind Herdenmanagementprogramme im Bereich der Milchproduktion bereits standardmäßig eingeführt und werden inzwischen als unverzichtbar angesehen. Die Bedeutung der Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und Body Condition Score haben sich zur Unterstützung des Gesundheits- und Fruchtbarkeitsgeschehens seit langem bewährt. Da Herdenmanagementprogramme beim Jungrind nicht verfügbar oder nur schlecht ausgebaut sind, ist die Nutzung der genannten Merkmale in der Praxis sehr gering. Jedoch sind gerade diese in Bezug auf das Fütterungs- und Fruchtbarkeitsmanagement von großer Bedeutung.

Abgeleitet aus dieser kurz skizzierten Situation soll mit der vorliegenden Arbeit ein Beitrag zur besseren Überwachung der Jungrinderentwicklung erfolgen, da hierfür bisher die notwendigen Grundlagen für eine praktische Umsetzung fehlen.

Die Analysen basieren auf Messwerten für Körpermasse, Rückenfettdicke und der Beurteilung der Körperkondition mittels Body Condition Score, die im Wachstumsverlauf an weiblichen Jungrindern in einem Versuchszeitraum von zwei Jahren, einmal pro Monat unter Produktionsbedingungen, erfasst wurden.

Weiterhin wurde in diesem Versuchszeitraum an einer begrenzten Anzahl an Tieren, in einer gesonderten Messperiode von 14 Wochen, einmal wöchentlich Blut entnommen, welches auf das Gelbkörperhormon Progesteron untersucht wurde, um nähere Erkenntnisse über den Eintritt der Geschlechtsreife bzw. den Pubertätseintritt zu erlangen.

Im Einzelnen werden für die vorliegende Arbeit folgende Ziele formuliert:

- Entwicklung statistischer Modelle zur Abbildung der Merkmalsentwicklung und Quantifizierung tierindividueller Unterschiede,
- Untersuchung des Zusammenhanges der Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und Body Condition Score,
- Untersuchung des Pubertätseintrittes und dessen Zusammenhang zu den untersuchten Merkmalen,
- Vorhersage des Pubertätseintrittes mit Hilfe der einzelnen Merkmale oder Merkmalskombinationen, unter Nutzung statistischer Modelle.

Damit soll eine wichtige Basis für die Entwicklung von Managementprogrammen beim Jungrind geschaffen und mit den Untersuchungen zur Wahl des Auswertungsmodells, geeignete Modelle zur Quantifizierung des Wachstumsverlaufes bereit gestellt werden. Diese Modelle können später auf andere Datenbestände angewandt werden. Die mit den identifizierten Vorzugsmodellen erlangten Ergebnisse können Ausgangspunkt für die Entwicklung von Normkurven für das Jungrind sein.

2. Literaturübersicht

2.1 Wachstum und Entwicklung

Die folgenden Abschnitte sollen eine kurze Übersicht zum Thema Wachstum und Entwicklung von Jungrindern geben und die Bedeutung einer kontrollierten Jungrinderaufzucht hervorheben.

2.1.1 Definition des Wachstums

Das Wachstum ist ein außerordentlich komplexer Vorgang und eine wesentliche Eigenschaft des Lebens. In der Literatur wird der Begriff Wachstum häufig mit der intensiven Körpermasse- und Körpergrößenzunahme junger Tiere verbunden (FIEBIG 1991, SCHÖNMUTH und SEELAND 1994, WITTMANN 2000). Bereits 1929 wurde der Begriff durch KRONACHER geprägt, der Wachstum als Prozess der Zellvermehrung, -vergrößerung und -differenzierung definierte. Der individuelle Wachstumsverlauf eines Tieres und die zu erreichende Größe sind genetisch determiniert und unterscheiden sich deutlich zwischen Tierarten und Rassen (FIEBIG 1991, KARG 1994, WITTMANN 2000). Voraussetzung für das Wachstum ist ein Überwiegen der anabolen Prozesse. Das heißt, es besteht ein Nährstoffbedarf über den Erhaltungsbedarf hinaus, wodurch die Nährstoffzufuhr zum begrenzenden Faktor für das Wachstum wird (KARG 1994). Bei Nutztierassen ist das Wachstum hauptsächlich ein wirtschaftlich bedeutsames Merkmal, mit dem Futteraufnahme, Fütterungseffizienz, Fettaufbau, Muskelentwicklung, Knochenlänge sowie der Reifegrad und die Körperkondition verbunden sind (SCHAEFFER 2004).

SWANSON (1967) definierte das Wachstum speziell für Färsen zum einen als Zunahme der Körpergröße und der Körpermasse und zum anderen als Ausreifung des reproduktiven Systems. So verstand er unter einer optimalen Entwicklung von Jungrindern bzw. Färsen, das Laktationspotential zu einem bestimmten Alter mit einem Minimum an Aufwand voll zu entwickeln.

2.1.2 Wachstumsphasen

Grundsätzlich kann das Wachstum in eine pränatale und postnatale Phase eingeteilt werden. Da im Allgemeinen ein für die Nachzucht zu nutzendes weibliches Jungrind ein Tier nach dem Absetzen ab ca. 150 kg Lebendmasse bis hin zur ersten Kalbung ist (KIRCHGEßNER 2004, S. 400; DROCHNER 2008), wird im Weiteren ausschließlich die postnatale Entwicklung betrachtet. Diese Phase kann nach SCHÖNMUTH und SEELAND (1994) in drei weitere Abschnitte gegliedert werden. Das Jugendstadium umfasst den

Zeitraum ab der Geburt des Kalbes bis zum Beginn der Geschlechtsreife. Dem schließt sich die Reifungsphase an, die von der Geschlechtsreife über die Zuchtreife bis hin zur vollen Entwicklung des Tieres reicht. Mit Beendigung der Reifungsphase geht der Organismus in das Altern über. Die Proteinbiosyntheserate sinkt erheblich und die anabolen unterliegen den katabolen Stoffwechselprozessen.

Ein intensives Wachstum des Tieres findet hauptsächlich im Jugendstadium statt, welches gegen Ende der Reifungsphase zum Erliegen kommt. Sowohl nach FIEBIG (1991) als auch nach SCHÖNMUTH und SEELAND (1994) kann für das Jugendstadium eine weitere Unterteilung vorgenommen werden. So folgt auf eine intensive Zellvermehrung ein Gleichgewicht zwischen Zellvermehrung und Zellvergrößerung, welches später ausschließlich aus Zellvergrößerung besteht. Das bedeutet jedoch nicht, dass das Zellteilungspotential erlischt, sondern es kommt zu einer Balance zwischen Zellerneuerung und Zelltod (FIEBIG 1991).

Außerdem verläuft das Wachstum des Rindes nicht gleichmäßig sowohl das körperliche als auch das organische Wachstum erfolgen allometrisch. Für das Körperwachstum bedeutet das, dass im ersten Lebensjahr das Höhenwachstum und im zweiten Lebensjahr das Längen- und Breitenwachstum im Vordergrund stehen. Dem schließt sich die Vergrößerung der Breiten- und Tiefenmaße des Brustkorbes an (WITTMANN 2000). Als Beispiel für die organische Entwicklung kann die Ausreifung der Geschlechtsorgane genannt werden, die erst relativ spät ihre Funktionsfähigkeit erreichen.

Allgemein gültig für alle tierischen Zellen, Gewebe und Organe ist jedoch eine exponentielle Wachstumskurve (WITTMANN 2000). Diese nichtlineare Merkmalsentwicklung hat Konsequenzen für die in der vorliegenden Arbeit zu verwendende Methodik. Die spezielle Thematik der Wachstumskurven wird in Abschnitt 2.3 näher erläutert.

2.1.3 Geschlechts- und Zuchtreife

Ein weiteres wichtiges Ereignis in der Entwicklung von weiblichen Jungrindern ist das Erreichen der Geschlechts- und Zuchtreife. Zur Geschlechtsreife, die in der Literatur oft mit dem Begriff der Pubertät gleichgesetzt wird, gibt es zahlreiche Definitionen. Am gebräuchlichsten wird sie als Abschluss eines Reifungsprozesses definiert, der zur vollen Funktionsfähigkeit der primären und sekundären Geschlechtsorgane führt. Dies hat die Ausprägung der somatischen Sexualmerkmale und der geschlechtsspezifischen Verhaltensformen zur Folge. Das Erlangen der Geschlechtsreife bzw. der Pubertät ist kein Ereignis, das plötzlich eintritt und sofort abgeschlossen ist. Es ist ein langsamer Prozess, der bereits pränatal beginnt und über das Erlangen der Pubertät hinausgeht (DÖCKE 1994).

Wie von verschiedenen Autoren beschrieben, sind die meisten Sexualhormone bereits kurz nach der Geburt des Kalbes aktiv (DESJARDINS and HAFS 1968, DODSON et al. 1988, EVANS et al. 1994, NAKADA et al. 2000). So kommt es lange vor dem Eintritt in die Pubertät zu einem wellenförmigen Follikelwachstum am Ovar des Jungtieres (HOPPER et al. 1993, ADAMS et al. 1994, EVANS et al. 1994). In diesen präpubertären Follikeln werden, wie beim ausgereiften weiblichen Tier, nur in geringeren Konzentrationen Gonadenhormone, insbesondere Östrogene, gebildet. Infolge des in der präpubertären Phase ausschließlich vorherrschenden negativen Feedback-Mechanismus, führt ein Anstieg der Östradiolkonzentration in den reifenden Follikeln zu einer Hemmung der Gonadotropin Releasing Hormon (GnRH)-Sekretion im Hypothalamus. Daraus resultiert eine Reduzierung der Freisetzung des follikelstimulierenden Hormons (FSH) aus der Hypophyse, wodurch die Follikel am Ovar nicht ausreifen können und zurückgebildet werden.

Zum Beginn der Pubertät benötigt es physiologisch zunächst die Entwicklung spezifischer hypothalamischer Neurone, die in die Lage versetzt werden müssen GnRH in ausreichender Menge und Pulsfrequenz zu sezernieren. Die Ausreifung dieser spezifischen Neurone wird durch die Relation der Körperoberfläche zum Körpergewicht, der Umwelt und dem Genotyp des Tieres beeinflusst (MEINECKE 2000). Weiterhin kommt es mit dem Herannahen der Pubertät zu einer Desensibilisierung des Hypothalamus gegenüber dem negativen Feedback der gonadalen Hormone. Somit ist eine höhere Konzentration an Östrogen notwendig, um die GnRH-Sekretion zu mindern. Das Ergebnis der Desensibilisierung des Hypothalamus, in Verbindung mit der Ausreifung der hypothalamischen Neurone, ist eine Erhöhung der synthetisierten GnRH-Menge und gleichzeitig eine Erhöhung der Pulsfrequenz. Daraus folgt, dass der für die Ausreifung der Keimdrüsenfunktion notwendige Anstieg der Gonadotropinsekretion, insbesondere der luteinisierenden Hormon (LH)-Sekretion, ausgelöst werden kann. Ursache für die Desensibilisierung ist nach Aussage von DÖCKE (1994) der ansteigende Östradiolspiegel selbst, der die Empfindlichkeit gegenüber seinem eigenen Gonadotropin-hemmenden Effekt (vor allem LH) zunehmend verringert. Eine Erhöhung der GnRH-Pulsfrequenz bewirkt in der peripubertalen Phase zunächst eine gesteigerte Sekretion von FSH durch die Hypophyse, was zu einem stärkeren Follikelwachstum führt. In dieser Phase ist die LH-Sekretion noch auf einem mittlern Niveau. Gleichzeitig führt das GnRH zu einer Induktion seiner eigenen Rezeptoren in den Zellen des Hypophysenvorderlappens, so dass die Antwortkapazität der gonadotropen Zellen auf die zunehmenden GnRH-Pulse gesteigert werden kann. Das von den heranreifenden Follikeln gebildete Östrogen erhöht fortschreitend, über ein positives Feedback, die sekretorische LH-Antwort auf die GnRH-Pulse. Das ebenfalls von den Follikeln produzierte Inhibin reduziert außerdem zunehmend

die FSH-Antwort auf die GnRH-Pulse durch negative Feedback Mechanismen. Die Ausreifung der eben beschriebenen Peptid-Steroidhormon-Wechselwirkung wird zusätzlich durch eine Veränderung der LH-Moleküle in ihrer Glykosylierung begleitet, wodurch diese biologisch potenter werden und folglich die erste Ovulation auslösen können (DÖCKE 1994, MEINECKE 2000). Erst nachdem die erste Ovulation abgeschlossen ist, bildet sich aus der Follikelhöhle ein Gelbkörper, der beginnt das Hormon Progesteron (P4) zu produzieren. Aufgrund dessen kann mit dem Nachweis des Hormons Progesteron oberhalb einer bestimmten Konzentrationsgrenze im Blut, eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Pubertät bereits eingetreten ist oder nicht. Die Konzentrationsgrenze wird in der Literatur häufig mit 1 bzw. 2 ng/ml angegeben. So ist die Pubertät eingetreten, wenn zwei aufeinanderfolgende Blutproben eine P4-Konzentration von über 1 ng/ml aufweisen oder die Konzentration einer Blutprobe 2 ng/ml überschreitet (DAY et al. 1984, GLASSER et al. 2006).

Mit dem Auftreten der ersten Ovulation sind Jungrinder rein physiologisch gesehen in der Lage sich zu reproduzieren. Körperlich sind die Tiere jedoch zu diesem Zeitpunkt für eine Trächtigkeit nicht ausreichend entwickelt. Aufgrund dieser Tatsache wird bei landwirtschaftlichen Nutztieren zwischen Geschlechts- und Zuchtreife unterschieden. Nach ERNST und KALM (1994, S. 29) ist die Zuchtreife das Entwicklungsstadium, in dem neben der Fortpflanzungsfähigkeit auch die notwendige körperliche Entwicklung gegeben ist. SCHNURRBUSCH und VOGLER (2005, S. 70) definieren die Zuchtreife weiterhin als Zeitpunkt, zu dem die Funktion der Genitalorgane stabilisiert ist, so dass eine volle, für die jeweilige Spezies typische Reproduktionsleistung erwartet werden kann. Werden die Tiere zu früh belegt, kann dies sowohl zu verminderten Wachstumsleistungen als auch zu geringeren Milchleistungen in der ersten Laktation führen (BRECHTOLD und RÜSCH 1999). Auf den oben beschriebenen Prozess nehmen zahlreiche Faktoren Einfluss, die das Ereignis des Eintrittes in die Geschlechtsreife verzögern aber auch beschleunigen können. Da vom Eintritt der Geschlechtsreife das Erstbesamungsalter und folglich auch das spätere Erstkalbealter abhängen, kommt diesem eine besondere Bedeutung im Fruchtbarkeitsmanagement zu.

2.1.4 Aufzuchttempfehlung

Das Hauptziel der Jungrinderaufzucht ist die Produktion gesunder und fruchtbarer Jungtiere mit hohem Milchleistungspotential (DROCHNER 2008). Die Schwierigkeit in dieser Phase besteht darin, die optimale Versorgung der Tiere zu gewährleisten und sowohl Unterernährung als auch Überernährung zu vermeiden.

Der Erhaltungsbedarf wachsender Jungrinder beträgt $0.53 \text{ MJ ME LM}^{0.75}$ pro Tag, zu dem je nach Bewegungsaktivität noch Zuschläge notwendig sind (PRIES und VELIK 2008). Da

die Zunahmen in der Rinderaufzucht nicht zu hoch sein dürfen, ist der Anteil des Erhaltungsbedarfs mit ca. 70 % am Gesamtbedarf relativ hoch (DROCHNER 2008). Beim Proteinbedarf steht vor allem die Versorgung der Pansenmikroben mit Rohprotein im Vordergrund, das während der gesamten Aufzuchtphase an die Energiezufuhr zu koppeln ist (KIRCHGEßNER 2004, S. 404). So werden 12 g Rohprotein/MJ ME in der Ration als ausreichend angesehen (KIRCHGEßNER 2004, S. 404; DROCHNER 2008). Bei der Versorgung mit Mineralstoffen ist vor allem auf Kalzium, Phosphor, Magnesium und Natrium zu achten. Nach ANACKER et al. (2009) sind besonders Gräser und ihre Konservate natriumarm, Maissilagen weisen geringe Kalziumgehalte und trockengewachsenes Futter niedrige Phosphorgehalte auf. Mit Mineralstoffmischungen muss daher der Mineralstoff-, Spurenelement- und Vitaminbedarf der Tiere ausreichend gedeckt werden.

Da sich in der Jungrinderaufzucht meist ein extensives Haltungsverfahren durchgesetzt hat, werden Jungrinder im Allgemeinen ab dem sechsten Lebensmonat auf der Weide gehalten. Die Weide bietet nach DROCHNER (2008) eine ideale Basis für eine wiederkaugerechte, arbeitswirtschaftlich ökonomische und vollwertige Ernährung der Jungrinder. Mineralstoffmischungen müssen den Tieren jedoch zusätzlich angeboten werden. Im Winter wird überwiegend auf die Laufstallhaltung zurückgegriffen. Hier können nach KIRCHGEßNER (2004, S. 407) körnerreiche Silagen sowie gute Anwelksilagen aus frühzeitig geschnittenem Gras verfüttert werden.

Im ersten Lebensjahr ist die Fütterung vor allem auf die Gewichtsentwicklung der Tiere ausgerichtet. So sollten weibliche Jungrinder im zwölften Lebensmonat circa 50 % ihres Endgewichtes erreichen (KIRCHGEßNER 2004, S. 405; DROCHNER 2008).

Im zweiten Lebensjahr muss die Aufzuchtintensität verringert werden, um eine Verfettung der Tiere zu vermeiden, da sich mit steigender Zunahme und Lebendmasse der relative Fettanteil am Gesamtansatz erhöht (DROCHNER 2008). Bis zum Ende des zweiten Lebensjahres sollten rund 80 % des Endgewichtes erreicht sein.

Die in der Literatur angegebenen Aufzuchttempfehlungen für die einzelnen Lebensabschnitte, mit dem daraus resultierenden Erstkalbealter (EKA), sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Empfehlungen für die durchschnittliche tägliche Zunahme

Quelle	Altersabschnitt	tägliche Zunahme	EKA
KIRCHGEßNER (2004, S. 405)	1. Hälfte 1. Lebensjahr	750 g/Tag	25-27 Monate
	2. Hälfte 1. Lebensjahr	700 g/Tag	
	2. Lebensjahr	500-600 g/Tag	
DROCHNER (2008)	1. Lebensjahr	600-750 g/Tag	
	2. Lebensjahr	500-600 g/Tag	
SCHUSTER et al. (2008)	ab 3. LM -12 LM	800-850 g/Tag	26-27 Monate
	ab 12. LM	700-750 g/Tag	

LM = Lebensmonat, EKA = Erstkalbealter

Die angegebenen täglichen Zunahmen von KIRCHGEßNER (2004, S. 405) und DROCHNER (2008) variieren nur gering. Lediglich die Angaben von SCHUSTER et al. (2008) liegen um 100 bis 150 g höher.

Die Wichtigkeit der Einhaltung der in Tabelle 1 genannten Empfehlungen wird in zahlreichen Untersuchungen deutlich gemacht. Demnach hat sowohl eine hohe als auch eine niedrige Aufzuchtintensität einen negativen Einfluss auf die spätere Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit der Tiere.

2.1.5 Einflüsse auf das Wachstum und die Entwicklung

In der Literatur am häufigsten diskutiert wird der Zusammenhang zwischen der Aufzuchtintensität, dem Pubertätseintritt und der Milchleistung. Jedoch sind die gefundenen Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen, vor allem in Bezug auf die Milchleistung, sehr unterschiedlich.

HERMAN und RAGSDALE (1946) sowie SWANSON (1960) berichten schon sehr früh über eine unvollständige Euterentwicklung bei Färsen, deren Fütterung in der Aufzucht auf ein höheres Niveau gesteigert wurde. Einige Jahre später untersuchten SINHA und TUCKER (1969) die Euterentwicklung von Färsen und kamen zu dem Ergebnis, dass die Milchdrüse in den ersten Lebenswochen isometrisch, ab dem zweiten Lebensmonat zeitweise aber bis zu 3.5 mal schneller wächst, als der Rest des Körpers. Diese allometrische Wachstumsphase geht mit dem Einsetzen der Pubertät wieder in ein isometrisches Wachstum über. Das allometrische Wachstum der Milchdrüse setzt erst wieder zu Beginn der Trächtigkeit ein und endet kurz vor der Abkalbung.

Der negative Einfluss der Fütterungsintensität auf die Euterentwicklung wurde in mehreren Untersuchungen nachgewiesen (SWANSON 1960, SEJRSEN 1994, SEJRSEN and PURUP 1997, LAMMERS et al. 1999, RADCLIFF et al. 2000, ZANTON and HEINRICHS 2005, DAVIS RINCKER et al. 2008). Aus den einzelnen Arbeiten wird deutlich, dass sich dieser negative Einfluss auf die präpubertäre Phase beschränkt. SEJRSEN et al. (2000) fanden in ihrer Arbeit, dass das Wachstumshormon (Growth hormone) positiv mit dem

Euterwachstum korreliert. Die Blutkonzentration dieses Hormons war bei intensiv aufgezogenen Färsen reduziert.

In einer Studie von DAVIS RINCKER et al. (2008) hatten Färsen, die mit einer täglichen Zunahme von bis zu 1.2 kg aufgezogen wurden, eine reduzierte Proliferation der Epithelzellen im Euter, was letztlich in einer verminderten Masse an Parenchym im Euter resultierte. Bei LAMMERS et al. (1999) hatten Färsen mit einer hohen Aufzuchtintensität von 1.0 kg/Tag eine um 7.1 % verminderte Milchleistung für die fettkorrigierte Milchmenge. In einer Untersuchung von RADCLIFF et al. (2000) reduzierte sich die Milchleistung bei intensiv aufgezogenen Tieren sogar um bis zu 14 %. Auch VAN AMBURGH et al. (1998) und MÜLLER et al. (2005) fanden Unterschiede in der Milchleistung zwischen unterschiedlich intensiv aufgezogenen Tieren, jedoch konnten die Differenzen in beiden Untersuchungen nicht statistisch gesichert werden. In weiteren Untersuchungen wurde zwar ein negativer Effekt der Aufzuchtintensität auf die Euterentwicklung, vor allem durch vermehrte Fetteinlagerung, beobachtet, jedoch hatte dies keinen Einfluss auf die spätere Milchleistung (STELWAGEN and GRIEVE 1990, CAPUCO et al. 1995, MACDONALD et al. 2005). Auch andere Studien konnten keinen Einfluss der Fütterung auf die Euterentwicklung bzw. auf die Milchleistung finden (PIRLO et al. 1997, WALDO et al. 1997, ABENI et al. 2000, DANIELS et al. 2009).

Die Ursache für die zum Teil sehr großen Unterschiede der Untersuchungsergebnisse ist nicht bekannt. Dennoch wird vermutet, dass der Grund in den unterschiedlichen Aufzuchtintensitäten und Versuchszeiträumen zu suchen ist (SEJRSEN and PURUP 1997). Ein weiterer Einflussfaktor könnte ebenso die Zusammensetzung der Ration sein. So wurde beispielsweise nachgewiesen, dass eine Erhöhung des Proteineinsatzes in einer intensiven Ration den negativen Einfluss auf die Euterentwicklung mindern kann (CAPUCO et al. 1995).

Wie bereits erwähnt, hat die Aufzuchtintensität weiterhin einen Einfluss auf die Fruchtbarkeit der Tiere. In zahlreichen Arbeiten konnte bestätigt werden, dass eine hohe Ernährungsintensität den Pubertätseintritt beschleunigen und damit einen positiven Einfluss auf das Erstkalbealter haben kann. So erreichten Färsen in einer Untersuchung von LAMMERS et al. (1999) mit einer täglichen Zunahme von 1.0 kg die Pubertät 32 Tage eher, und damit signifikant früher, als die Kontrollgruppe, die mit 0.7 kg/Tag aufgezogen wurde. Auch in einer Untersuchung von RADCLIFF et al. (2000) waren Färsen mit einer hohen Ernährungsintensität von 1.2 kg/Tag 90 Tage jünger zum Pubertätseintritt, als die Vergleichsgruppe mit niedrigeren Zunahmen pro Tag. In vielen weiteren Untersuchungen wurde der Zusammenhang zwischen der täglichen Zunahme und dem Pubertätseintritt bestätigt. Ein Überblick ausgewählter Ergebnisse anderer Autoren ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Literaturergebnisse zum Einfluss der Fütterung auf den Pubertätseintritt

Quelle	Versuchs- zeitraum	tägliche Zunahme in kg/d	Besonder- heit	Alter in Tagen	Körpermasse in kg
STELWAGEN und GRIEVE (1990)	ab 8. Lebensmonat	0.611		365	284.9
		0.737		313	283.7
		0.903		305	298.0
CAPUCO et al. (1995)	ab 175 kg	0.725	Luzernen- silage	355	276.0
		0.950		342	284.0
		0.725	Kornsilage	338	267.0
0.950	325	287.0			
NIEZEN et al. (1996)	Pd1: 118 kg bis 200 kg	Pd1: 0.700,		344	291.1
		Pd2: 0.700			
	Pd1: 0.700, Pd2: >1.000		306	290.5	
	Pd2: 200 kg bis 3. Lutealphase	Pd1: >1.000,		310	274.3
		Pd2: 0.700			
		Pd1: >1.000, Pd2: >1.000		279	294.6
WALDO et al. (1997)	von 175 kg bis 325 kg	0.793	Luzernen- silage	352	275.0
		0.992		346	286.0
		0.776	Kornsilage	353	277.0
0.997	320	284.0			
CHELIKANI et al. (2003)	ab 100 kg	0.500		ca. 487	316.2
		0.800		ca.335	282.4
		1.100		ca. 274	281.6

Pd = Periode

Den in Tabelle 2 zusammengestellten Untersuchungen ist zu entnehmen, dass das Alter zum Pubertätseintritt bedeutsam durch das Fütterungsregime beeinflusst werden kann. Im Gegensatz dazu blieb das Pubertätsgewicht unbeeinflusst und unterschied sich nicht zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen. Dies bestätigt die Vermutung, dass der Eintritt in die Pubertät gewichtsdeterminiert ist (MOURITS et al. 1999).

Das Problem eines zu frühen Eintrittes der Pubertät bzw. der ersten Brunst ist jedoch, dass bis zur ersten Besamung eine höhere Anzahl Brunstzyklen durchlaufen werden. Dies kann vermehrt zu zystösen Veränderungen am Ovar und folglich zu einem schlechteren Erstbesamungserfolg führen (KIRCHGEßNER 2004, S. 401; DROCHNER 2008). Ebenso wird in der Literatur über eine Verfettung der Geburtswege infolge einer hohen Aufzuchtintensität im Jugendstadium berichtet, wodurch es bei der Geburt des Kalbes vermehrt zu Schwierigkeiten kommen kann (DROCHNER 2008).

Weiterhin hatten in einer Arbeit von LACASSE et al. (1993) intensiv gefütterte Färsen eine signifikant längere Zeitspanne bis zur ersten beobachteten Brunst post partum gegenüber der moderat gefütterten Vergleichsgruppe.

Es konnten jedoch nicht nur negative Einflüsse einer intensiven Fütterung in der Literatur gefunden werden. Auch eine zu extensive Fütterung wirkt sich negativ auf die Entwicklung und Fruchtbarkeit der Tiere aus. Untergewichtige Tiere haben eine verzögerte Entwicklung, wodurch sich das Alter zur Geschlechtsreife und daraus resultierend auch das Erstkalbealter erhöhen kann (KIRCHGEßNER 2004, S. 401).

Wachstum und Entwicklung werden nicht nur durch die Fütterung beeinflusst, auch wenn dies der wichtigste Einflussfaktor ist. Ebenso können saisonale Effekte Auswirkungen auf die Entwicklung der Tiere haben. Das betrifft beispielsweise die Geburtssaison oder die Tageslichtlänge. So wurden in Untersuchungen mit variablen Licht:Dunkel-Verhältnissen, mit einem Verhältnis von 16 Stunden Licht zu 8 Stunden Dunkel, die Wachstumsraten stimuliert, die Fütterungseffizienz gesteigert und der Eintritt der Geschlechtsreife vorverlegt (PETITCLERC et al. 1983, RINGUET et al. 1994, RIUS et al. 2005).

Die kurze Einführung in die Entwicklung und Aufzucht von Jungrindern hat die Wichtigkeit einer kontrollierten und gesteuerten Jungrinderaufzucht verdeutlicht. Aus diesem Grund werden im nächsten Abschnitt Möglichkeiten zur Kontrolle bzw. Beurteilung der Entwicklung von Jungrindern beschrieben.

2.2 Methoden zur Beurteilung der Körperentwicklung

Bisher wurden die wichtigsten Einflussfaktoren auf das Wachstum und die Entwicklung weiblicher Jungrinder sowie deren Zusammenhang zur Fruchtbarkeit und Milchleistung beschrieben. Hieraus wird im Interesse einer gezielten Beeinflussung von Fruchtbarkeit und Leistung die Notwendigkeit einer Beurteilung der Körperentwicklung deutlich. Aus diesem Grund sollen im Folgenden die wichtigsten Methoden beschrieben werden.

2.2.1 Bestimmung der Körpermasse

Die Bestimmung der Körpermasse, hier im Sinne der Körpermassewägung, ist wohl die am häufigsten durchgeführte Methode zur Beurteilung der Körperentwicklung von Tieren. Nach DINGWELL et al. (2006) ist die Lebendmassewägung die einfachste und genaueste Methode, um die Entwicklung von Jungrindern zu charakterisieren. Hier werden vor allem Protein- und Fettreserven sowie Körperwasser erfasst. Nachteil der Methode ist nach SCHRÖDER (2000), dass sich die relativen Anteile von Protein, Fett und Wasser, und somit auch der Energiegehalt pro kg Lebendmasse, sowohl beim wachsenden als auch beim adulten Rind verändern und damit einer großen Variation unterliegen. In einer Untersuchung von KLAUHN und STAUFENBIEL (1997) zeigte sich, dass in den ersten Lebensmonaten der Lebendmassezuwachs in erster Linie aus dem Anstieg an Protein- und Aschegehalt sowie dem dazugehörigen Körperwasseräquivalent resultiert. Erst ab dem neunten Lebensmonat erfolgte ein steilerer Anstieg des Körperfettgehaltes, der letztlich den Protein- und Aschegehalt in seinem Umfang übertraf. Weiterhin wird die Lebendmasse durch den Inhalt des Verdauungstraktes beeinflusst und ist damit abhängig von der Trockenmasseaufnahme und der Fütterungszeit (SCHRÖDER and STAUFENBIEL 2006). Auch wechselnde Organmassen und das zunehmende Gewicht des Fötus trächtiger Färsen können die Lebendmasse verfälschen (SCHRÖDER 2000). Die Lebendmasse muss nach SCHRÖDER und STAUFENBIEL (2006) darüber hinaus immer in Relation zur Rahmengröße gesehen werden. Denn nur so kann ein großes, mageres Tier von einem kleinen, fetten Tier unterschieden werden (SCHRÖDER 2000). Ein weiterer Nachteil ist in den hohen Anschaffungskosten der Wägeeinrichtung und dem hohen Zeitaufwand für den Wiegevorgang selbst zu sehen. Nach SCHÖNMUTH und SEELAND (1994) reicht die Körpermasse allein nicht zur Charakterisierung des Wachstums aus. Dennoch ist das Wiegen der Tiere in wissenschaftlichen Untersuchungen die wohl am häufigsten genutzte Methode, um die Körperentwicklung vor allem im Kälber- und Jungrinderbereich einzuschätzen.

2.2.2 Bestimmung der Rückenfettdicke

Eine weitere Möglichkeit die Entwicklung von Jungrindern zu charakterisieren ist die Messung der Rückenfettdicke mittels Ultraschall. In vielen Milchkuhherden ist diese Methode im Herdenmanagement zur Kontrolle der Körperenergieserven während der frühen Laktation bereits etabliert.

Als Rückenfettdicke wird die subkutane Fettschicht bezeichnet, die von der Haut und der *Fascia trunci profunda*, welche sich über dem *Musculus gluteus medius* und *Musculus longissimus dorsi* befindet, begrenzt wird (SCHRÖDER and STAUFENBIEL 2006). Gemessen wird die Rückenfettdicke am Tier auf einer gedachten Linie zwischen dem oberen Bereich des Hüfthöckers und dem dorsalen Teil des Sitzbeinhöckers, im kaudalen Drittel der Linie (KLAWUHN und STAUFENBIEL 1997, SCHRÖDER and STAUFENBIEL 2006). Zum besseren Verständnis wird in Abbildung 1 die gedachte Linie am Tier schematisch dargestellt.

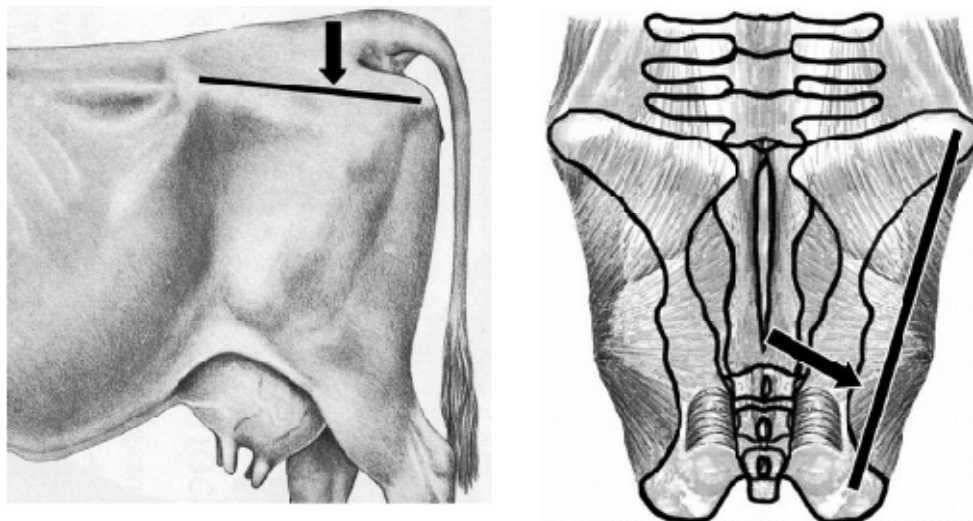


Abbildung 1: Messpunkt für die Rückenfettdicke nach SCHRÖDER und STAUFENBIEL (2006)

KLAWUHN und STAUFENBIEL (1997) beurteilen die Rückenfettdicke als einfach zu erlernende und objektive Methode zur Beurteilung des Körperfettgehaltes beim Rind. In ihrer Arbeit geben sie an, dass eine Änderung der Rückenfettdicke um 1 mm einer Zunahme bzw. Abnahme des Körperfettgehaltes von 5 kg bei einem ausgewachsenen Rind entspricht. Jedoch geht aus ihrer Arbeit hervor, dass bei Jungtieren bis zum neunten Lebensmonat kaum Unterhautfettgewebe vorhanden ist. Erst mit dem Einsetzen der Eierstockfunktion konnte ein etwas steilerer Anstieg im Körperfettgehalt der Tiere festgestellt werden. Eine typische Rückenfettdicke wird erst mit circa zwölf Monaten ausgebildet. In einer Untersuchung von WIEDEMANN (1989) wurde bei restriktiv gefütterten Tieren erst ab dem 14. Lebensmonat eine Fettauflage im Brustbereich beobachtet. Weitere Ergebnisse zur Rückenfettdicke weiblicher Jungrinder konnten in der Literatur bisher nicht nachgewiesen werden.

2.2.3 Body Condition Scoring

Die Beurteilung der Körperkondition von landwirtschaftlichen Nutztieren wird häufig mit Hilfe des Body Condition Scores (BCS) durchgeführt. Der BCS ist eine subjektive Methode zur Beurteilung der metabolisierbaren Energiereserven am lebenden Tier (EDMONSON et al. 1989, BEWLEY and SCHUTZ 2008). Dabei wird meist die Abdeckung der Knochenvorsprünge mit Muskel- und Fettgewebe im Bereich der Lendenwirbelsäule, des Beckens und des Schwanzansatzes visuell oder palpatorisch beurteilt (KLEIBÖHMER et al. 1998). In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl an BCS-Systemen entwickelt.

Der Literatur zufolge wurde das erste BCS-System von JEFFERIES (1961) zur Beurteilung von Mutterschafen mit einer Skala von 0 bis 5 und einer Abstufung von 0.5 Punkten erarbeitet. LOWMAN et al. (1976) modifizierte dieses System später für Fleischrinder. Die Einführung des BCS bei Milchkühen erfolgte später durch MULVANY (1981). Die ersten BCS-Systeme basierten ausschließlich auf der Palpation bestimmter Körperregionen, die sich auf Lenden-, Becken- und Schwanzwurzelbereich beschränkten. EDMONSON et al. (1989) entwickelten ein System, in dem die Beurteilung verschiedener Körperregionen rein visuell mit einer Benotung von 1 bis 5 und einer Abstufung von 0.25 erfolgte. Benotet wurden folgende Bereiche des Körpers:

- Dornfortsätze der Lendenwirbelsäule,
- Verbindungslinie zwischen Dorn- und Querfortsätzen,
- Querfortsätze der Lendenwirbel,
- überstehender Teil der Lendenwirbelquerfortsätze,
- Hüft- und Sitzbeinhöcker,
- Bereich zwischen den Hüft- und Sitzbeinhöckern,
- Bereich zwischen den Hüfthöckern,
- Schwanzwurzel und Sitzbeinhöcker.

Dazu wurde eine Grafik erstellt, in der die Bewertung der einzelnen Stellen genauestens dokumentiert wurde. In der Literatur sind jedoch auch BCS-Systeme mit anderen Bewertungsskalen zu finden. LASSEN et al. (2003) arbeiten in Dänemark mit einer Punkteskala von 1 bis 9. In Australien und Neuseeland wird die Körperkondition zum Beispiel mit einer 8 oder 10 Punkteskala bewertet (ROCHE et al. 2009).

Eine Untersuchung zur Wiederholbarkeit des BCS erfolgte in zahlreichen Arbeiten (EDMONSON et al. 1989, FERGUSON et al. 1994, DOMECCQ et al. 1995, KLEIBÖHMER et al. 1998, KRISTENSEN et al. 2006). EDMONSON et al. (1989) fanden lediglich eine geringe Varianz in der BCS-Bewertung zwischen verschiedenen Personen. Im Gegensatz dazu gab es in einer Untersuchung von FERGUSON et al. (1994) nur eine Übereinstimmung von 58.1 % zwischen den einzelnen Beurteilern. Weitere 32.6 % wichen jedoch nur um 0.25

Punkte ab. Bei zwei aufeinanderfolgenden Bewertungen einer Person wurde in 40 % aller Beobachtungen um 0.25 unter- bzw. überbewertet. Weiterhin schlussfolgerten FERGUSON et al. (1994) aus ihren Ergebnissen, dass eine Bewertung nur zwischen 2.5 und 4.0 in 0.25er Schritten sinnvoll ist. Ansonsten wird eine Abstufung von 0.5 Punkten als ausreichend betrachtet. KLEIBÖHMER et al. (1998) kommen in ihrer Untersuchung zu dem Schluss, dass selbst relativ unerfahrene Personen nach eintägiger Einweisung in der Lage sind die Beurteilung der Körperkondition gut reproduzierbar durchzuführen. DOMECCO et al. (1995) validierten in ihrer Untersuchung den BCS mit Hilfe von Ultraschallmessungen des subkutanen Fettes und fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen Ultraschallmessung und BCS. Dabei kamen sie letztlich zu dem Ergebnis, dass der BCS ebenso gültig für die Beurteilung des subkutanen Fettes ist, wie die Ultraschallmessung. Für Kälber und Jungrinder wurde in der Literatur bisher nur ein Nachweis für die Anwendung eines BCS-Schemas gefunden. RASCHKE (2007) erweiterte mit dem Bereich der seitlichen Brustwand das Schema nach EDMONSON et al. (1989) um eine Körperstelle. Sie gibt schlussfolgernd an, dass das Bewertungsschema auch für Kälber herangezogen werden kann, die palpatorische Vorgehensweise jedoch unumgänglich ist.

2.2.4 Weitere Methoden

Weitere wichtige Merkmale zur Beschreibung der Körperentwicklung sind unter anderem die Messung des Brustumfanges, der Widerristhöhe und der Kreuzbeinhöhe.

Die Messung des Brustumfanges gilt als Alternative zur Lebendmassewägung und kann mittels sogenannter Gewichtsmaßbänder durchgeführt werden. Das Gewichtsmaßband wird dabei direkt hinter den Vordergliedmaßen um das Tier gelegt und der Brustumfang bzw. bei manchen Bändern direkt die Körpermasse abgelesen. In einer Vielzahl von Untersuchungen wurde die starke Abhängigkeit von Körpermasse und Brustumfang bestätigt (HEINRICHS et al. 1992, KOENEN and GROEN 1998, DINGWELL et al. 2006). ENEVOLDSEN und KRISTENSEN (1997) geben jedoch an, dass die Messung am Tier teilweise schwierig durchzuführen ist und die Genauigkeit der Messung durch die Positionierung des Maßbandes negativ beeinflusst werden kann. Auch DINGWELL et al. (2006) bestätigt diese Aussage. Die Anwendung des Maßbandes ist in vielen Fällen umständlich, zeitaufwändig und teils sehr gefährlich, da direkt am Tier gearbeitet werden muss.

Widerrist- und Kreuzbeinhöhe werden mittels Messstab am Tier gemessen. Ebenso wie die Lebendmassewägung, ist auch die Messung der Widerristhöhe eine der häufig angewandten Methoden, um das Wachstum von Jungtieren zu quantifizieren (HEINRICHS et al. 1992).

2.3 Modellierung des Wachstums

Die Veränderung der im Abschnitt 2.2 beschriebenen Merkmale, wie beispielweise Körpermasse oder Körpergröße in Abhängigkeit der Zeit bzw. des Alters der Tiere, kann mit Hilfe von Wachstumsfunktionen dargestellt werden. Die Untersuchungen zur Modellierung des Wachstums basieren in der Literatur vorwiegend auf der Beschreibung der Körpermasseveränderung. Genutzt werden dazu vor allem nichtlineare und lineare gemischte Modelle.

Als nichtlineare Modelle werden hauptsächlich die dreiparametrischen Funktionen nach Bertalanffy, Brody, Gompertz und die logistische Funktion sowie als vierparametrische Funktion die Richards-Funktion genannt. Sie stehen in Beziehung mit dem physiologischen Mechanismus und beschreiben die vollentwickelte Körpermasse sowie den Reifungsgrad in ihren Parametern, weswegen sie biologisch gut zu interpretieren sind (DE BEHR et al. 2001). Ein Vergleich der verschiedenen Funktionen untereinander, im Hinblick auf die biologische Interpretierbarkeit der Parameter, Anpassungsgüte und rechentechnische Umsetzbarkeit, erfolgte in mehreren Untersuchungen (BROWN et al. 1976, FITZHUGH 1976, DENISE and BRINKS 1985, PEROTTO et al. 1992, FORNI et al. 2009). Dabei kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Richards-Funktion die Daten am besten anpasste, jedoch war die rechentechnische Umsetzung schwieriger als bei den anderen Funktionen. Dennoch findet auch die Gompertz-Funktion noch häufig Anwendung zur Erstellung von Wachstumskurven (KRATOCHVÍLOVÁ et al. 2002, AKBAS et al. 2006). Ein großer Nachteil der oben genannten Funktionen besteht jedoch darin, dass die Einbeziehung weiterer Effekte schwierig umzusetzen ist. Auch die Berücksichtigung wiederholter Beobachtungen pro Tier und Verwandtschaftsinformationen ist schwer zu realisieren (ALBUQUERQUE and MEYER 2001).

Aus diesem Grund haben sich insbesondere für die Modellierung des Wachstums, unter Berücksichtigung genetischer Effekte und Umwelteffekte, Random Regression Modelle (RRM), die der Klasse der linearen gemischten Modelle angehören, weitgehend durchgesetzt. Bei diesen Modellen kann sowohl der Verlauf der Population als auch der Verlauf jedes zufälligen Effektes, als eine Funktion des Alters, modelliert werden (ALBUQUERQUE and MEYER 2001). ROBERT-GRANIÉ et al. (2002) beschreiben das mittlere Wachstum von Maine-Anjou Fleischrindern mit Hilfe einer Regression dritter Ordnung. Ähnlich verfahren auch COFFEY et al. (2006), die Polynome dritten Grades zur Beschreibung der Gesamtentwicklung des Wachstums von Holstein Friesian Rindern ab Geburt bis zur ersten Kalbung in Abhängigkeit des Lebensstages nutzten. Die Berechnung der tierindividuellen Abweichungen von der Entwicklung des Bestandes erfolgte mit Hilfe zufälliger Regressionskoeffizienten unter Verwendung von Polynomen vierter Ordnung.

Als eine weitere Möglichkeit der Modellierung des Wachstums von Rindern können Splines genannt werden. Sie gehören ebenfalls in die Klasse der Polynome und stellen eine stückweise Zusammensetzung von Polynomen unterschiedlicher Ordnung dar. Die Anknüpfungspunkte zwischen den verschiedenen Polynomen werden als Knoten bzw. Knotenpunkte bezeichnet (MEYER 2005). So untersuchte MEYER (2005) 13 verschiedene Modelle mit linearen, quadratischen und kubischen Splines, mit bis zu sechs Knoten, zur Modellierung des Wachstums von Australian Angus Rindern. Sie wählte ein Modell mit quadratischen B-Splines, fünf Knoten sowie 91 Kovarianzkomponenten und kommt zu dem Schluss, dass Splines eine nutzbare Alternative zu normalen Polynomen darstellen und sehr gut geeignet sind, um die Schwankungen in den Wachstumskurven von Fleischrindern zu beschreiben. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch BALDI et al. (2010), indem sie B-Splines und Polynome vergleichen. Sie kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass B-Splines die Körpermassedaten von Canchim Rindern besser anpassen und wählen aus diesem Grund ein Modell mit quadratischen B-Splines und vier Knoten.

Abschließend muss erwähnt werden, dass in der aufgeführten Literatur meist die Schätzung von genetischen Parametern im Vordergrund der Arbeiten stand. Demgegenüber liegt der Schwerpunkt in der vorliegenden Arbeit in der Modellierung auf der Ebene von Managementeinheiten. Auf dieser Ebene ist wegen der vergleichsweise begrenzten Tierzahl die Beachtung genetischer Effekte nicht sinnvoll.

2.4 Zusammenfassung der Literaturübersicht

Anhand der Literaturübersicht konnte die Wichtigkeit einer kontrollierten Jungrinderaufzucht noch einmal deutlich zum Ausdruck gebracht werden.

Vor allem die Fütterung hat einen bedeutsamen Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung. Speziell im Hinblick auf die Euterentwicklung und die spätere Milchleistung, aber auch auf den Eintritt in die Pubertät, spielt die Fütterung beim weiblichen Jungrind eine übergeordnete Rolle. Für den Pubertätseintritt konnte gezeigt werden, dass fast alle Sexualhormone bereits kurz nach der Geburt aktiv sind und der Eintritt in die Pubertät kein plötzliches Ereignis, sondern ein langanhaltender Prozess ist. Der häufigste in der Literatur angewandte Nachweis zum Pubertätseintritt ist die Analyse des Gelbkörperhormons Progesteron, das erst mit Eintritt in die Geschlechtsreife von den Gonaden gebildet wird.

Im Hinblick auf eine gezielte Beeinflussung der Entwicklung der Tiere wurden verschiedene Methoden zur Beurteilung der Körperentwicklung vorgestellt. Problem dieser Methoden ist vor allem der hohe Zeitaufwand, weshalb häufig keine kontinuierliche Merkmalerfassung erfolgen kann.

Jedoch können mit Hilfe statistischer Modelle Wachstumskurven modelliert werden, unter deren Verwendung es möglich ist, zu jedem Lebenstag einen Merkmalswert zu schätzen. Am häufigsten Anwendung finden in diesem Bereich nichtlineare und lineare gemischte Modelle. Die Vorteile der linearen gemischten Modelle wurden deutlich. Denn unter Verwendung dieser Modelle ist die Einbeziehung fester und zufälliger Effekte einfach umzusetzen und demzufolge besteht die Möglichkeit, bestandsspezifische und einzeltierspezifische Wachstumskurven zu erstellen.

3. Material und Methoden

Der Versuchszeitraum erstreckte sich von Januar 2010 bis einschließlich Februar 2012. Innerhalb der Untersuchung wurden Kälber und Jungrinder einmal im Monat gewogen, die Rückenfettdicke per Ultraschall gemessen und zusätzlich die Körperkondition der Tiere mittels Body Condition Score beurteilt.

3.1 Tiermaterial

Für die Untersuchung standen 487 weibliche Jungrinder der Rasse Holstein Friesian eines Färsenaufzuchtbetriebes in Nordthüringen zur Verfügung. Im Alter von etwa zwei Wochen werden die weiblichen Kälber vom Betrieb zugekauft, aufgezogen und circa sechs bis acht Wochen vor dem errechneten Kalbetermin an einen milcherzeugenden Betrieb verkauft.

In den Versuch einbezogen wurde jedes Kalb des Betriebes ab dem 100. Lebenstag. Nach einer positiv diagnostizierten Trächtigkeit, wurden die Tiere von der Untersuchung ausgeschlossen.

Haltung

Die Haltung der Kälber und Jungrinder findet ganzjährig in Stallhaltung statt. Der Betrieb ist in drei Gebäudekomplexe unterteilt. Die Kälber sind in einem Außenklimastall untergebracht und werden dort auf Stroh gehalten. In diesem Komplex befinden sich sechs Gruppen mit einer Gruppengröße zwischen 20 und 25 Tieren. Die Gruppenumstellung ist stärker an Widerristhöhe und Gewicht, als am Alter der Tiere orientiert.

Im zweiten Gebäudekomplex, einem Warmstall mit angrenzendem Auslauf auf Stroh, werden die Jungrinder auf Vollspaltenboden aufgezogen. Dieser Stall ist in zwei größere Gruppen aufgeteilt, deren Gruppengröße 30 bis 60 Tiere umfasst. Weiterhin ist in diesem Stall ein Deckbulle in einer separaten Box untergebracht.

Im dritten Gebäude, ebenfalls ein Warmstall mit Außenliegeboxen, befinden sich die tragenden Färsen. In diesem Bereich findet die Haltung der Tiere ausschließlich auf Vollspaltenboden statt.

Fütterung

Die Fütterung im Betrieb erfolgt in Abhängigkeit des Alters der Tiere. Ab der zweiten Lebenswoche stehen den Kälbern drei Kalttränkeautomaten zur Verfügung, zusätzlich wird diesen Tieren Heu angeboten. Grundsätzlich werden zwei totale Mischrationen hergestellt. Die Ration der Tiere im Alter von drei bis 13 Monaten beinhaltet neben der

Hauptkomponente Maissilage auch Grassilage, Rapsextraktionsschrot, Gerste und Mineralien. Jungrinder ab dem 13. Lebensmonat erhalten eine Ration, deren Hauptkomponente Grassilage ist und der zusätzlich noch Maissilage, Rapsextraktionsschrot und Mineralien beigemischt wird.

Gefüttert wird in den Morgenstunden gegen 7 Uhr, wobei das Futter zweimal täglich, 14 Uhr und 19 Uhr, vorgeschoben wird.

Brunstbeobachtung

Die Brunstbeobachtung wird viermal täglich vom Herdenmanager durchgeführt. Zusätzlich zur visuellen Brunstbeobachtung sind die Tiere mit Aktivitätssensoren der Firma DeLaval ausgestattet, die bei einer Aktivitätserhöhung einen Alarm im Managementprogramm ausgeben. Die Brunstbeobachtung findet jedoch unabhängig von den Alarmmeldungen des Managementprogrammes statt. Begonnen wird mit der Brunstbeobachtung etwa ab dem 200. Lebenstag. Auf folgende äußere Brunstanzeichen wird geachtet:

- gesteigerte Unruhe, Aufspringen auf Herdengenossinnen, vermehrte Lautäußerungen,
- Abgang von Brunstschleim, gerötete und geschwollene Schamlippen sowie
- Duldungsreflex.

Die visuell erfassten Brunstanzeichen werden im Betrieb mit Datum und Uhrzeit auf Karteikarten vermerkt. Besamt werden die Jungrinder gewichtorientiert ab einer Körpermasse von circa 400 kg. Das durchschnittliche Erstbesamungsalter im Betrieb beträgt 15.6 Monate. Eine Trächtigkeitsuntersuchung wird frühestens 32 Tage nach erfolgter Besamung durchgeführt. Ist ein Tier tragend, wird es zeitnah in die dafür vorgesehene Gruppe umgestallt.

3.2 Merkmalerfassung und Datenmaterial

Die Wiegung der Kälber und Jungrinder erfolgte mit einer fest im Stall installierten Waage der Firma DeLaval vom Typ AWS 100 mit integrierter Tiererkennung. Neben dem Aktivitätssensor war das Halsband der Tiere zusätzlich mit einem Transponder versehen. Jeder Transponder war im Herdenmanagementprogramm eindeutig einem Tier zugeordnet, so dass die Tiere beim Verlassen der Waage erkannt und die ermittelten Gewichte an das Managementprogramm gesendet wurden.

Die Messung der Rückenfettdicke erfolgte mit dem Gerät Aquila der Firma Esaote piemedical mittels Linearschallkopf (7.5 MHz) zwischen dem oberen Bereich des Hüfthöckers und dem dorsalen Teil des Sitzbeinhöckers (SCHRÖDER and STAUFENBIEL 2006). Um einen besseren Kontakt zwischen Körperoberfläche und Schallkopf zu

gewährleisten, wurde eine verdünnte Alkohollösung auf die Oberfläche aufgetragen. Im Winter wurden die Tiere aufgrund des sehr dichten und langen Winterfells zusätzlich an der Messstelle geschoren. Die Messung der Rückenfettdicke erfolgte während der gesamten Untersuchung durch dieselbe Person. Im Interesse einer schnelleren Messung wurden die Ultraschallbilder gespeichert und die Rückenfettdicke zu einem späteren Zeitpunkt am Computer ausgemessen. Bei dem gemessenen Wert der Rückenfettdicke muss beachtet werden, dass dieser Wert die subkutane Hautschicht mit 3-5 mm Dicke beinhaltet (KLAWUHN und STAUFENBIEL 1997). Zum bessern Verständnis ist in Abbildung 2 ein Ultraschallbild mit ausgemessener Rückenfettdicke dargestellt.

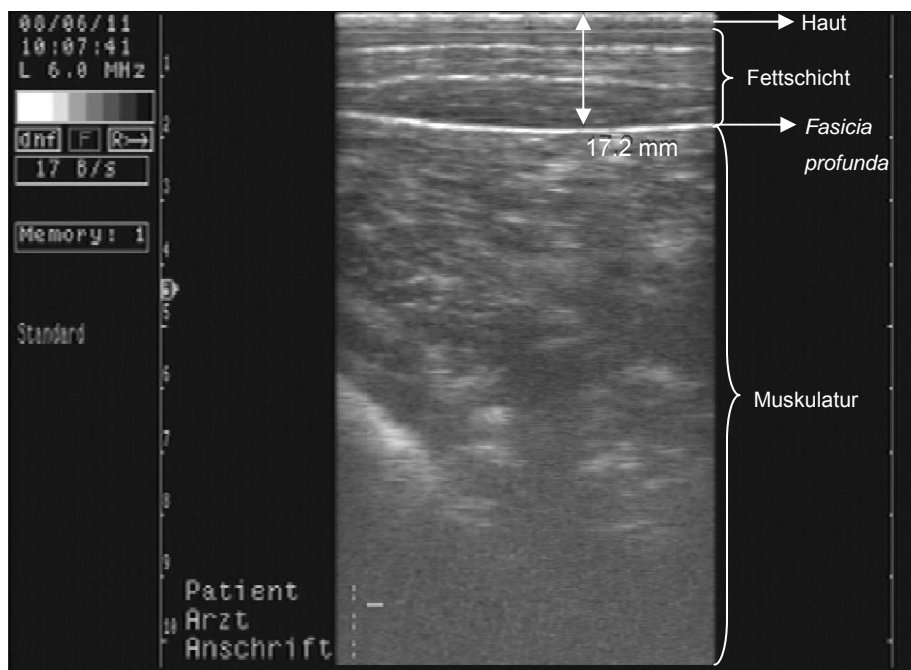


Abbildung 2: Ultraschallbild mit ausgemessener Rückenfettdicke

Als eine mögliche Alternativmethode zur Messung der Rückenfettdicke erfolgte zusätzlich die Erfassung der Körperkondition der Tiere. Das Grundprinzip der Körperkonditionsbeurteilung wurde nach dem Schema von EDMONSON et al. (1989) abgeleitet, da für Jungrinder noch kein eigenes Bewertungsschema zur Verfügung steht. Folgende Körperstellen dienten hierbei zur Konditionsbewertung der Tiere:

- BCS 1: Dornfortsätze der Lendenwirbelsäule,
- BCS 2: Verbindungslinie zwischen Dorn- und Querfortsätzen,
- BCS 3: Querfortsätze der Lendenwirbel,
- BCS 4: überstehender Teil der Lendenwirbelquerfortsätze,
- BCS 5: Hüft- und Sitzbeinhöcker,
- BCS 6: Bereich zwischen den Hüft- und Sitzbeinhöckern,
- BCS 7: Bereich zwischen den Hüfthöckern,
- BCS 8: Schwanzwurzel und Sitzbeinhöcker.

Die Beurteilung der Fettauflage der einzelnen Körperstellerstellen erfolgte ausschließlich palpatorisch. Der Skalenbereich für die Bonitur-Noten reichte von 1 - keine Fettauflage bis 5 - starke Fettauflage. Innerhalb der einzelnen Noten erfolgte eine Abstufung von 0.25 Punkten. Durch die Beurteilung von in der Entwicklung befindlichen Tieren, war ein tendenzieller Anstieg in der Fettauflage und daraus folgend auch der einzelnen BCS-Werte zu erwarten. Ebenso wie bei der Rückenfettdicke wurde auch die Bonitur der Körperkondition im gesamten Versuchszeitraum von derselben Person durchgeführt. Die Dokumentation der Noten erfolgte zunächst in schriftlicher Form, um später digital erfasst zu werden.

Sowohl zur Messung der Rückenfettdicke als auch zur Beurteilung der Körperkondition waren die Tiere in einem Treibgang, der direkt zur Wiegeeinrichtung führte, arretiert. Ohne diese Arretierung wäre eine reibungslose Versuchsdurchführung nicht möglich gewesen.

Mit Hilfe der erfassten Körpermasse konnte die mittlere tägliche Zunahme als weiteres Merkmal, wie folgt berechnet werden:

$$\text{mittlere tägliche Zunahme} = \frac{KM_2 - KM_1}{\text{Anzahl Tage zwischen Wägung}} \quad (1)$$

Wobei in (1) die Variable KM_1 die zurückliegende Wägung und KM_2 die aktuelle Wägung wiedergibt. Da die Zunahme in Abhängigkeit des mittleren Lebenstages abgebildet werden sollte, erfolgte zusätzlich zur Berechnung der mittleren täglichen Zunahme die Definition des mittleren Lebenstages:

$$\text{mittlerer Lebensstag} = \frac{LT_2 + LT_1}{2} \quad (2)$$

In Gleichung (2) ist die Variable LT_1 der Lebensstag des Tieres der zurückliegenden und LT_2 der Lebensstag zur aktuellen Wägung.

Im Rahmen der Analyse der Daten ergab sich die Notwendigkeit einer Einteilung in Altersklassen (AK). Folgende Klasseneinteilung wurde vorgenommen:

- AK 1: 100. bis 199. Lebensstag,
- AK 2: 200. bis 299. Lebensstag,
- AK 3: 300. bis 399. Lebensstag,
- AK 4: 400. bis 499. Lebensstag und
- AK 5: > 500 Lebensstage.

Insgesamt wurden 4379 Körpermassen, 4470 Rückenfettdicken und 3768 BCS-Werte erfasst. Bevor die Daten jedoch zur Auswertung genutzt werden konnten, erfolgte eine

Bereinigung der Daten. Zum einen galt es Daten von Tieren zu entfernen, die jünger als 100 Tage alt waren und zum anderen wurden Fehler, die bei der Wägung der Tiere auftraten, wie beispielsweise zwei Tiere auf der Waage, aus dem Datensatz bereinigt. Da für die Messung der Rückenfettdicke und die BCS-Beurteilung die Stallnummern der Tiere manuell aufgenommen werden mussten, kam es in seltenen Fällen zur Dopplung von Stallnummern. Da die richtige Zuordnung dieser Tiere nicht sichergestellt werden konnte, wurden auch diese Daten aus dem Datensatz entfernt.

Nach der Bereinigung der Daten standen insgesamt 4267 Körpermassen, die daraus berechneten 3423 täglichen Zunahmen, sowie 4288 Rückenfettdicken und 3760 BCS-Werte zur Auswertung zur Verfügung. Die geringere Anzahl an BCS-Daten lässt sich durch den späteren Start der Beurteilung der Körperkondition erklären, welcher erst im Mai 2010 begann.

Die gesamte rechentechnische Umsetzung erfolgte unter Nutzung des Statistikpakets SAS Version 9.2. (SAS INSTITUTE 2009).

3.3 Progesteronanalyse

Zusätzlich zur Erfassung der Körpermasse, Rückenfettdicke und des BCS erfolgte an einer ausgewählten Anzahl an Tieren, zwischen August und November 2010, eine Untersuchung zum Eintritt in die Geschlechtsreife. Über einen Zeitraum von 14 Wochen wurde von 28 Jungrindern einmal wöchentlich Blut entnommen, welches hinsichtlich des Progesterongehaltes untersucht wurde. Ausgewählt wurden Tiere, die sich zu Versuchsbeginn (August 2010) in einem Körpermassebereich von 150 bis 220 kg befanden, was einem Alter zwischen 142. und 236. Lebenstag entsprach.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte jedem Tier aus der Halsvene einmal wöchentlich circa 7 ml Blut durch den Bestandstierarzt entnommen werden. Das Blut wurde gekühlt transportiert und anschließend sofort im Labor aufbereitet, indem die Proben bei 4000 U/min zentrifugiert und das gewonnene Plasma in ein Reaktionsgefäß, mit einem Fassungsvermögen von 1.5 ml, pipettiert wurde. Aus jedem Serumröhrchen konnten zwei Reaktionsgefäße gefüllt werden, die nach der Pipettierung bei -80°C eingefroren wurden. Die Bestimmung der P4-Konzentration im Blutplasma erfolgte durch das Veterinär-Physiologisch-Chemische Institut der Universität Leipzig mittels Enzym-Immunoassay-Verfahren.

Für die Untersuchung ergaben sich aus der Progesteronanalyse insgesamt 392 P4-Werte. Weiterhin standen die Daten der visuellen Brunstbeobachtung für die Auswertung zur Verfügung.

Mit Hilfe der ermittelten Progesteronkonzentrationen und den visuell beobachteten Brunsten erfolgte die Ermittlung des Pubertätseintrittes.

3.4 Lineares gemischtes Modell

Im Tierversuchswesen finden lineare gemischte Modelle häufig Anwendung. Beispielsweise werden sie zur Varianzkomponentenschätzung und, speziell in der Tierzucht, zur Zuchtwertschätzung verwendet. Ein Vorteil dieser Modelle ist, dass sowohl feste als auch zufällige Effekte mit quantitativer oder qualitativer Skala in das Modell einbezogen werden können. Somit wird dem Versuchsansteller die Möglichkeit gegeben, beispielsweise wiederholte Leistungen bzw. Messung pro Tier im statistischen Modell zu berücksichtigen.

In Matrixschreibweise kann ein lineares gemischtes Modell zur Beschreibung einer Zufallsvariable, gesammelt in Vektor \underline{y} , in folgender Form wiedergegeben werden (HENDERSON 1990):

$$\underline{y} = X\beta + Z\underline{u} + \underline{e} \quad (3)$$

mit:

β - Vektor der festen Effekte,

\underline{u} - Vektor der zufälligen Effekte,

\underline{e} - Vektor der zufälligen Resteffekte,

X - Versuchsplanmatrix der festen Effekte,

Z - Versuchsplanmatrix der zufälligen Effekte.

Weiterhin wird angenommen:

$$\begin{aligned} \underline{y} &\sim N(X\beta; V), & \underline{u} &\sim N(0; G), \\ \underline{e} &\sim N(0; R), & V = \text{Var}(\underline{y}) &= ZGZ' + R, \end{aligned}$$

$$\text{Var} \begin{bmatrix} \underline{y} \\ \underline{u} \\ \underline{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & R \\ GZ' & G & 0 \\ R & 0 & R \end{bmatrix}.$$

Für die vorliegenden Daten bilden der Effekt des Messtages und die verwendeten Regressionskoeffizienten zur Modellierung der jeweiligen Entwicklungskurve des Bestandes, in Abhängigkeit des Lebensstages, die festen Effekte im Vektor β . Die zufälligen Tiereffekte werden mit Vektor \underline{u} und die zufälligen Resteffekte mit Vektor \underline{e} berücksichtigt. Ein Modell dieser Form wird auch als Fixed Regression Modell (FRM) bezeichnet. Wird ein solches Modell neben einem zufälligen Tiereffekt noch um zufällige Effekte zur Modellierung des Verlaufes tierindividueller Entwicklungskurven erweitert, so wird dieses als Random Regression Modell (RRM) bezeichnet.

3.5 Generalisiertes lineares Modell

Generalisierte lineare Modelle kommen im landwirtschaftlichen Versuchswesen beispielsweise dann zum Einsatz, wenn die zu betrachtenden Merkmale keiner Normalverteilung folgen. In der vorliegenden Arbeit soll dieses Modell zur Auswertung des Merkmals Pubertätseintritt genutzt werden. Dabei wird der Pubertätseintritt als binäre Zufallsvariable mit Bernoulliverteilung angesehen. Ziel einer binären Regression ist nach FAHRMEIER et al. (2007, S. 190) die Modellierung und Schätzung des Effektes der Kovariablen $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik})'$ auf die Wahrscheinlichkeit (π_i). Unterstellt man zunächst ein lineares Modell der Gestalt:

$$\pi_i = P(\underline{y}_i = 1) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}, \quad (4)$$

so besteht der Nachteil bei binär codierten Merkmalen darin, dass der lineare Prädiktor

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}, \quad (5)$$

mit β_0 bis β_k und x_{i1} bis x_{ik} für alle Werte von x_i im Bereich $[0,1]$ liegen muss. Das lineare Modell lässt jedoch auch Werte größer Eins zu. Aus diesem Grund wird eine sogenannte Responsefunktion $h(\eta) \in R[0,1]$ erstellt, die die Wahrscheinlichkeit π_i und den linearen Prädiktor η_i miteinander verknüpft:

$$\pi_i = h(\eta_i). \quad (6)$$

In (6) ist h eine auf der ganzen reellen Achse streng monoton wachsende Verteilungsfunktion. Die Inverse dieser Responsefunktion wird als Linkfunktion mit $g = h^{-1}$ bezeichnet.

Die bekanntesten Linkfunktionen sind nach FAHRMEIER et al. (2007, S. 190) die Logit- und Probit-Linkfunktion, die auch in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kamen.

Der Logit-Funktion liegt eine logistische Verteilungsfunktion zu Grunde, die wie folgt beschrieben wird:

$$\pi = h(\eta) = \frac{\exp(\eta)}{1 + \exp(\eta)}. \quad (7)$$

Der Probit-Funktion liegt hingegen eine standardisierte Normalverteilung als Verteilungsfunktion zu Grunde, die folgendermaßen beschrieben wird:

$$\pi = \Phi(\eta). \quad (8)$$

Da neben festen Effekten auch die Hinzunahme von zufälligen Effekten im Modell geprüft werden soll, wird im linearen Prädiktor gemäß Gleichung (5) ein zufälliger Effekt aufgenommen. Sei y_{ij} die j -te Beobachtung von Tier i , dann wird die Wahrscheinlichkeit, dass y_{ij} den Wert Eins annimmt wie folgt beschrieben:

$$P(\underline{y}_{ij} = 1 | \underline{a}_i) = h(\eta_{ij}), \text{ mit } \eta_{ij} = x'_{ij}\beta + \underline{a}_i. \quad (9)$$

In (9) ist β der Vektor der festen Modellparameter und x_{ij} ein Versuchsplanvektor, zugehörig zur Beobachtung y_{ij} . Für den zufälligen Effekt a_i von Tier i wird eine Normalverteilung mit dem Erwartungswert Null und der Varianz σ_a^2 vorausgesetzt. Es gilt also: $a_i \sim N(0; \sigma_a^2)$.

In (9) erscheint der zufällige Effekt von Tier i explizit im linearen Prädiktor. Folglich liegt ein generalisiertes lineares gemischtes oder subjektspezifisches Modell vor.

Weiterhin besteht bei Messwiederholung die Möglichkeit ein sogenanntes "population-average" Modell anzupassen. In diesem Ansatz werden die wiederholten Beobachtungen pro Tier über eine Arbeitskorrelationsmatrix berücksichtigt. Es gilt beispielsweise:

$$P(\underline{y}_{ij} = 1) = h(\eta_{ij}), \text{ mit } \eta_{ij} = x'_{ij}\beta \quad (10)$$

$$\text{corr}(\underline{y}_{ij}, \underline{y}_{ij*}) = \rho^{|j-j^*|} \text{ für } j \neq j^*.$$

Um die Wahrscheinlichkeit zu schätzen, mit der die Pubertät in Abhängigkeit der Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS eintritt, erfolgt eine binäre Codierung des Merkmals Pubertät mit Null - Pubertät ist nicht eingetreten und Eins - Pubertät ist eingetreten.

3.6 Vorgehensweise bei der statistischen Modellwahl

Entsprechend des ersten Untersuchungszieles besteht zunächst die Aufgabe, den Entwicklungsverlauf von Körpermasse, der berechneten täglichen Zunahme, der Rückenfettdicke und des Body Condition Scores weiblicher Jungrinder in Abhängigkeit des Alters zu beschreiben. Um diese Merkmale im Altersverlauf abbilden zu können, wird sich wie bereits erwähnt, der Klasse der linearen gemischten Modelle bedient. Ein weiteres Untersuchungsziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, den Wahrscheinlichkeitsverlauf des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der genannten Untersuchungsmerkmale mit Hilfe generalisierter linearer Modelle abzubilden.

Dazu müssen vorab, in beiden Fällen, geeignete Auswertungsmodelle für die jeweiligen Merkmale gefunden werden. Als geeignet wird ein Modell dann angesehen, wenn die

Ordinary Least Square (OLS)-Residuen keinen Trend aufweisen und die mit dem Modell geschätzte Varianz die beobachtete Varianzfunktion der OLS-Residuen gut widerspiegelt. Zur Modellwahl wird die ausführlich von MIELENZ et al. (2006) und SPILKE et al. (2009) beschriebene zweistufige Herangehensweise genutzt, die zum einen die Wahl der festen Effekte in der Erwartungswertstruktur und zum anderen die Wahl der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur beinhaltet.

In der ersten Stufe, der Optimierung der Erwartungswertstruktur, werden die festen Effekte des Modells bestimmt. Die Modellwahl wird unter Nutzung des von HURVICH und TSAI (1989) modifizierten Akaike Informationskriteriums (AICC), bei Verwendung der Maximum Likelihood (ML)-Methode, durchgeführt. Wird ein Auswertungsmodell mit Hilfe des AICCs ausgewählt, wird die geschätzte Erwartungswertkurve der Trendkurve der Beobachtungswerte, ermittelt mit lokal angepasster Regression, gegenübergestellt. Gleichen sich die beiden Verläufe, so spiegelt das gewählte Modell den beobachteten Merkmalsverlauf gut wider. Weiterhin werden die OLS-Residuen des gewählten Modells einer Trendanalyse unterzogen, bei der die Residuen keinen Trend aufweisen und im Mittel Null sein sollten.

Die zweite Stufe umfasst die Wahl der zufälligen Effekte und die Optimierung ihrer Kovarianzstruktur. Auch hier wird das AICC für die Modellwahl genutzt, jedoch unter Verwendung der Restricted Maximum Likelihood (REML)-Methode. Wird ein Modell als Auswertungsmodell ausgewählt, muss dessen Kovarianzstruktur geprüft werden. Dies wird zum einen über die Prüfung der Normalverteilung der zufälligen Effekte realisiert und zum anderen, indem die aus den OLS-Residuen und die aus dem ausgewählten Modell abgeleiteten Varianzfunktionen gegenübergestellt werden. Gibt die geschätzte Varianz die Varianzfunktion der OLS-Residuen gut wieder, kann davon ausgegangen werden, dass das ausgewählte Modell gut angepasst ist.

Korrigiertes Akaike Informationskriterium

Da aus mehreren statistischen Modellen das Beste ausgewählt werden soll, wird sich wie bereits erwähnt, in der vorliegenden Arbeit des korrigierten Akaike Informationskriteriums bedient, welches nach HURVICH und TSAI (1989) modifiziert wurde. Der Unterschied zum Informationskriterium von AKAIKE (1969), auch als AIC bekannt, besteht darin, dass in der korrigierten Variante der Stichprobenumfang in die Berechnung einbezogen wird. Aus diesem Grund wird der AICC vor allem für Untersuchungen mit kleinen Stichproben empfohlen (HURVICH and TSAI 1989). SPILKE et al. (2010) fanden weiterhin eine hohe Wirksamkeit des AICCs bei der Modellwahl in Simulationsuntersuchungen. Grundsätzlich wird bei der Modellwahl mittels AICC sowohl die Güte der Anpassung als auch die Modellkomplexität berücksichtigt. Die Güte der Anpassung wird über den Betrag der mit

minus 2 multiplizierten Log-Likelihood beachtet und die Modellkomplexität, indem die Anzahl der zu schätzenden Parameter als Strafterm in die Berechnung einfließt.

Für die Erwartungswertstruktur unter Verwendung der ML-Methode berechnet sich der AICC-Wert gemäß:

$$AICC_{ML} = -2 \log L + \frac{2n(p_x+q)}{n-(p_x+q)-1}. \quad (11)$$

Dabei ist p_x der Rang der Versuchsplanmatrix X der festen Effekte, q die Anzahl der zu schätzenden Varianzkomponenten und n die Anzahl Beobachtungen. Für den darauffolgenden Vergleich verschiedener Modelle mit unterschiedlicher Kovarianzstruktur, bei identischer Erwartungswertstruktur, berechnet sich das AICC unter Nutzung der REML-Methode wie folgt:

$$AICC_{REML} = -2 \log_R L + \frac{2nq}{n-q-1}. \quad (12)$$

Als Kandidatenmodell ausgewählt und einer weiteren Prüfung unterzogen (Residuen-Analyse, Aufstellen der Varianzfunktion), wird bei beiden Berechnungsvorschriften jeweils das Modell mit dem kleinsten Wert des Informationskriteriums.

Quasi-Likelihood Informationskriterium

Da für die Schätzung der Modellparameter im generalisierten linearen Modell auch die Prozedur GENMOD verwendet wird, muss zusätzlich das Quasi-Likelihood Informationskriterium (QIC) beschrieben werden.

Sei β der Vektor der fixen Modellparameter in einem generalisierten linearen Modell, wobei die Abhängigkeiten von wiederholten Beobachtungen pro Tier mit der Arbeitskorrelationsmatrix R abgebildet werden und die Schätzung der Modellparameter mit Hilfe der „generalized estimating equation“ (GEE)-Methode erfolgt (HARDIN and HILBE 2003, S. 138), dann besitzt das Quasi-Likelihood Informationskriterium in Anlehnung an AIC die folgende Gestalt (PAN 2001):

$$QIC = -2Q(\hat{\beta}(R); I) + 2 * \text{Sp}(\hat{A}_I^{-1} \hat{V}_R). \quad (13)$$

Dabei ist in Gleichung (13) Q der Wert der Quasi-Likelihood (HARDIN and HILBE 2003, S. 138) für unabhängige Beobachtungen, berechnet unter Verwendung von $\hat{\beta} = \hat{\beta}(R)$, geschätzt mit der Arbeitskorrelationsmatrix R . Weiterhin ist \hat{A}_I die modellbasierte Schätzung für die Varianz-Kovarianz-Matrix (VCM) von $\hat{\beta}$, bei Annahme von unabhängigen Beobachtungen, berechnet mit $\hat{\beta} = \hat{\beta}(R)$. \hat{V}_R ist die robuste Schätzung für die VCM von $\hat{\beta}$ für das generalisierte lineare Modell mit der Arbeitskorrelationsmatrix R

(LIANG and ZEGER 1986). Ebenso wie bei der Verwendung des AICC-Wertes, wird nach der oben angegebenen Berechnungsvorschrift das Modell mit dem kleinsten QIC-Wert bevorzugt.

4. Ergebnisse

4.1 Modellierung der Wachstumsmerkmale

4.1.1 Deskriptive Statistik

Da in der vorliegenden Arbeit wiederholte Beobachtungen pro Tier vorlagen, soll zunächst die Verteilung der Anzahl der Beobachtungswerte der vier zu beschreibenden Merkmale anhand von Histogrammen gezeigt werden. Dazu sind in Abbildung 3 die Histogramme für die Anzahl der Beobachtungswerte pro Tier für Körpermasse, tägliche Zunahme, Rückenfettdicke und einer beispielhaft ausgewählten BCS-Stelle dargestellt.

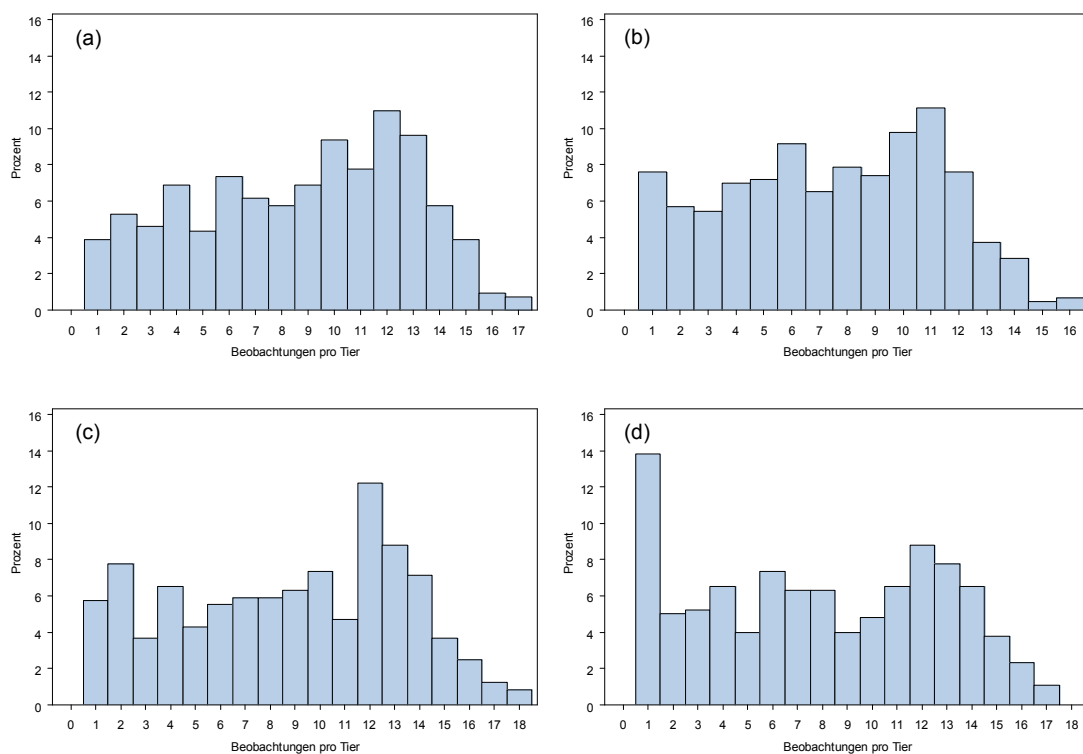


Abbildung 3: Verteilung der Beobachtungen pro Tier für (a) Körpermasse, (b) tägliche Zunahme, (c) Rückenfettdicke und (d) BCS 8

Die Abbildung zeigt, dass mindestens eine und maximal 18 Beobachtungen pro Tier für die einzelnen Merkmale vorlagen. Jedoch ist der Anteil an Beobachtungen über 14 gering. Für die acht erfassten BCS-Stellen gleichen sich die Histogramme, da an einem Tier immer jede BCS- Stelle bonitiert wurden.

Die statistischen Maßzahlen Mittelwert, Minimum, Maximum, Standardabweichung, Variationskoeffizient sowie die Anzahl Beobachtungen in Abhängigkeit der Altersklassen sind für die beobachteten Merkmale in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst.

Tabelle 3: Statistische Maßzahlen von Körpermasse, Rückenfettdicke und der durchschnittlichen täglichen Zunahme

Altersklasse	statistische Maßzahlen	Körpermasse in kg	Rückenfettdicke in mm	durchschnittliche tägliche Zunahme in kg/d
AK 1	\bar{y}	168.8	5.8	1.03
	min	91	3.2	0.14
	max	265	10.7	1.75
	<i>s</i>	31.4	1.3	0.22
	<i>cv</i>	18.6	22.2	21.68
	n	843	924	470
AK 2	\bar{y}	270.1	9.9	1.14
	min	143	4.6	0.11
	max	387	18.0	1.96
	<i>s</i>	40.5	2.2	0.25
	<i>cv</i>	15.0	22.4	22.24
	n	999	1057	891
AK 3	\bar{y}	366.7	13.2	0.93
	min	224	6.4	-0.11
	max	489	20.9	1.93
	<i>s</i>	37.1	2.2	0.35
	<i>cv</i>	10.1	17.0	37.62
	n	1008	1029	861
AK 4	\bar{y}	445.4	14.8	0.83
	min	325	7.6	-0.11
	max	576	25.9	2.03
	<i>s</i>	39.6	2.8	0.37
	<i>cv</i>	8.9	18.6	45.07
	n	951	930	816
AK 5	\bar{y}	513.2	17.3	0.80
	min	382	8.4	-0.11
	max	722	29.5	2.00
	<i>s</i>	52.9	3.5	0.42
	<i>cv</i>	10.3	20.4	52.53
	n	466	345	385

\bar{y} = Mittelwert, min = Minimum, max = Maximum, *s* = Standardabweichung, *cv* = Variationskoeffizient, n = Anzahl Beobachtungen

Aus Tabelle 3 wird die bedeutsame Schwankungsbreite der Merkmale deutlich, die bei der Rückenfettdicke und vor allem bei der täglichen Zunahme mit dem Alter erheblich zunimmt. Dementsprechend erhöht sich die Standardabweichung mit zunehmendem Alter der Tiere. Die berechneten täglichen Zunahmen lassen sowohl im Kälber- als auch im Jungrinderbereich auf eine sehr intensiv ausgerichtete Aufzucht im Betrieb schließen.

Tabelle 4: Statistische Maßzahlen der acht BCS-Stellen

Altersklasse	n	statistische Maßzahlen	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	
AK 1	757	\bar{y}	1.92	1.87	1.87	1.89	1.88	2.05	1.93	1.96	
		min	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.00
		max	3.00	3.00	3.25	3.25	3.00	3.50	3.25	3.50	3.50
		s	0.32	0.30	0.30	0.31	0.29	0.29	0.30	0.35	0.35
		cv	16.67	15.95	16.24	16.57	15.64	14.24	15.72	17.71	17.71
AK 2	875	\bar{y}	2.47	2.36	2.36	2.39	2.34	2.46	2.37	2.64	
		min	1.25	1.50	1.25	1.25	1.25	1.75	1.50	1.25	
		max	4.00	3.75	3.75	3.75	3.75	4.00	3.75	4.25	
		s	0.39	0.37	0.37	0.37	0.37	0.35	0.36	0.42	
		cv	15.97	15.84	15.79	15.72	15.75	14.25	15.05	15.99	
AK 3	916	\bar{y}	3.09	2.92	2.95	2.97	2.86	2.92	2.85	3.20	
		min	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	2.00	1.75	2.00	
		max	4.25	4.25	4.00	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	
		s	0.40	0.42	0.41	0.41	0.41	0.43	0.43	0.42	
		cv	12.94	14.27	13.83	13.87	14.33	14.77	15.04	13.21	
AK 4	885	\bar{y}	3.40	3.20	3.24	3.28	3.08	3.16	3.06	3.39	
		min	2.50	2.50	2.50	2.25	2.25	2.25	2.25	2.50	
		max	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.75	
		s	0.35	0.38	0.37	0.37	0.39	0.42	0.42	0.41	
		cv	10.30	11.83	11.38	11.32	12.71	13.39	13.86	12.17	
AK 5	327	\bar{y}	3.60	3.40	3.47	3.54	3.25	3.33	3.22	3.58	
		min	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	
		max	4.50	4.50	4.50	4.75	4.50	4.75	4.75	4.75	
		s	0.39	0.45	0.43	0.43	0.46	0.50	0.50	0.49	
		cv	10.91	13.13	12.25	12.18	14.06	15.14	15.54	13.73	

n = Anzahl Beobachtungen, \bar{y} = Mittelwert, min = Minimum, max = Maximum, s = Standardabweichung, cv = Variationskoeffizient

In Tabelle 4 sind die statistischen Maßzahlen für die verschiedenen BCS-Stellen zusammenfasst. Die Daten der Tabelle zeigen, dass es zwischen den einzelnen BCS-Stellen innerhalb einer Altersklasse keine großen Abweichungen gibt. Auch die Standardabweichungen in den verschiedenen Altersklassen sind zwischen den einzelnen BCS-Stellen relativ konstant.

4.1.2 Wiederholbarkeit der Merkmale

Die Messgenauigkeit der angewandten Methoden konnte mittels Wiederholbarkeitsmessung überprüft werden. Dazu wurden die Tiere zweimal an einem Messtag gewogen, sowie die Rückfetttdicke als auch die Körperkondition zweimal von derselben Person gemessen bzw. bonitiert. Die Untersuchung war so gestaltet, dass die wiederholten Messungen nicht unmittelbar hintereinander, sondern in zwei

aufeinanderfolgenden Durchgängen erfolgten. Abbildung 4 zeigt die jeweiligen bivariaten Punktwolken für Körpermasse und Rückenfettdicke aus erster und zweiter Messung. In Abbildung 5 sind auszugsweise die Punktwolken für die BCS-Stellen 1 und 8 dargestellt.

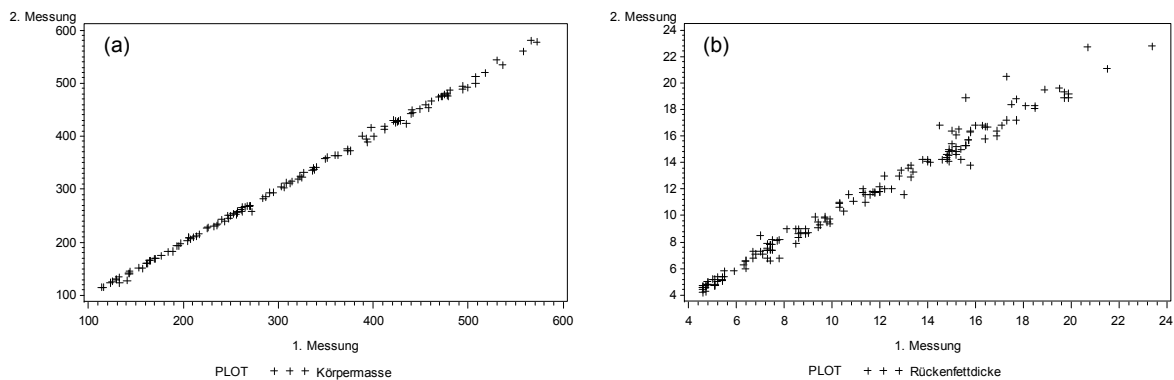


Abbildung 4: Bivariate Punktwolken von (a) Körpermasse und (b) Rückenfettdicke aus erster und zweiter Messung

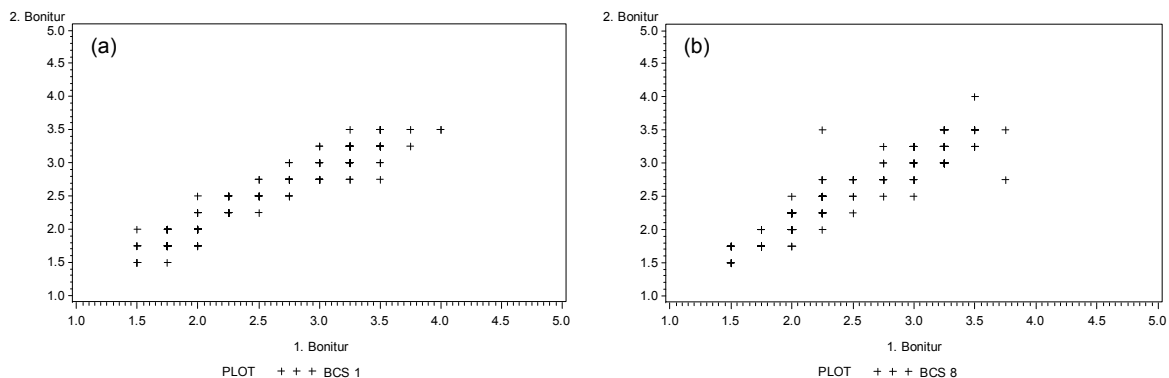


Abbildung 5: Bivariate Punktwolken von (a) BCS 1 und (b) BCS 8 aus erster und zweiter Bonitur

Aus den Abbildungen lässt sich bereits optisch erkennen, dass die Wiederholbarkeiten vor allem bei der Körpermasse und Rückenfettdicke sehr gute Ergebnisse aufweisen. Für die ausgewählten BCS-Stellen ergibt sich demgegenüber eine vergleichsweise große Variabilität zwischen den wiederholten Bonituren. Die Wiederholbarkeit der sechs weiteren BCS-Stellen unterscheidet sich nicht maßgeblich von den dargestellten BCS-Stellen (vgl. Abbildung 43, im Anhang).

Ausgehend von einer Kovarianzanalyse (14) wurde die Wiederholbarkeit mittels Intraklassenkorrelation quantifiziert. Zur Vermeidung von Skaleneffekten erfolgte die Analyse innerhalb der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Altersklassen.

Dabei kann der gemessene bzw. beobachtete Merkmalswert $y_{ijk}(AK)$ der j -ten Messung von Tier i zum k -ten Lebenstag in der Altersklasse AK als Realisation einer Zufallsvariable angesehen werden, für die das folgende Modell gilt:

$$\underline{y}_{ijk}(AK) = \mu + \alpha_j + \beta * t_k + \underline{a}_i + \underline{e}_{ij}(AK). \quad (14)$$

Im Modell (14) sind:

μ = allgemeines Mittel,

α_j = fester Effekt der j -ten Messung,

β = Regressionskoeffizient des Lebensstages t_k auf das Messmerkmal,

t_k = k -ter Lebensstag,

a_i = zufälliger Effekt des Tieres i mit $a_i \sim N(0; \sigma_a^2)$,

e_{ij} = zufälliger Resteffekt des i -ten Tieres zur j -ten Messung mit $e_{ij}(AK) \sim N(0; \sigma_e^2)$.

Der Effekt α_j der j -ten Messung (Messung 1 bzw. Messung 2) berücksichtigt mögliche systematische Unterschiede zwischen den Messungen, beispielsweise durch Futter- oder Wasseraufnahme bzw. Kot- oder Harnabgabe der Tiere, die gerade bei der Körpermasse eine Rolle spielen können. Der Regressionskoeffizient β wurde im Modell berücksichtigt, da auch innerhalb einer Altersklasse ein systematischer Effekt der Wachstumsdynamik der Tiere enthalten ist.

Die geschätzte Varianz zwischen den Tieren ($\hat{\sigma}_a^2$) und die dazugehörige Restvarianz zwischen den Messungen innerhalb Tier ($\hat{\sigma}_e^2$) wurden genutzt, um den Intraklassenkorrelationskoeffizient (*IKK*) in Abhängigkeit der Altersklassen zu berechnen:

$$IKK(AK) = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}. \quad (15)$$

Die Ergebnisse der Intraklassenkorrelationen sind für die Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und auszugsweise für BCS 1 und BCS 8 in der Tabelle 5 dargestellt. Die Ergebnisse der sechs weiteren BCS-Stellen sind im Anhang in Tabelle 19 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessung für Körpermasse, Rückenfettdicke, BCS 1 und BCS 8

Merkmal	AK	n	IKK	$\hat{\sigma}_a^2$	$\hat{\sigma}_e^2$
Körpermasse	1	30	1.00	1188.93	5.79
	2	35	1.00	1442.08	5.71
	3	21	0.99	1763.93	13.36
	4	21	0.99	1455.94	10.00
	5	16	0.99	3018.86	24.58
Rückenfettdicke	1	50	0.97	1.76	0.06
	2	40	0.98	4.58	0.09
	3	25	0.92	3.79	0.35
	4	29	0.89	2.77	0.33
	5	19	0.89	11.85	1.44
BCS 1	1	51	0.71	0.03	0.01
	2	41	0.79	0.06	0.02
	3	29	0.84	0.07	0.01
	4	30	0.62	0.03	0.02
	5	19	0.61	0.04	0.02
BCS 8	1	51	0.81	0.05	0.01
	2	41	0.80	0.06	0.02
	3	29	0.70	0.09	0.04
	4	30	0.64	0.04	0.02
	5	19	0.31	0.02	0.05

AK = Altersklasse, n = Anzahl Beobachtungen, *IKK* = Intraklassenkorrelationskoeffizient, $\hat{\sigma}_a^2$ = Varianz zwischen den Tieren, $\hat{\sigma}_e^2$ = Varianz zwischen den Messungen innerhalb Tier

Für die Körpermasse konnte eine sehr hohe Wiederholbarkeit, mit Werten zwischen 0.99 und 1.00 für den Intraklassenkorrelationskoeffizient, erreicht werden. Etwas geringer fielen die Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessung für die Rückenfettdicke aus. Hier wurden Werte zwischen 0.89 und 0.99 erzielt, die aber ebenso auf einen hohen Zusammenhang der beiden Messungen schließen lassen.

Wie bereits in Abbildung 5 gezeigt, konnte bei der Körperkonditionsbeurteilung erwartungsgemäß nur eine geringere Wiederholbarkeit erzielt werden. Dies spiegeln auch die Ergebnisse aus Tabelle 5 wider. Für BCS 1 wurden Werte zwischen 0.61 und 0.79 und für BCS 8 Werte zwischen 0.31 und 0.81 erreicht. Ähnliche Wiederholbarkeiten wurden ebenfalls für die sechs weiteren BCS-Stellen erzielt (Tabelle 19, im Anhang).

Vor allem bei Rückenfettdicke und BCS nimmt der Intraklassenkorrelationskoeffizient mit zunehmendem Alter deutlich ab. Dies kann durch die steigende Restvarianz der Merkmale in Abhängigkeit des Alters der Tiere erklärt werden, wobei für den BCS zusätzlich die beobachtete Varianz zwischen den Tieren abnimmt.

4.1.3 Zusammenhang zwischen Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS

Eine wichtige Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit bestand in der Ermittlung der Merkmalszusammenhänge. Daher sollen in diesem Abschnitt zunächst die phänotypischen Merkmalszusammenhänge, ohne Beachtung von Störgrößen, dargestellt werden.

Dazu konnten mit Hilfe der in SAS implementierten Prozedur CORR die Korrelationskoeffizienten berechnet werden. Für die Korrelation der kontinuierlichen Merkmale Körpermasse und Rückenfettdicke wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient genutzt. Zwischen dem diskreten Merkmal BCS und Körpermasse sowie Rückenfettdicke wurde der Spearman'sche Korrelationskoeffizient berechnet. Die Korrelationskoeffizienten (r) sind innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraumes als hoch bis sehr hoch einzustufen ($r_{KM*RFD} = 0.88$, $r_{BCS1*BCS2*...*BCS8} = 0.88$ bis 0.98 , $r_{KM*BCS1*...*KM*BCS8} = 0.77$ bis 0.85 und $r_{RFD*BCS1*...*RFD*BCS8} = 0.68$ bis 0.78). Jedoch sind sie nicht aussagefähig, da die kontinuierliche Merkmalsentwicklung stets zu hohen Zusammenhängen führt.

Aus diesem Grund erfolgte die Berechnung der Korrelationskoeffizienten wiederum in Abhängigkeit des Alters bzw. der fünf definierten Altersklassen. In Tabelle 6 sind zunächst die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten für Körpermasse und Rückenfettdicke innerhalb der Altersklassen zusammengestellt.

Tabelle 6: Pearson'sche Korrelationskoeffizienten von Körpermasse und Rückenfettdicke

Altersklasse	n	Korrelationskoeffizient
AK 1	811	0.75
AK 2	952	0.74
AK 3	898	0.43
AK 4	812	0.43
AK 5	296	0.57

n = Anzahl Beobachtungen

Aus den Ergebnissen der Tabelle 6 wird deutlich, dass die Korrelationen bei Beachtung der Altersklassen geringer ausfallen und nur noch ein mittlerer bis hoher Zusammenhang erreicht wird.

Der Zusammenhang der acht BCS-Stellen ist innerhalb der Altersklassen relativ konstant. Am gravierendsten ist der Unterschied der Korrelationskoeffizienten zwischen BCS, Körpermasse und Rückenfettdicke, mit und ohne Berücksichtigung der Altersklassen. Aus Übersichtsgründen sind die Korrelationen von BCS, Körpermasse und Rückenfettdicke nur für die erste und dritte Altersklasse in den Tabellen 7 und 8 dargestellt. Die weiteren Ergebnisse der Korrelation befinden sich im Anhang in den Tabellen 20 bis 22.

Tabelle 7: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 1

Merkmal	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	RFD	KM
BCS 1	1.00	0.79	0.79	0.72	0.75	0.66	0.69	0.71	0.48	0.53
BCS 2		1.00	0.84	0.75	0.79	0.73	0.74	0.78	0.51	0.58
BCS 3			1.00	0.86	0.81	0.68	0.72	0.74	0.49	0.56
BCS 4				1.00	0.78	0.65	0.67	0.70	0.44	0.51
BCS 5					1.00	0.71	0.78	0.79	0.53	0.57
BCS 6						1.00	0.80	0.74	0.41	0.53
BCS 7							1.00	0.78	0.46	0.58
BCS 8								1.00	0.63	0.71

RFD = Rückenfettdicke, KM = Körpermasse

In Tabelle 7 sind die Korrelationen der einzelnen Merkmale für Altersklasse 1 zusammengefasst. Die einzelnen BCS-Stellen weisen untereinander einen hohen Zusammenhang auf. Ebenso zeigen in dieser Altersklasse die Merkmale Rückenfettdicke und Körpermasse einen mittleren und, besonders auffällig für den BCS 8, einen hohen Korrelationskoeffizienten auf. Für die Altersklasse 2 sehen die Korrelationen ähnlich aus. Ab Altersklasse 3, dargestellt in Tabelle 8, verändern sich die Korrelationskoeffizienten vor allem für die Rückenfettdicke beachtlich.

Tabelle 8: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 3

Merkmal	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	RFD	KM
BCS 1	1.00	0.91	0.89	0.86	0.85	0.81	0.81	0.63	0.04	0.31
BCS 2		1.00	0.93	0.87	0.88	0.85	0.85	0.68	0.08	0.26
BCS 3			1.00	0.94	0.90	0.86	0.86	0.70	0.05	0.28
BCS 4				1.00	0.86	0.82	0.82	0.66	0.05	0.33
BCS 5					1.00	0.88	0.91	0.73	0.07	0.23
BCS 6						1.00	0.91	0.77	0.03	0.21
BCS 7							1.00	0.76	0.07	0.23
BCS 8								1.00	0.22	0.19

RFD = Rückenfettdicke, KM = Körpermasse

Der Zusammenhang der BCS-Stellen untereinander wird bis auf BCS 8 noch höher geschätzt. Jedoch kann für die Rückenfettdicke und die BCS-Stellen 1 bis 7 kein Zusammenhang mehr gefunden werden. Lediglich für die Stelle 8 gibt es einen geringen Zusammenhang von 0.22. Bei der Körpermasse sinken die Korrelationskoeffizienten nicht so stark ab wie bei der Rückenfettdicke, allerdings kann hier nur noch ein geringer Zusammenhang festgestellt werden. Ganz ähnliche Ergebnisse wurden in den Altersklassen 4 und 5 erzielt. Deutlich scheint jedoch bei allen Altersklassen, dass grundsätzlich BCS 8 und die Rückenfettdicke am stärksten korrelieren. Für die Körpermasse konnte hier kein so deutlicher Zusammenhang gefunden werden.

4.1.4 Entwicklung der Körpermasse

Modellierung der Erwartungwertstruktur

Der erste Schritt in der Modellierung der Erwartungwertstruktur umfasste die Überprüfung der Beobachtungswerte in Abhängigkeit des Alters. Realisiert wurde dies über die in SAS vorhandene Prozedur LOESS, mit der eine lokal angepasste Regression durchgeführt wurde. Aus dem Verlauf der nichtparametrischen Trendkurve konnte bereits ein Ansatz für die Regressionsfunktion zur Beschreibung der Erwartungwertkurve abgeleitet werden. Das Ergebnis der lokalen Regression für die Entwicklung der Körpermasse in Abhängigkeit der Lebensstage ist in Abbildung 6 dargestellt.

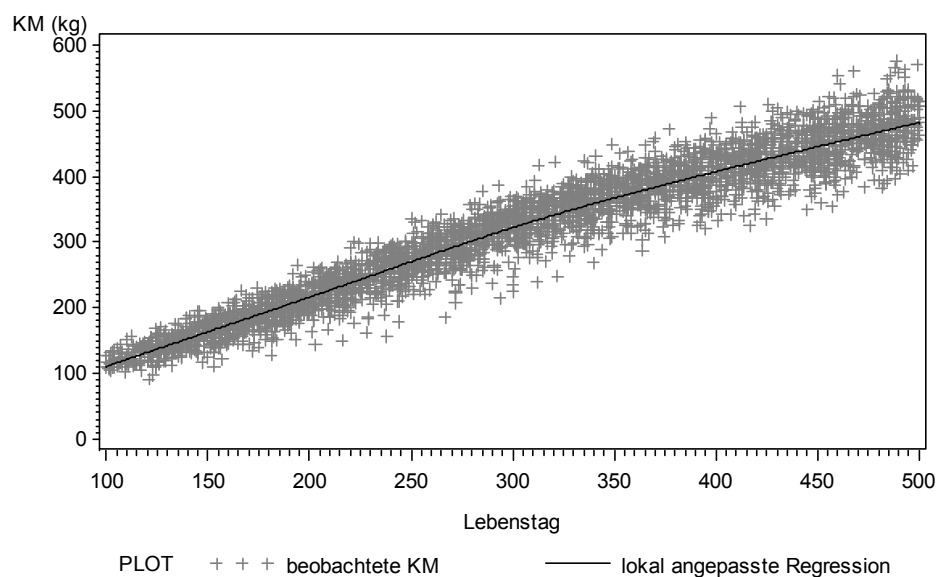


Abbildung 6: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte der Körpermasse (KM)

Die Abbildung zeigt einen nichtlinearen Kurvenverlauf der Körpermasse, der auf die Notwendigkeit der Nutzung eines quadratischen Ansatzes hindeutet. Dieses Ergebnis spiegelt die in der Literatur angegebene Erfahrung wider, wonach die Körpermasse einem nichtlinearen Wachstumsprozess folgt. In Bezug auf die Beobachtungswerte ist ersichtlich, dass die Variationsbreite der Beobachtungswerte mit dem Alter leicht ansteigt.

Unter Nutzung der Prozedur MIXED wurden unter Verwendung der ML-Methode Schritt für Schritt neue Kovariablen in das Modell aufgenommen. Die Ergebnisse der Modellanpassung sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Modellanpassung für die Körpermasse in der Erwartungswertstruktur

Modell	fixe Effekte	zufällige Effekte	p_x	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{ML}$
1	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t)$	$e_i(t)$	2	930.0	4227	40914
2	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t)$	$e_i(t)$	3	823.4	4226	40401
3	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t)$	$e_i(t)$	4	823.4	4225	40403
4	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + MT_j$	$e_{ij}(t)$	30	743.5	4200	40022

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $MT =$ Messtag, $p_x =$ Rang der Designmatrix der festen Effekte, $\hat{\sigma}_e^2 =$ Restvarianz, $df =$ Freiheitsgrade, $AICC_{ML} =$ korrigiertes Akaike-Kriterium

Mit dem genutzten Modell 4 wird der Erwartungswert der Körpermasse des i -ten Tieres am j -ten Messtag beschrieben. Wobei b_0 bis b_2 die Regressionskoeffizienten und x_0 bis x_2 die zugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t sind. Weiterhin ist MT_j der fixe Effekt von Messtag j und e_i bzw. e_{ij} bilden die zufälligen Resteffekte ab. Der Lebenstag t wurde aus Gründen einer schnelleren Konvergenz des Optimierungsalgorithmus durch Division mit $t_{max} = 600$ in das Intervall $[> 0; \leq 1]$ transformiert. Das Modell mit quadratischem Ansatz und zusätzlicher Berücksichtigung des Messtages erweist sich als Vorzugsmodell zur Modellierung der Erwartungswertstruktur nach $AICC_{ML}$. Ein solches Modell entspricht aufgrund seiner ausschließlich festen Effekte und des zufälligen Resteffektes einem OLS-Modell.

Mit Hilfe der Prozedur IML konnte, unter Nutzung der geschätzten festen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix, bereits der Körpermasseverlauf und dessen Konfidenzintervall für den Bestand zu jedem Lebenstag berechnet werden. Die grafische Darstellung der Entwicklung der Körpermasse in Abhängigkeit des Alters, geschätzt mit Modell 4, ist in Abbildung 7 dargestellt.

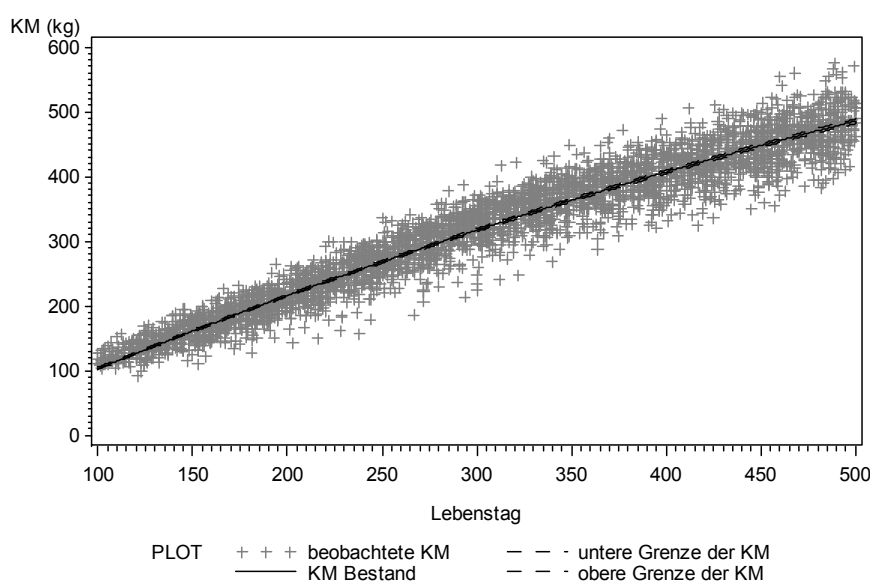


Abbildung 7: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der Körpermasse (KM) des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, P=0.95)

Die grafische Darstellung zeigt, dass der geschätzte Entwicklungsverlauf den tatsächlichen Entwicklungsverlauf optisch sehr gut wiedergibt. Das Konfidenzintervall liegt sehr eng am geschätzten Verlauf, was insbesondere durch die hohe Anzahl an Beobachtungen begründet ist. Dabei ist zu beachten, dass wegen der zunächst durchgeführten Modellierung der festen Effekte, dem Konfidenzintervall nur eine vorläufige Bedeutung zukommt, da im Modell unkorrelierte Resteffekte und Varianzhomogenität vorausgesetzt sind.

Ob alle wichtigen festen Effekte in der Erwartungswertstruktur berücksichtigt wurden, wird anhand der Analyse der OLS-Residuen geprüft. Weisen sie einen Trend auf, im vorliegenden Fall in Abhängigkeit des Alters, müssen eventuell weitere Effekte in das Modell aufgenommen werden. Die mit Modell 4 geschätzten OLS-Residuen sind in Abbildung 8 als Funktion des Lebenstages grafisch dargestellt.

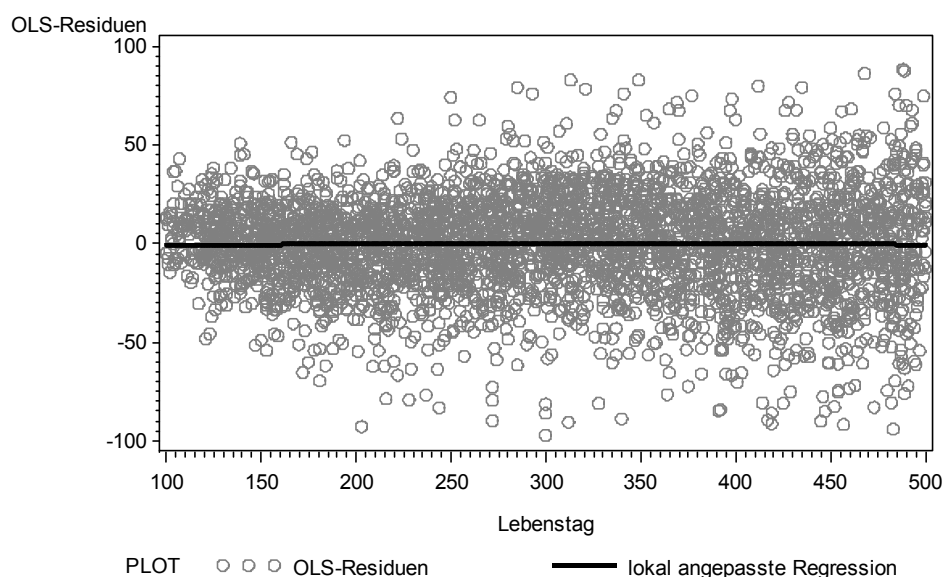


Abbildung 8: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und OLS-Residuen für Modell 4

Die Residuen weisen keinen zeitlichen Trend in Abhängigkeit des Alters auf. Somit kann die Erwartungswertstruktur von Modell 4 für die weitere Modellwahl der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur genutzt werden. In Abbildung 8 ist jedoch ein tendenzieller Anstieg der Variabilität der Residuen mit zunehmendem Alter zu erkennen. Dies muss bei der Modellierung der Kovarianzstruktur berücksichtigt werden.

Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur

Die Abhängigkeit der Körpermasse vom Lebensstag konnte bereits auf Bestandsebene mit einer quadratischen Regressionsfunktion abgebildet werden. Da in der Untersuchung wiederholte Beobachtungen pro Tier vorlagen, müssen neben dem bestandsspezifischen Verlauf auch tierindividuelle Entwicklungsverläufe berücksichtigt werden. Dazu ist das

vorhandene Vorzugsmodell der Erwartungswertstruktur um einen Tiereffekt und gegebenenfalls vom Tier abhängigen Regressionskoeffizienten zu erweitern. Die festen Effekte werden der Erwartungswertstruktur von Modell 4 entnommen. In der Prozedur MIXED wurden bei der Berechnung zwei verschiedene Typen für die Varianz-Kovarianz-Matrix der zufälligen Tiereffekte genutzt. Unter Verwendung des Typs VC (variance components) wird unterstellt, dass alle zufälligen Regressionskoeffizienten unabhängig voneinander sind. Das heißt, alle nicht diagonalen Elemente der Varianz-Kovarianz-Matrix der Regressionskoeffizienten sind Null. Im Gegensatz dazu wird mit dem Typ UN (unstructured) eine Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten innerhalb Tier angenommen, wodurch von Null verschiedene Kovarianzen zugelassen werden.

Auch hier wurde mit Hilfe der Modellwahl auf der Basis von AICC entschieden, welche Struktur der Varianz-Kovarianz-Matrix für die vorliegenden Daten geeignet ist. Die Schritte der Modellanpassung sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10: Modellanpassung für die Körpermasse in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 4)

Modell	zufällige Effekte	Typ	q	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{REML}$
5	$e_{ij}(t)$	VC	1	748.67	4200	39654
6	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ij}(t)$	VC	2	152.97	3715	34526
7	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	VC	3	82.21	3256	32704
8	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	UN	4	80.27	3256	32645
9	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + e_{ij}(t)$	UN	7	60.53	2806	32254
10	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + e_{ijk}(t)$	UN	11	41.5 (AK 1) 40.5 (AK 2) 78.6 (AK 3) 66.8 (AK 4) 98.7 (AK 5)	2806	32162

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, q = Anzahl an Varianzkomponenten, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{REML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

In der Kovarianzstruktur bilden a_{0i} bis a_{2i} den Vektor der zufälligen Regressionskoeffizienten von Tier i , x_0 bis x_2 die dazugehörigen Kovariablen zum Lebensstag t und e_{ij} bzw. e_{ijk} den zufälligen Resteffekt ab. Der Index k , bei der Angabe der Resteffekte in Modell 10, soll die zusätzlich berücksichtigte heterogene Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklasse zum Ausdruck bringen. Diese wird aufgrund des Ergebnisses aus der Analyse der OLS-Residuen berücksichtigt. Im Laufe der Modellwahl zeigte sich anhand der $AICC_{REML}$ -Werte, dass eine Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten innerhalb Tier zu bevorzugen ist und die Berücksichtigung der heterogenen Restvarianz zur Verringerung des $AICC_{REML}$ -Wertes führt. Somit wurde die beste Anpassung mit Modell 10 erzielt.

Um für die Kovarianzstruktur zu prüfen, ob ein den Daten annähernd adäquates Modell gefunden wurde, wurden zunächst die zufälligen Effekte auf Normalverteilung geprüft. Zwei ausgewählte Beispiele für die Darstellung der Normalverteilung eines zufälligen Tiereffektes und eines zufälligen Resteffektes sind in Abbildung 9 wiedergegeben.

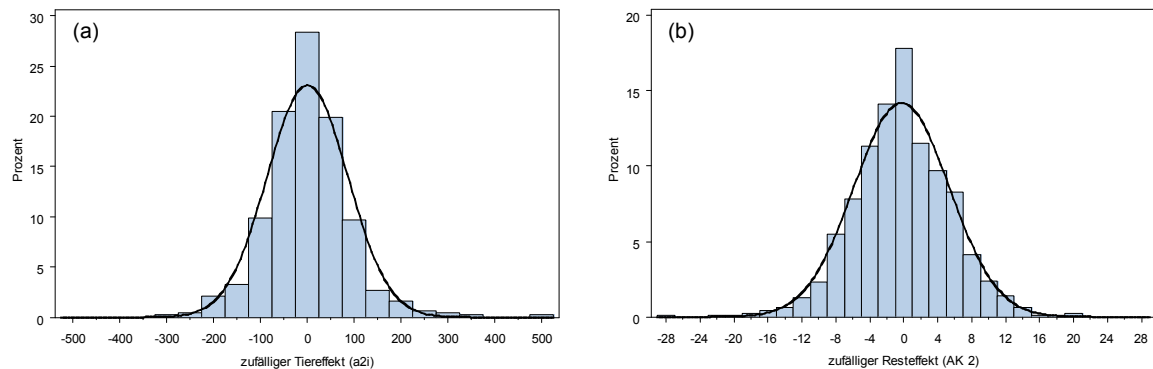


Abbildung 9: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{2i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 2

Aus den dargestellten Histogrammen wird deutlich, dass die zufälligen Effekte annähernd normalverteilt sind. Da die Verteilung der weiteren zufälligen Effekte, berücksichtigt im Modell 10, den Verteilungen aus Abbildung 9 sehr ähnlich sind, wurde auf deren Darstellung verzichtet.

Im nächsten Schritt erfolgte, wie in Abschnitt 3.6 beschrieben, der Vergleich der aus den OLS-Residuen berechneten Standardabweichungen mit den modellgeschätzten Standardabweichungen als Wurzel der Varianzfunktion. Die grafische Gegenüberstellung beider Funktionen ist in Abbildung 10 zusammengefasst.

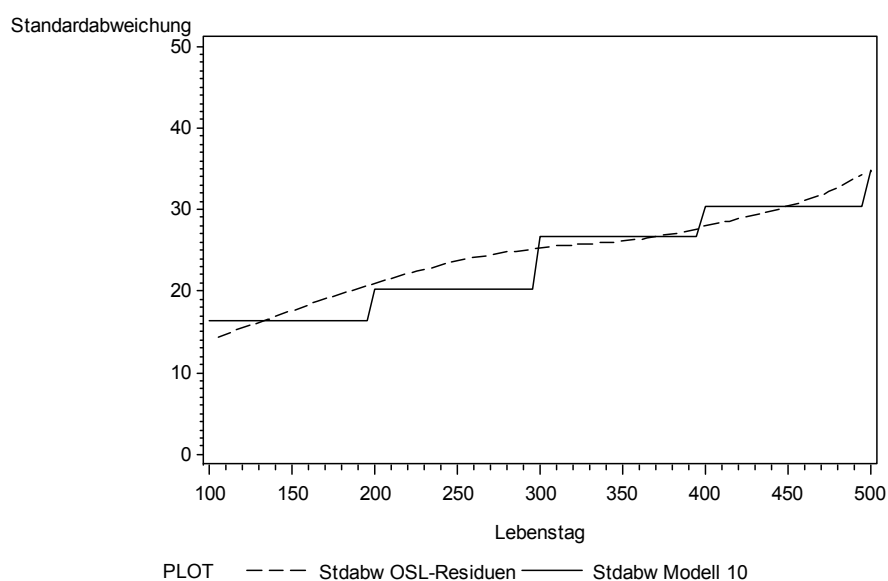


Abbildung 10: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 10

Durch die im Modell 10 zusätzlich berücksichtigte heterogene Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklassen, stellt die Wurzel der Varianzfunktion eine Treppenfunktion dar. Die geschätzten und beobachteten Standardabweichungen in Abbildung 10 stimmen gut überein, was darauf schließen lässt, dass eine gute Abbildung der Variabilität der OLS-Residuen mit der gewählten Struktur der zufälligen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix erreicht werden konnte.

Damit wird die Kombination der Erwartungswertstruktur, gemäß Modell 4, und der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur, gemäß Modell 10, als Auswertungsmodell für die Körpermasse angenommen. Dieses Modell entspricht einem Random Regression Modell.

Das vollständige Auswertungsmodell zur Beschreibung der Entwicklung der Körpermasse kann daher wie folgt beschrieben werden:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^2 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t) \quad (16)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r, r = 0,1,2.$$

Dabei werden die Beobachtungen $y_{ijk}(t)$ der Körpermasse von Tier i innerhalb der Altersklasse k ($k = 1, \dots, 5$) am Messtag j zum Lebenstag t jeweils als Realisation einer Zufallsvariable $\underline{y}_{ijk}(t)$ aufgefasst. Weiterhin gilt Folgendes:

- β_r = fixer Regressionskoeffizient, zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$,
- \underline{a}_{ir} = zufälliger Effekt von Tier i , zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ mit $\underline{a}_i \sim N(0; \sigma_{a_r}^2)$,
- MT_j = fixer Effekt von Messtag j und
- $\underline{e}_{ijk}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{ijk}(t) \sim N(0; \sigma_{e_k}^2)$.

Im letzten Schritt konnte, ähnlich wie in der Erwartungswertstruktur, bei Nutzung des Auswertungsmodells gemäß Gleichung (16), unter Verwendung der Prozedur IML, sowohl der bestandsspezifische als auch der einzeltierspezifische Entwicklungsverlauf der Körpermasse berechnet und grafisch abgebildet werden. Als Beispiel sind in Abbildung 11 zwei tierindividuelle Entwicklungsverläufe der Körpermasse (Tier 73 und Tier 283) dem bestandsspezifischen Verlauf gegenübergestellt.

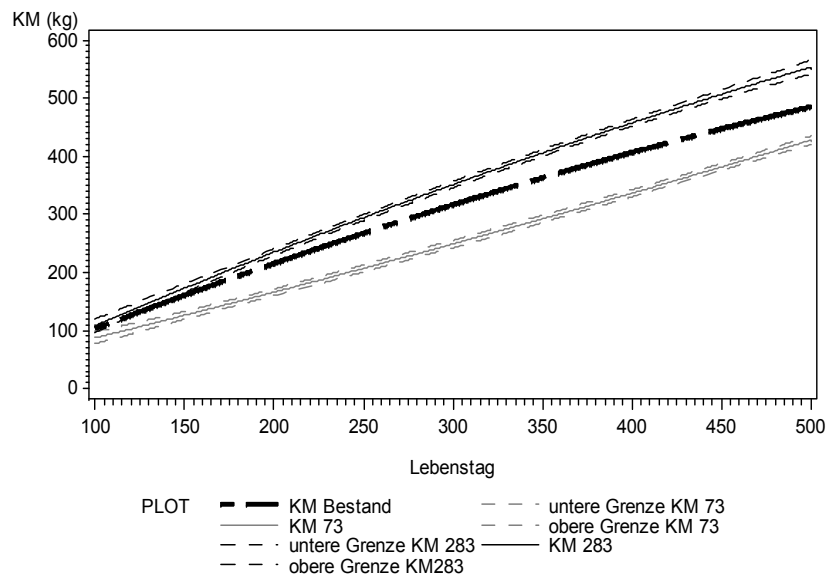


Abbildung 11: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes (KM Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (KM 73) und Tier 283 (KM 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

In der grafischen Darstellung der Ergebnisse ist deutlich zu erkennen, dass der Körpermasseverlauf von Tier 73 zum 100. Lebenstag bereits unterhalb der Bestandskurve beginnt und bis zum 500. Lebenstag unterhalb dieser verbleibt. Anders sieht die Entwicklung der Körpermasse von Tier 283 aus. Bis zum 200. Lebenstag verläuft diese noch nah, aber bereits oberhalb der Bestandskurve. Mit zunehmendem Alter vergrößert sich jedoch der Abstand zwischen Tier und Bestand deutlich. Die Abstände zwischen den tierindividuellen Verläufen und der Bestandskurve sind nicht konstant, sondern spezifisch für jedes Tier zu jedem Lebenstag, da mit Hilfe des Auswertungsmodells ein vom Lebenstag abhängiger individueller Tiereffekt geschätzt wird. Die dargestellten Entwicklungsverläufe der Körpermasse in Abbildung 11 bestätigen die Annahme, dass mit dem gewählten Auswertungsmodell sowohl die bestandsspezifischen als auch die tierindividuellen Entwicklungsverläufe sehr gut abgebildet werden können.

4.1.5 Entwicklung der durchschnittlichen täglichen Zunahme

Modellierung der Erwartungswertstruktur

Um zunächst einen Überblick über die berechneten täglichen Zunahmen und deren möglichen Verlauf zu erhalten, wurde mit Hilfe der Beobachtungswerte eine lokal angepasste Regression, in Abhängigkeit des mittleren Lebensstages geschätzt. In Abbildung 12 ist das Ergebnis der lokalen Regression grafisch dargestellt.

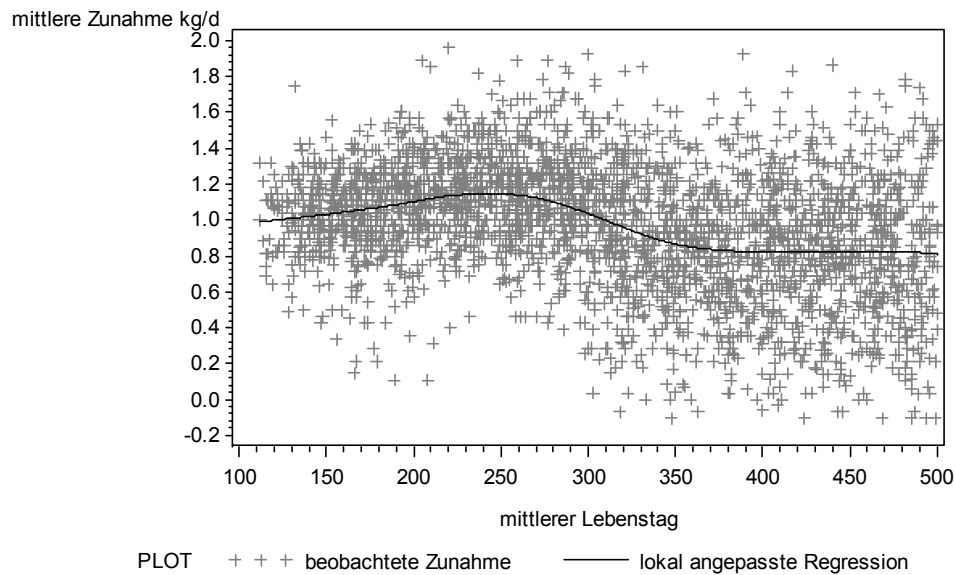


Abbildung 12: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.3) und Beobachtungswerte der mittleren täglichen Zunahme

In Abbildung 12 wird eine starke Streuung der mittleren täglichen Zunahme in Abhängigkeit des mittleren Lebensstages deutlich. Optisch wird mit der lokalen Regression der erwartete Trend gut wiedergegeben. Das heißt, im ersten Lebensjahr werden höhere tägliche Zunahmen als im zweiten Lebensjahr erreicht. Jedoch zeigt der Verlauf, wie schon im Abschnitt 4.1.1 in Tabelle 3 beschrieben, dass die Tiere sowohl im ersten als auch im zweiten Lebensjahr deutlich über den Aufzuchtsempfehlungen der Literatur liegen und somit sehr intensiv aufgezogen wurden.

Im nächsten Schritt erfolgte die Modellierung der Erwartungswertstruktur, in die kontinuierlich weitere feste Effekte, neben dem zufälligen Resteffekt, in das Modell aufgenommen wurden. Die Zusammenfassung der Modellanpassung nach $AICC_{ML}$ für die Erwartungswertstruktur ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Modellanpassung für die tägliche Zunahme in der Erwartungswertstruktur

Modell	feste Effekte	zufällige Effekte	p_x	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{ML}$
1	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t)$	$e_i(t)$	2	0.108	3402	2113
2	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t)$	$e_i(t)$	3	0.108	3401	2111
3	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t)$	$e_i(t)$	4	0.105	3400	2024
4	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_4 * x_4(t)$	$e_i(t)$	5	0.104	3399	1994
5	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_5 * x_5(t)$	$e_i(t)$	6	0.104	3398	1969
6	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_6 * x_6(t)$	$e_i(t)$	7	0.103	3397	1946
7	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_7 * x_7(t)$	$e_i(t)$	8	0.103	3396	1948
8	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_6 * x_6(t) + MJ_j$	$e_{ij}(t)$	31	0.083	3374	1256

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $x_4(t) = (t/600)^4$, $x_5(t) = (t/600)^5$, $x_6(t) = (t/600)^6$, $x_7(t) = (t/600)^7$, MJ = Monats-Jahresklasse, p_x = Rang der Designmatrix der festen Effekte, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{ML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

Mit den Modellen aus Tabelle 11 wird der Erwartungswert der täglichen Körpermassezunahme eines zufällig aus dem Bestand ausgewählten Tieres i in der Monats-Jahresklasse j zum Lebenstag t beschrieben. So sind b_0 bis b_7 die Regressionskoeffizienten, x_0 bis x_7 die zugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t , MJ ist der fixe Effekt der Monats-Jahresklasse j und e_i bzw. e_{ij} bilden den zufälligen Resteffekt ab. Da die tägliche Zunahme nicht an einem Messtag erfasst wurde, erfolgte eine Definition der Monats-Jahresklasse. Hintergrund hierfür sind die mit Hilfe der monatlich aufgenommenen Körpermassen berechneten monatlichen mittleren täglichen Zunahmen. Um eine schnellere Konvergenz zu erhalten, erfolgte auch bei der Modellierung der täglichen Zunahme eine Standardisierung des Lebenstages t , indem er durch die maximale Anzahl an Lebenstagen ($t_{max} = 600$) dividiert wurde. So konnte in der Erwartungswertstruktur zur Modellierung der täglichen Zunahme nach $AICC_{ML}$ Modell 8, mit Polynomen sechsten Grades und Berücksichtigung des Monats-Jahresklassen-Effektes, als Vorzugsmodell ausgewählt werden.

Unter Nutzung der Varianz-Kovarianz-Matrix und der geschätzten festen Effekte erfolgte im nächsten Schritt, mit Hilfe der Prozedur IML, die Berechnung der bestandsspezifischen täglichen Zunahme in Abhängigkeit des mittleren Lebenstages sowie des zunächst vorläufigen Konfidenzintervalls. Die Ergebnisse aus der Prozedur IML sind als bestandsspezifischer Entwicklungsverlauf der täglichen Körpermassezunahme, in Abhängigkeit des mittleren Alters der Tiere, in Abbildung 13 dargestellt.

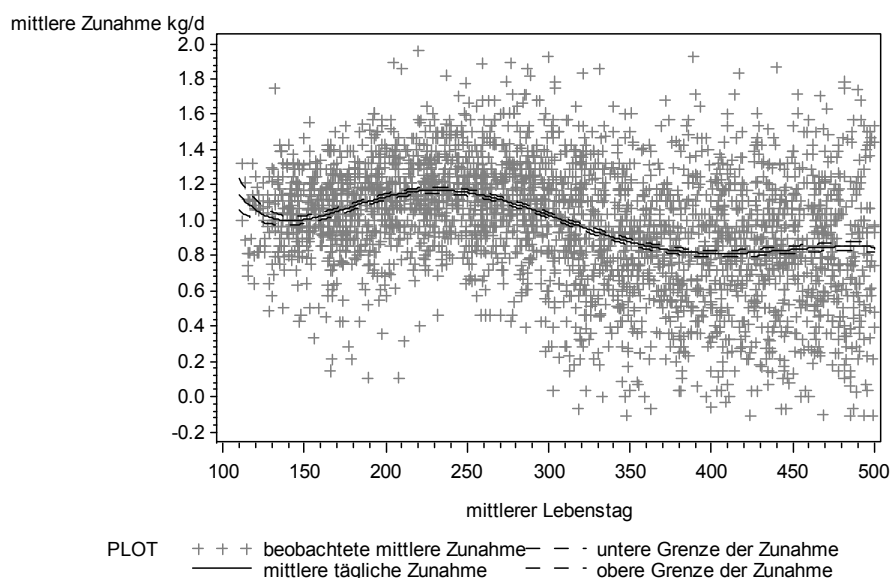


Abbildung 13: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der täglichen Zunahme des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom mittleren Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

Aus dem Vergleich der Abbildungen 12 und 13 wird deutlich, dass der Trend der lokalen Regression mit dem gewählten Modell 8 gut wiedergegeben wird. Lediglich vom 110. bis

140. Lebenstag unterscheiden sich die beiden Verläufe, was jedoch mit der geringen Anzahl an Beobachtungen in diesem Altersbereich erklärt werden kann.

Wie in der Vorgehensweise bei der statistischen Modellwahl beschrieben, wurden die OLS-Residuen des gewählten Modells aus Tabelle 11 einer Trendanalyse in Abhängigkeit des mittleren Lebensstages unterzogen. Abbildung 14 zeigt die Analyse der berechneten OLS-Residuen aus Modell 8.

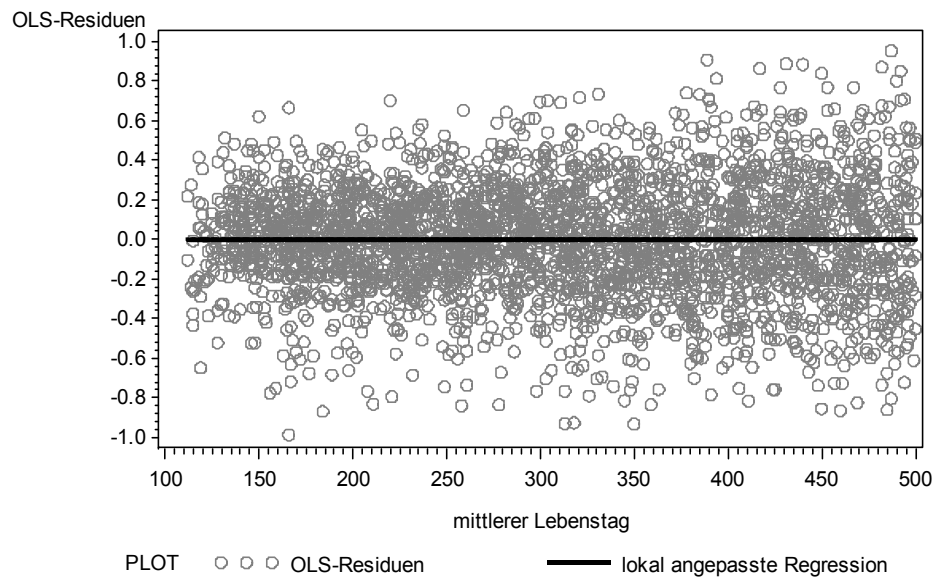


Abbildung 14: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und die OLS-Residuen aus Modell 8

In der Darstellung weisen die OLS-Residuen keinen Trend in Abhängigkeit des Alters auf. Jedoch ist auch bei den Residuen von Modell 8, ähnlich wie bei der Körpermasse, ein ansteigender Trend der Variabilität der Residuen in Abhängigkeit des Alters der Tiere zu erkennen. Dies muss bei der Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur berücksichtigt werden.

Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur

Da auch bei der täglichen Zunahme wiederholte Beobachtungen pro Tier vorlagen, mussten im Folgenden die zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur modelliert werden. So wurde in diesem Schritt das Vorzugsmodell 8 der Erwartungswertstruktur um einen zufälligen Tiereffekt erweitert.

Die Umsetzung der Modellanpassung der Kovarianzstruktur für die tägliche Zunahme war schwierig, da die Beobachtungswerte starke Schwankungen innerhalb Tier aufwiesen, weshalb sich die Tiere im mittleren Verlauf der täglichen Zunahme glichen. Aufgrund dessen wurde die Varianz zwischen den Tieren in den verschiedenen geprüften Modellen größtenteils Null geschätzt. Dies würde bedeuten, dass es keine tierindividuellen

Unterschiede im Merkmal tägliche Zunahme gibt und somit keine einzeltierspezifischen Verläufe abgebildet werden können.

So wurde versucht das Modell auf ein Random Regression Modell zur erweitern, beispielsweise durch die Einführung von zufälligen tierspezifischen Regressionskoeffizienten. Jedoch lieferte bereits die Zunahme der ersten beiden Kovariablen eine nicht positiv definierte Varianz-Kovarianz-Matrix für den Vektor der zufälligen Regressionskoeffizienten pro Tier.

Da zahlreiche Modelle gerechnet wurden, die immer wieder zu dem oben genannten Ergebnis führten, sollen in Tabelle 12 nur die wichtigsten Modelle und letztlich das gewählte Auswertungsmodell der Kovarianzstruktur dargestellt werden.

Tabelle 12: Modellanpassung für die tägliche Zunahme in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 8)

Modell	zufällige Effekte	Typ	q	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{REML}$
9	$e_{ij}(t)$	VC	1	0.083	3347	1315
10	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ij}(t)$	UN	2	0.084	2917	1315
11	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ijk}(t)$	UN	11	0.051 (AK 1) 0.055 (AK 2) 0.094 (AK 3) 0.116 (AK 4) 0.142 (AK 5)	2917	1066

mit $x_0(t) = 1$, q = Anzahl an Varianzkomponenten, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{REML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

So bildet a_{0i} den Vektor des zufälligen Regressionskoeffizienten von Tier i und x_0 die dazugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t ab. Der zufällige Resteffekt wird über e_{ij} bzw. e_{ijk} angegeben. Wie bereits bei der Prüfung der OLS-Residuen vermerkt, müssen in der Kovarianzstruktur bei der Modellierung der täglichen Zunahme heterogene Restvarianzen berücksichtigt werden. Die Varianz der Resteffekte wurde als spezifisch für die Altersklasse angesehen. Die Beschreibung der Korrelationen zwischen den Resteffekten von aufeinanderfolgenden Beobachtungen erfolgte mit der Toeplitz-Struktur. Seien $e_{ijk}(t_1)$, $e_{ijk}(t_2)$, $e_{ijk}(t_3)$, $e_{ijk}(t_4)$, $e_{ijk}(t_5)$ Resteffekte von aufeinanderfolgenden Beobachtungen des Tieres i in der Altersklasse k , dann gilt für die angewandte Toeplitz(2) Struktur:

$$\text{corr} \begin{pmatrix} e_{ijk}(t_1) \\ e_{ijk}(t_2) \\ e_{ijk}(t_3) \\ e_{ijk}(t_4) \\ e_{ijk}(t_5) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_1^{(k)} & 0 & 0 & 0 \\ \rho_1^{(k)} & 1 & \rho_1^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & \rho_1^{(k)} & 1 & \rho_1^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & \rho_1^{(k)} & 1 & \rho_1^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & \rho_1^{(k)} & 1 \end{pmatrix} * \sigma_{e_k}^2; k = 1, \dots, 5.$$

Gemäß dieser Definition werden Korrelationen zwischen Resteffekten, die nicht zu zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Beobachtungen gehören, gleich Null gesetzt. Für Toeplitz werden in der Prozedur MIXED verschiedene Strukturen angeboten. Jedoch zeigte die Toeplitz(2)-Struktur für die vorliegenden Daten die beste Anpassung.

Für das gewählte Vorzugsmodell erfolgte, gemäß der Vorgehensweise der statistischen Modellwahl, die Prüfung auf Normalverteilung der zufälligen Effekte und der Vergleich der beobachteten und geschätzten Standardabweichungen der OLS-Residuen. Zunächst soll Abbildung 15, in Form von Histogrammen, die Verteilung der zufälligen Effekte aus Modell 11 veranschaulichen.

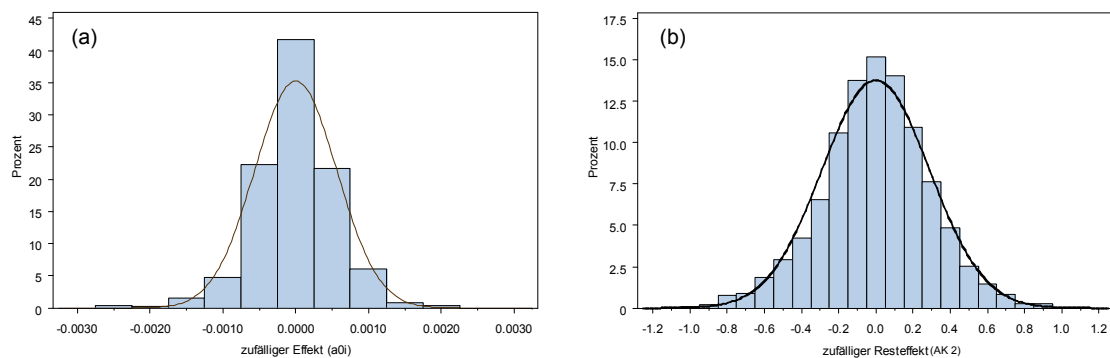


Abbildung 15: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{0i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 2

Für beide Grafiken kann die Normalverteilung der zufälligen Effekte bestätigt werden. Somit folgte im nächsten Prüfschritt der Vergleich der aus den OLS-Residuen berechneten Standardabweichungen und der modellgeschätzten Standardabweichungen als Wurzel der Varianzfunktion. Die grafische Darstellung der Funktionen im Vergleich wird in Abbildung 16 wiedergegeben.

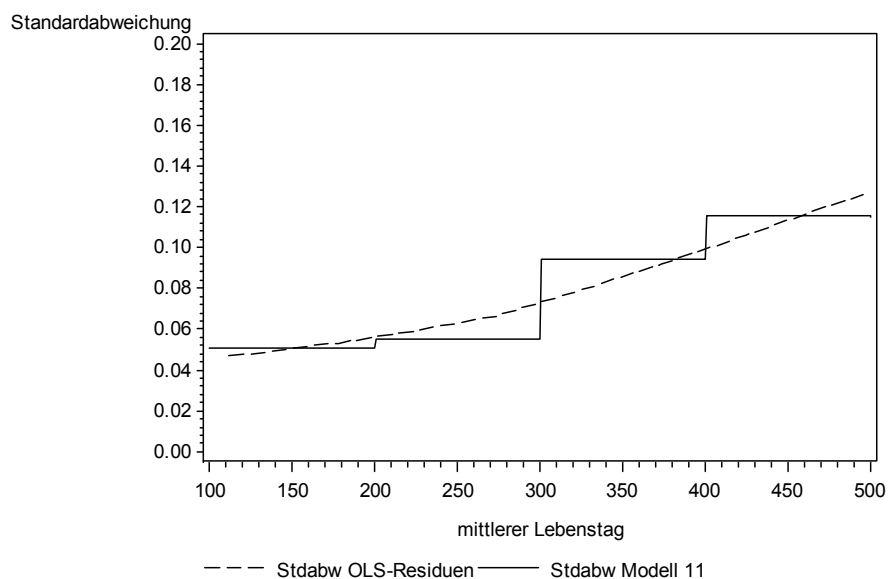


Abbildung 16: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 11

Analog zum Auswertungsmodell 11 ergibt sich, durch die Hinzunahme der heterogenen Restvarianz, ähnlich wie beim Merkmal Körpermasse, für die Wurzel der geschätzten Varianzfunktion entsprechend der Altersklassen, eine Treppenfunktion. Beide Funktionen stimmen ausreichend gut überein, so dass Modell 11 als Vorzugsmodell der Kovarianzstruktur ausgewählt werden kann.

Die Zusammenführung der beiden Modelle aus Erwartungswert- und Kovarianzstruktur ergibt folgendes Auswertungsmodell zur Beschreibung der täglichen Zunahme, welches einem Fixed Regression Modell entspricht:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^6 \beta_r * x_r(t) + \underline{a}_i + MJ_j + \underline{e}_{ijk}(t) \quad (17)$$

mit: $x_r(t) = (t/600)^r$, $r = 0, \dots, 6$.

Dabei werden die Beobachtungen $y_{ijk}(t)$ der mittleren täglichen Zunahme von Tier i innerhalb der Altersklasse k ($k = 1, \dots, 5$) in der Monats-Jahresklasse j zum Lebenstag t jeweils als Realisation einer Zufallsvariable $\underline{y}_{ijk}(t)$ aufgefasst. Weiter gilt:

β_r = fixer Regressionskoeffizient, zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$,

\underline{a}_{ir} = zufälliger Effekt von Tier i , zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ mit $\underline{a}_i \sim N(0; \sigma_{a_r}^2)$,

MJ_j = fixer Effekt der Monats-Jahresklasse j und

$\underline{e}_{ijk}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{ijk}(t) \sim N(0; \sigma_{e_k}^2)$.

Die Abbildung der tierindividuellen Entwicklung wäre mit dem in Gleichung (17) dargestellten Modell zwar möglich, jedoch würden sich die Verläufe der einzelnen Tiere nicht unterscheiden. Aus diesem Grund wurde auf eine grafische Darstellung verzichtet.

4.1.6 Entwicklung der Rückenfettdicke

Modellierung der Erwartungswertstruktur

Wie auch bei den vorhergehenden Merkmalen wurden die Beobachtungswerte der Rückenfettdicke zunächst in Abhängigkeit des Alters mit Hilfe der lokal angepassten Regression analysiert. Das Ergebnis der lokalen Regression ist in Abbildung 17 dargestellt.

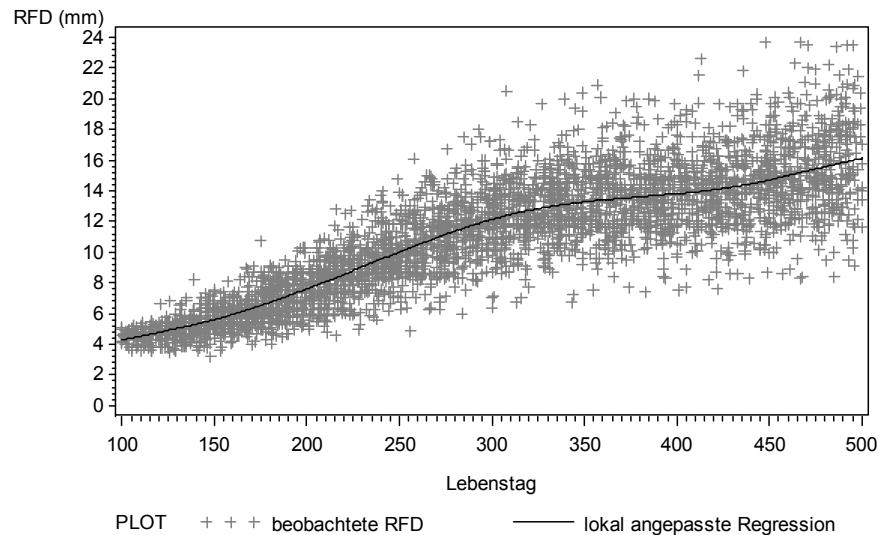


Abbildung 17: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.2) und Beobachtungswerte der Rückenfettdicke (RFD)

Ähnlich wie bei der Körpermasse, ist auch der Entwicklungsverlauf der Rückenfettdicke nichtlinear. Jedoch kann aus Abbildung 17 nicht sofort ein geeigneter Ansatz abgeleitet werden. Deutlich zu erkennen ist dennoch, dass die Rückenfettdicke keinem quadratischen Verlauf folgt. Ein weiterer Unterschied zur Körpermasse ist in der Variabilität der Beobachtungswerte zu finden. Im Merkmal Rückenfettdicke steigt diese mit zunehmendem Alter sehr stark an.

Unter Verwendung der ML-Methode konnte mit Hilfe der Prozedur MIXED die Erwartungswertstruktur mit verschiedenen festen Kovariablen modelliert werden. Dabei wurden zwei mögliche Ansätze zur Beschreibung des Entwicklungsverlaufes der Rückenfettdicke genutzt. Zur Anwendung kamen Polynome und Spline-Funktionen. Die Ergebnisse der Modellanpassung, unter Verwendung des $AICC_{ML}$, sind für beide Ansätze in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Modellanpassung für die Rückenfettdicke in der Erwartungwertstruktur

Modell	fixe Effekte	zufällige Effekte	p_x	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{ML}$
Polynom-Ansatz						
1	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t)$	$e_i(t)$	2	5.06	4241	18924
2	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t)$	$e_i(t)$	3	4.69	4240	18607
3	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t)$	$e_i(t)$	4	4.64	4239	18560
4	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_4 * x_4(t)$	$e_i(t)$	5	4.52	4238	18452
5	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_5 * x_5(t)$	$e_i(t)$	6	4.48	4237	18416
6	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + \dots + b_5 * x_5(t) + MT_j$	$e_{ij}(t)$	32	4.22	4212	18213
Spline-Ansatz						
	==> äquidistante Knoten					
7	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_6 * x_6(t) + b_7 * x_7(t)$	$e_i(t)$	6	4.52	4248	18499
	==> optimierte Knoten					
8	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_6 * x_6(t) + b_7 * x_7(t)$	$e_i(t)$	6	4.47	4248	18448
9	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_6 * x_6(t) + b_7 * x_7(t) + MT_j$	$e_{ij}(t)$	32	4.21	4223	18243

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $x_4(t) = (t/600)^4$, $x_5(t) = (t/600)^5$, $x_6(t) = ((t > Knoten_1) * (t - Knoten_1))^2$, $x_7(t) = ((t > Knoten_2) * (t - Knoten_2))^2$, p_x = Rang der Designmatrix der festen Effekte, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{ML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

Der Erwartungswert der Rückenfettdicke eines zufällig ausgewählten Tieres i zum Lebenstag t am j -ten Messtag wird durch die Regressionskoeffizienten b_0 bis b_7 und den dazugehörigen Kovariablen x_0 bis x_7 zum Lebenstag t wiedergegeben. Weiterhin ist MT_j der fixe Effekt von Messtag j und e_i bzw. e_{ij} sind die zufälligen Resteffekte. Analog zur Körpermasse und der täglichen Zunahme erfolgte auch für die Rückenfettdicke eine Standardisierung des Lebenstages t durch Division mit $t_{max} = 600$.

Unter Verwendung des Spline-Ansatzes erfolgte eine unterschiedliche Bestimmung der Knoten. Die äquidistanten Knoten wurden mit Hilfe der in SAS implementierten Prozedur GLIMMIX mit gleichem Abstand berechnet. Die optimierten Knoten konnten in der Prozedur NL MIXED als eigenständige Parameter berechnet und in den Optimierungsprozess einbezogen werden.

Bei Verwendung der $AICC_{ML}$ -Werte aus Tabelle 13 muss Modell 6 mit Polynomen fünften Grades als Vorzugsmodell für die Erwartungwertstruktur ausgewählt werden.

Mit Hilfe der Prozedur IML erfolgte dennoch für beide Modelle der Erwartungwertstruktur (Modell 6 und 9), unter Nutzung der geschätzten festen Effekte und deren VCM, die Berechnung der jeweiligen bestandsspezifischen Entwicklungsverläufe der Rückenfettdicke, die in Abbildung 18 gegenübergestellt werden.

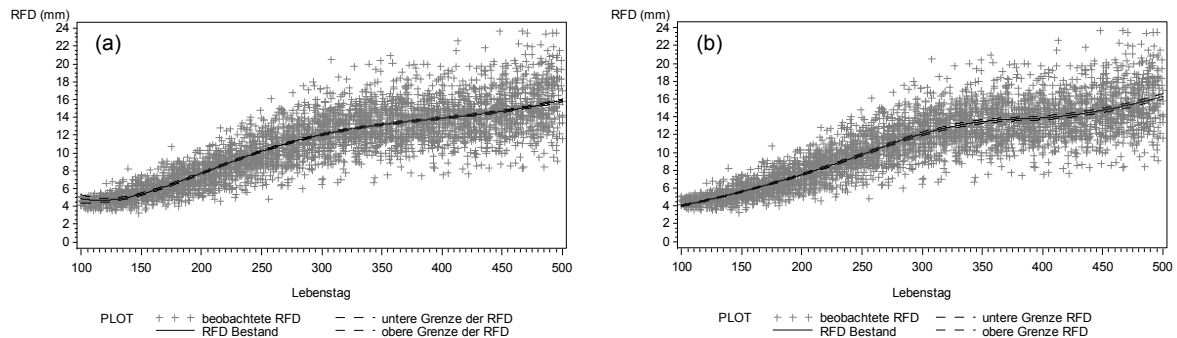


Abbildung 18: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf der Rückenfettdicke (RFD) des Bestandes für (a) Modell 6 und (b) Modell 9 sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebensstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

In der grafischen Darstellung sind kaum Unterschiede zwischen den Entwicklungsverläufen zu erkennen. Beide Modelle geben den Verlauf der Rückenfettdicke auch im Vergleich zu den Ergebnissen der lokalen Regression entsprechend gut wieder. Die ersten circa 300 Lebensstage steigt die Rückenfettdicke kontinuierlich an, bleibt danach auf einem relativ gleichbleibenden Niveau und nimmt im Alter von 450 Tagen erneut etwas stärker zu.

Die Analyse der OLS-Residuen zur Prüfung der Erwartungswertstruktur erfolgte für beide Modelle und wies kaum Unterschiede auf. Der Trend der OLS-Residuen für die jeweiligen Modelle wird in Abbildung 19 veranschaulicht.

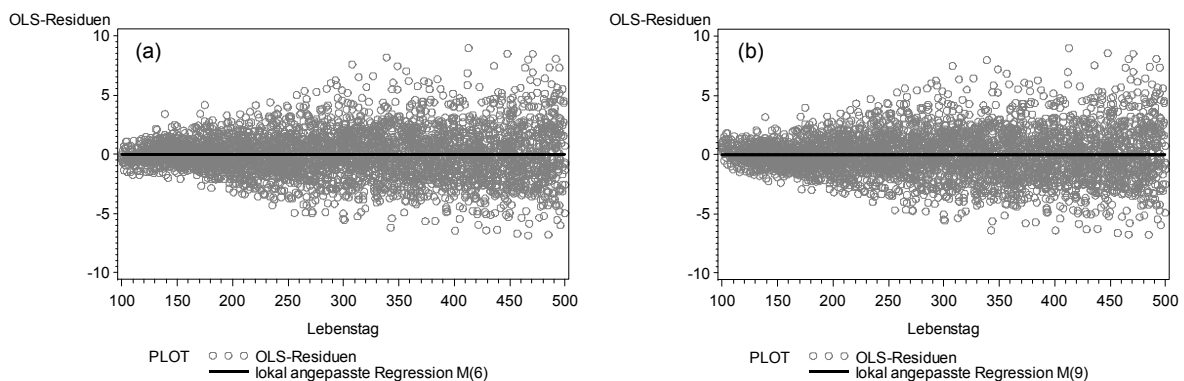


Abbildung 19: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und OLS-Residuen für (a) Modell 6 und für (b) Modell 9

Auch die Residuen der Modelle 6 und 9 weisen einen sehr deutlichen Anstieg der Variabilität mit zunehmendem Alter auf. Dies muss letztlich bei der Modellanpassung in der Kovarianzstruktur berücksichtigt werden. Ein zeitlicher Trend der Residuen liegt in den beiden Diagrammen in Abbildung 19 nicht vor, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass alle wichtigen festen Effekte in der Erwartungswertstruktur berücksichtigt wurden.

Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur

Mit der im nächsten Schritt folgenden Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur ist dem Sachverhalt Rechnung zu tragen, dass wiederholte Beobachtungen pro Tier vorlagen. Dazu wurde die Erwartungswertstruktur Schritt für Schritt mit einem vom zufälligen Tiereffekt abhängigen Regressionskoeffizienten erweitert, wobei die festen Effekte des Vorzugsmodells aus der Erwartungswertstruktur beibehalten wurden. Für die Varianz-Kovarianz-Matrix konnten ebenfalls die Typen VC und UN verwendet werden. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Modellanpassung sowohl für den polynomialen- als auch für den Spline-Ansatz dargestellt.

Tabelle 14: Modellanpassung für die Rückenfettdicke in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 6 und Modell 9)

Modell	zufällige Effekte	Typ	q	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{REML}$
Polynom-Ansatz						
10	$e_{ij}(t)$	VC	1	4.25	4212	18176
11	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ij}(t)$	VC	2	1.68	3725	15459
12	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	VC	3	1.12	3268	14205
13	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	UN	4	1.04	3268	14023
14	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + e_{ij}(t)$	UN	7	0.90	2850	13777
15	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + a_{3i} * x_3(t) + e_{ij}(t)$	UN	11	0.78	2472	13445
16	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{4i} * x_4(t) + e_{ij}(t)$	UN	16	0.71	2183	13312
17	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{5i} * x_5(t) + e_{ij}(t)$	UN	22	keine Konvergenz		
18	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{4i} * x_4(t) + e_{ijk}(t)$	UN	20	0.30(AK1)	2183	13107
				0.60(AK2)		
				0.96(AK3)		
				0.86(AK4)		
				1.56(AK5)		
Spline-Ansatz (optimierte Knoten)						
19	$e_{ij}(t)$	VC	1	4.32	4223	18222
20	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ij}(t)$	VC	2	1.69	3736	15528
21	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + a_{6i} * x_6(t) + a_{7i} * x_7(t) + e_{ij}(t)$	VC	6	0.88	2218	13893
22	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + a_{6i} * x_6(t) + a_{7i} * x_7(t) + e_{ij}(t)$	UN	16	0.67	2218	13258
23	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + a_{6i} * x_6(t) + a_{7i} * x_7(t) + e_{ijk}(t)$	UN	21	0.30(AK1)	2218	13069
				0.58(AK2)		
				0.86(AK3)		
				0.80(AK4)		
				1.48(AK5)		

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $x_4(t) = (t/600)^4$, $x_5(t) = (t/600)^5$, $x_6(t) = ((t > Knoten_1) * (t - Knoten_1))^2$, $x_7(t) = ((t > Knoten_2) * (t - Knoten_2))^2$, q = Anzahl an Varianzkomponenten, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{REML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

In der Kovarianzstruktur sind a_{0i} bis a_{7i} die Vektoren der zufälligen Regressionskoeffizienten von Tier i , x_0 bis x_7 die dazugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t und e_{ij} bzw. e_{ijk} bilden den zufälligen Resteffekt ab. In der Modellanpassung zeigte sich, dass eine Abhängigkeit der Regressionskoeffizienten mit Typ UN zu bevorzugen ist. Da bei der Analyse der OLS-Residuen, geschätzt aus den Modellen der Erwartungswertstruktur, eine zunehmende Streuung der Rückenfettdicke mit steigendem Alter beobachtet wurde, konnte mit dem Vektor e_{ijk} , der die heterogene Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklassen darstellt, eine deutlich Verbesserung in der Modellanpassung erreicht werden. Im Gegensatz zur Erwartungswertstruktur zeigte der Spline-Ansatz eine bessere Anpassung in der Kovarianzstruktur als der Polynom-Ansatz. Somit wurde als Vorzugsmodell der Kovarianzstruktur Modell 23 ausgewählt.

Im Weiteren erfolgte die Überprüfung der Verteilung der zufälligen Effekte aus Modell 23. Hierfür wurden die zufälligen Effekte ausgelesen und mit Hilfe der Prozedur UNIVARIATE Histogramme erstellt. Auszugsweise soll aus dieser Analyse die Verteilung eines zufälligen Tier- und Resteffektes in Abbildung 20 dargestellt werden.

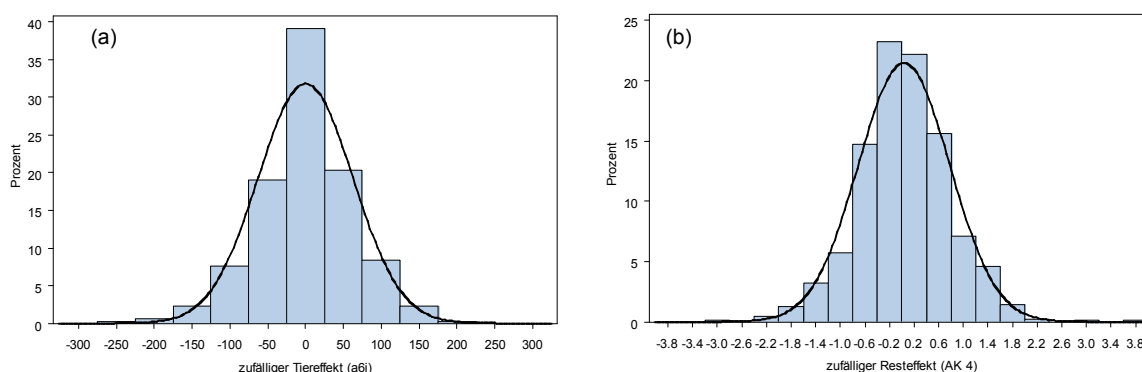


Abbildung 20: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{6i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 4

Die Abbildung zeigt, dass beide dargestellten zufälligen Effekte aus Modell 23 einer Normalverteilung folgen. Da die weiteren in diesem Modell berücksichtigten zufälligen Effekte ähnlich verteilt sind, kann die Annahme der Normalverteilung bestätigt werden. So konnten als Nächstes die aus den OLS-Residuen berechneten Standardabweichungen und die aus Modell 23 geschätzten Standardabweichungen, als Wurzel der Varianzfunktion, miteinander verglichen werden. In Abbildung 21 sind die Verläufe der Standardabweichungen gegenübergestellt.

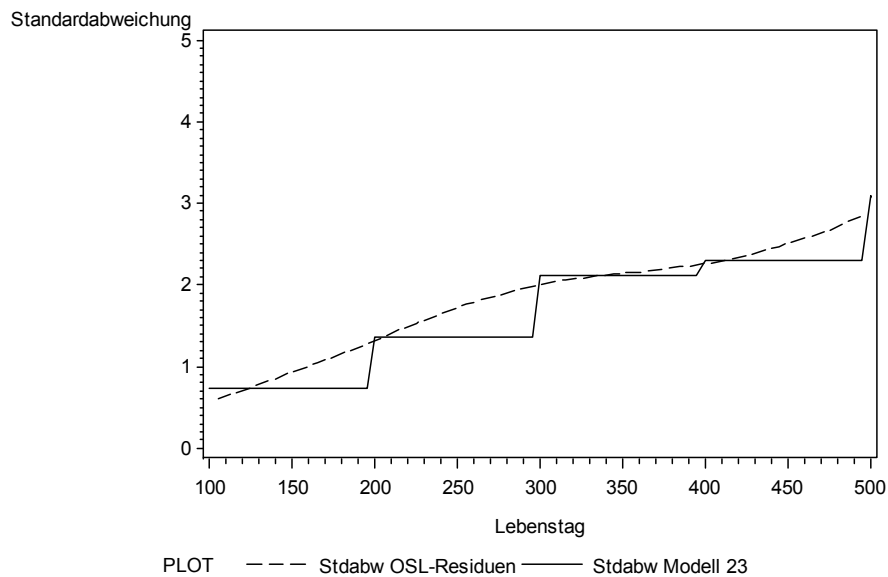


Abbildung 21: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 23

Die grafische Darstellung zeigt, dass die Funktionen der OLS-Residuen und des Modells 23 sehr gut übereinstimmen. Das heißt, die Variabilität der OLS-Residuen wird mit dem gewählten Modell sehr gut abgebildet. Auch hier entspricht die Funktion aus Modell 23, entsprechend der berücksichtigten heterogenen Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklassen, einer Treppenfunktion.

Aus den Ergebnissen der Modellwahl und der Überprüfung der Residuen aus der Erwartungswert- und Kovarianzstruktur wird der Spline-Ansatz von Modell 23 mit linear-quadratischem Ansatz und zwei optimierten Knoten als Auswertungsmodell zur Beschreibung der Entwicklung der Rückenfettdicke ausgewählt. Das vollständige Auswertungsmodell mit festen und zufälligen Effekten entspricht einem Random Regression Modell und wird wie folgt beschrieben:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^2 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + \sum_{s=1}^2 (\beta_s + \underline{a}_{is}) * (x_s(t) - k_s)_+^2 + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t) \quad (18)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r; \quad x_s(t) = (t/600)^s; \quad r = 0,1,2; \quad s = 1,2.$$

Dabei werden die Beobachtungen $y_{ijk}(t)$ der Rückenfettdicke von Tier i innerhalb der Altersklasse k ($k = 1, \dots, 5$) am Messtag j zum Lebensstag t jeweils als Realisation einer Zufallsvariable $\underline{y}_{ijk}(t)$ aufgefasst. Weiterhin gilt Folgendes:

β_r, β_s = fixer Regressionskoeffizient, zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ bzw. $x_s(t)$,
 a_{ir}, a_{is} = zufälliger Effekt von Tier i , zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ bzw. $x_s(t)$ mit
 $a_i \sim N(0; \sigma_{a_r}^2)$,
 k_s = Knotenpunkt ($s = 1,2$),
 MT_j = fixer Effekt des Messtages j und
 $e_{ijk}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $e_{ijk}(t) \sim N(0; \sigma_{e_k}^2)$.

Zur Beschreibung der Entwicklung der Rückenfettdicke aus dem oben beschriebenen Modell, erfolgte im letzten Schritt die Berechnung der einzeltierspezifischen Entwicklung mit Hilfe der Prozedur IML, unter Verwendung der Schätzungen der festen und zufälligen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix. In Abbildung 22 sind die Ergebnisse zweier Einzeltiere grafisch dargestellt. Hierzu wurden zum besseren Vergleich erneut die Tiere mit der Stallnummer 73 und 283 ausgewählt und im Vergleich zur Bestandsentwicklung abgebildet.

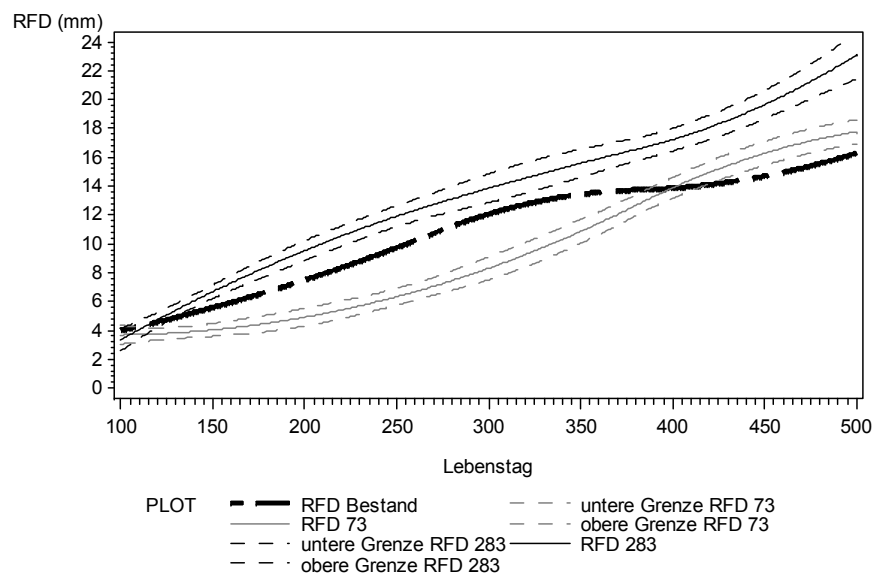


Abbildung 22: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes (RFD Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (RFD 73) und Tier 283 (RFD 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebensstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

Auch für die Rückenfettdicke wird die unter der Bestandskurve liegende Entwicklung von Tier 73 deutlich, jedoch übersteigt das Tier mit circa 400 Lebenstagen die Bestandskurve und verläuft leicht oberhalb dieser Kurve. Weiterhin wird der Entwicklungsverlauf, der sich in der Körpermasse für Tier 283 als sehr intensiv zeigte, ebenso in der Rückenfettdicke widergespiegelt. Zunächst verläuft die Rückenfettdicke unterhalb der Bestandskurve, steigt jedoch ab dem 130. Lebenstag deutlich an und verläuft oberhalb des bestandsspezifischen Entwicklungsverlaufes. Ab Lebenstag 400 nimmt die Rückenfettdicke von Tier 283 erneut stark zu. Die Abbildung der einzeltierspezifischen

Verläufe zeigt wie gut mit dem gewählten Modell die tierindividuellen Unterschiede abgebildet werden können.

4.1.7 Entwicklung des Body Condition Score

Modellierung der Erwartungswertstruktur

Aufgrund der Ergebnisse aus Abschnitt 4.1.3 soll in diesem Abschnitt ausschließlich die Modellanpassung von BCS 8 betrachtet werden. Dieser BCS wies den höchsten Zusammenhang zur Rückenfettdicke auf und wurde damit als mögliche Alternative zur Messung der Rückenfettdicke überprüft.

Ähnlich wie bei den vorhergehenden Merkmalen erfolgte im ersten Schritt, mit Hilfe der Prozedur LOESS, die Schätzung der lokal angepassten Regression, um zu prüfen, wie sich die Beobachtungswerte in Abhängigkeit des Alters verhalten. Das grafische Ergebnis der lokalen Regression ist in Abbildung 23 dargestellt.

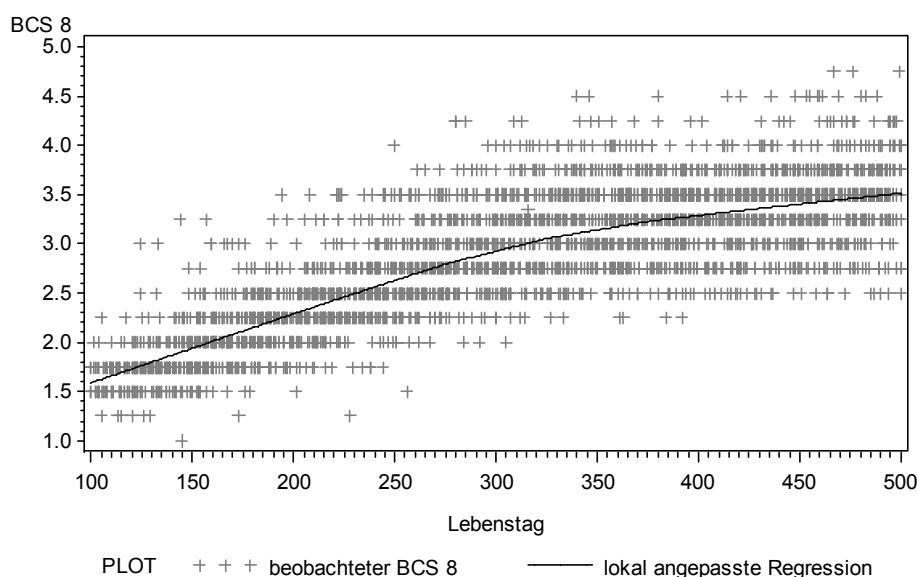


Abbildung 23: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.7) und Beobachtungswerte von BCS 8

Die Abbildung zeigt einen nichtlinearen Verlauf des BCS 8 und deutet, ähnlich wie bei der Körpermasse, auf einen quadratischen Ansatz hin. Der BCS stellt aus biometrischer Sicht ein geordnetes, kategoriales Merkmal dar. In der vorliegenden Untersuchung wurde jedoch eine Abstufung gewählt, die den BCS als "quasi"-quantitatives Merkmal erscheinen lässt. Entsprechend wurde für dieses Merkmal ebenso die Anwendung eines linearen gemischten Modells geprüft.

Unter Verwendung der ML-Methode in der Prozedur MIXED konnten nun Schritt für Schritt neue Kovariablen in das Modell aufgenommen und so die Erwartungswertstruktur modelliert werden. Die Ergebnisse der Modellanpassung sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Modellanpassung der Erwartungswertstruktur für BCS 8

Modell	festе Effekte	zufällige Effekte	p_x	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{ML}$
1	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t)$	$e_i(t)$	2	0.17	3712	4011
2	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t)$	$e_i(t)$	3	0.15	3711	3478
3	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t)$	$e_i(t)$	4	0.15	3710	3467
4	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t) + b_4 * x_4(t)$	$e_i(t)$	5	0.15	3709	3424
5	$b_0 * x_0(t) + b_1 * x_1(t) + b_2 * x_2(t) + b_3 * x_3(t) + b_4 * x_4(t) + MT_j$	$e_{ij}(t)$	26	0.10	3689	2027

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $x_4(t) = (t/600)^4$, p_x = Rang der Designmatrix der festen Effekte, $\hat{\sigma}_e^2$ = Restvarianz, df = Freiheitsgrade, $AICC_{ML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

Es wird der Erwartungswert des BCS 8 vom i -ten Tier am j -ten Messtag beschrieben, wobei b_0 bis b_4 die Regressionskoeffizienten und x_0 bis x_4 die zugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t sind. Weiterhin ist MT_j der feste Effekt des Messtages j und e_i bzw. e_{ij} sind die zufälligen Resteffekte. Auch beim BCS erfolgte aus Gründen einer schnelleren Konvergenz eine Standardisierung des Lebensstages, analog zu den vorher beschriebenen Merkmalen. Aus Tabelle 15 konnte, entsprechend des $AICC_{ML}$ -Wertes, Modell 5 mit Polynomen vierten Grades und zusätzlicher Berücksichtigung des Messtages als Vorzugsmodell der Erwartungswertstruktur ausgewählt werden.

Unter Nutzung der geschätzten festen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix erfolgte mit Hilfe der Prozedur IML die Berechnung der bestandsspezifischen Entwicklung des BCS 8 und dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit des Lebensstages. In Abbildung 24 sind der geschätzte Verlauf und die tatsächlich bonitierten Werte gegenübergestellt.

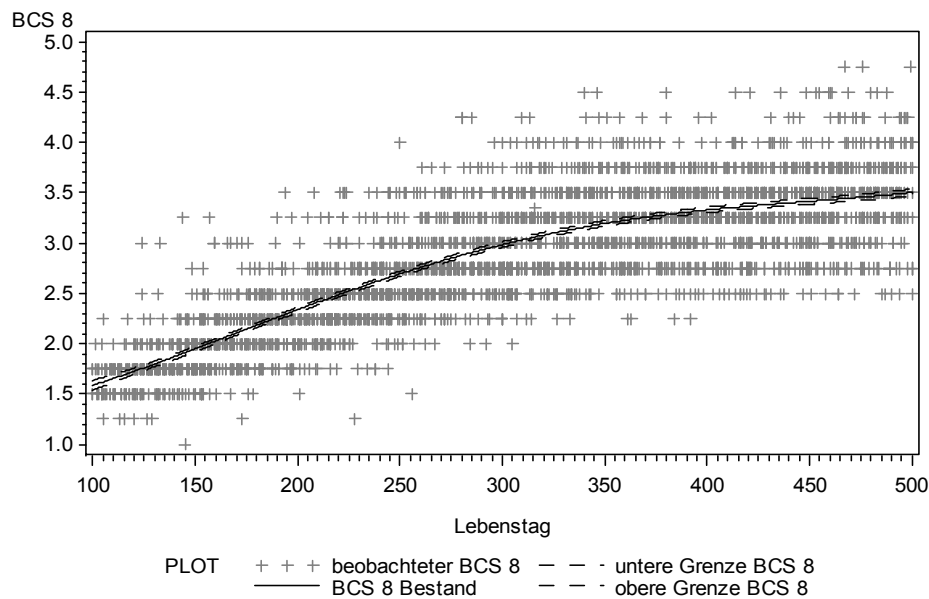


Abbildung 24: Merkmalsbeobachtungen und geschätzter Entwicklungsverlauf von BCS 8 des Bestandes sowie dessen Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

Da die beobachteten BCS-Werte eine deutliche Streuung aufweisen, kann kein so gutes Ergebnis wie bei der Körpermasse erzielt werden. Dennoch stimmen Entwicklungsverlauf, geschätzt mit Modell 5, und der Verlauf, der mit Hilfe der lokalen Regression berechnet wurde, sehr gut überein. So steigt der BCS in den ersten 100 bis 350 Lebenstagen deutlich an und bleibt danach relativ konstant auf einem Niveau zwischen 3.25 und 3.50. Weiterhin ist anzumerken, dass sich der Verlauf in Abbildung 24 und der bestandsspezifische Verlauf der Rückenfettdicke in Abbildung 22 bis zum circa 430. Lebenstag sehr stark gleichen.

Ob die wichtigsten festen Effekte im Modell berücksichtigt wurden, konnte analog zu den vorhergehend beschriebenen Merkmalen anhand der OLS-Residuen geprüft werden. Die Darstellung der Residuen in Abhängigkeit des Alters der Tiere, geschätzt mit Modell 5, ist in Abbildung 25 dargestellt.

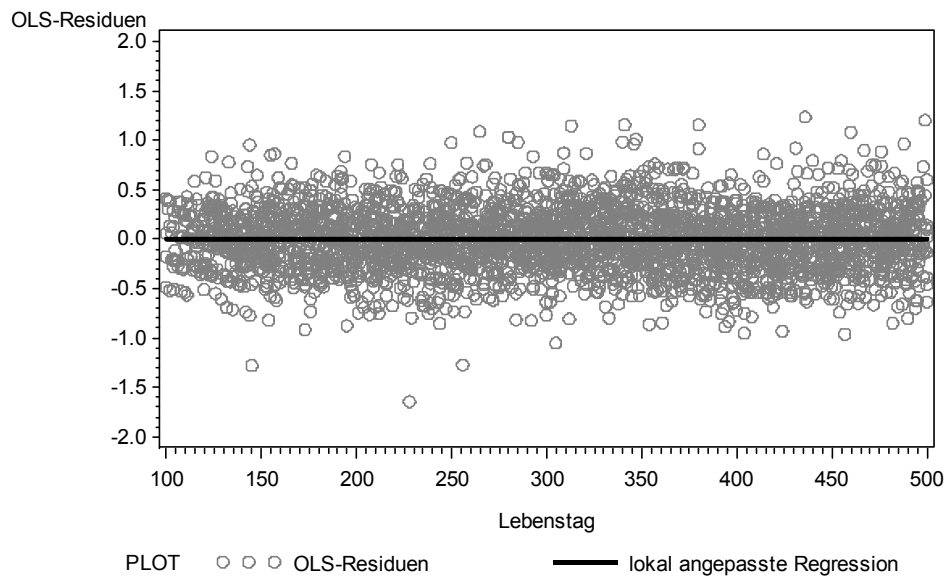


Abbildung 25: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=1) und die OLS-Residuen aus Modell 5

Die OLS-Residuen weisen keinen Trend in Abhängigkeit des Alters auf. Somit konnte davon ausgegangen werden, dass im Modell 5 die wesentlichen festen Effekte in die Erwartungswertstruktur einbezogen wurden. Gegenüber den bisher untersuchten Merkmalen konnte für den BCS 8 keine steigende Variabilität der OLS-Residuen mit zunehmendem Alter der Tiere beobachtet werden. Somit erfolgte im nächsten Schritt die Erweiterung von Modell 5 in der Kovarianzstruktur.

Modellierung der zufälligen Effekte und deren Kovarianzstruktur

Da auch im Falle der BCS-Bonitur wiederholte Beobachtungen pro Tier vorlagen, müssen zufällige Tiereffekte berücksichtigt werden. Hierzu wurde das Vorzugsmodell der Erwartungswertstruktur um zufällige, vom Tiereffekt abhängige, Regressionskoeffizienten erweitert. Die festen Effekte konnten entsprechend Modell 5 übernommen werden. Ebenso wie bei der Modellanpassung der vorher beschriebenen Merkmale erfolgte für die Varianz-Kovarianz-Matrix der zufälligen Regressionskoeffizienten die Nutzung der Typen VC und UN. Die Modellanpassung der Kovarianzstruktur ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Modellanpassung für BCS 8 in der Kovarianzstruktur (feste Effekte gemäß Modell 5)

Modell	zufällige Effekte	Typ	q	$\hat{\sigma}_e^2$	df	$AICC_{REML}$
6	$e_{ij}(t)$	VC	1	0.10	3689	2099
7	$a_{0i} * x_0(t) + e_{ij}(t)$	VC	2	0.06	3214	956
8	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	VC	3	0.05	2810	845
9	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + e_{ij}(t)$	UN	4	0.05	2810	792
10	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + a_{2i} * x_2(t) + e_{ij}(t)$	UN	7	0.05	2434	755
11	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{3i} * x_3(t) + e_{ij}(t)$	UN	11	0.05	2091	734
12	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{4i} * x_4(t) + e_{ij}(t)$	UN	16	0.05	1761	731
13	$a_{0i} * x_0(t) + a_{1i} * x_1(t) + \dots + a_{4i} * x_4(t) + e_{ijk}(t)$	UN	20	0.047 (AK 1) 0.048 (AK 2) 0.054 (AK 3) 0.043 (AK4) 0.034 (AK 5)	1761	724

mit $x_0(t) = 1$, $x_1(t) = t/600$, $x_2(t) = (t/600)^2$, $x_3(t) = (t/600)^3$, $x_4(t) = (t/600)^4$, $q =$ Anzahl an Varianzkomponenten, $\hat{\sigma}_e^2 =$ Restvarianz, $df =$ Freiheitsgrade, $AICC_{REML} =$ korrigiertes Akaike-Kriterium

In Tabelle 16 bilden a_{0i} bis a_{4i} den Vektor der zufälligen Regressionskoeffizienten von Tier i , x_0 bis x_4 die zugehörigen Kovariablen zum Lebenstag t und e_{ij} bzw. e_{ijk} den zufälligen Resteffekt ab. Auch für BCS 8 stellte sich heraus, dass durch die Hinzunahme der heterogenen Restvarianz, beschrieben mit Hilfe des Vektors e_{ijk} , eine geringe Verbesserung in der Modellanpassung erreicht werden konnte, obwohl dies nicht deutlich aus der Analyse der OLS-Residuen hervorging. Aus Tabelle 16 wird somit Modell 13 als Vorzugsmodell der Kovarianzstruktur, unter Verwendung des $AICC_{REML}$, ausgewählt.

Die Prüfung der Kovarianzstruktur erfolgte zunächst über die Prüfung der Verteilung der zufälligen Tier- und Resteffekte. In Abbildung 26 ist die Verteilung eines zufälligen Tiereffektes und eines heterogenen Resteffektes als Beispiel abgebildet.

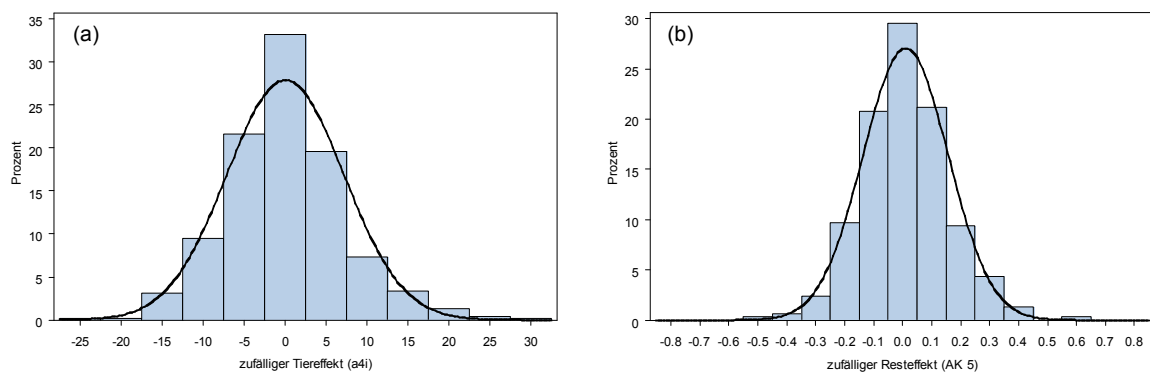


Abbildung 26: Normalverteilung (a) des zufälligen Tiereffektes a_{4i} und (b) des zufälligen Resteffektes der Altersklasse 5

Beide Histogramme in Abbildung 26 zeigen, dass die als Beispiel ausgewählten zufälligen Effekte gut angepasst sind und einer Normalverteilung folgen. Ähnlich sehen die

Verteilungen der weiteren zufälligen Tier- und Resteffekte aus, weshalb eine Normalverteilung aller zufälligen Effekte angenommen werden konnte.

Weiterhin erfolgte zur Überprüfung der Modellannahme der Vergleich der aus den OLS-Residuen berechneten Standardabweichungen und der modellgeschätzten Standardabweichungen als Wurzel der Varianzfunktion. Der grafische Vergleich der beiden Funktionen ist in Abbildung 27 dargestellt.

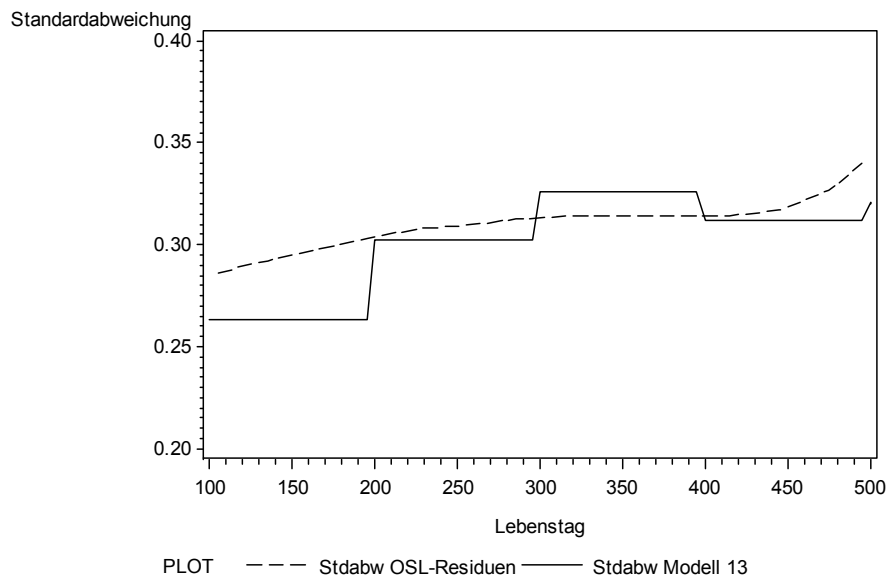


Abbildung 27: Standardabweichung (Stdabw) der OLS-Residuen und modellgeschätzte Standardabweichung als Wurzel der Varianzfunktion aus Modell 13

Es kann eine ausreichend gute Abbildung der Variabilität der OLS-Residuen mit dem gewählten Modell und dessen zufälligen Effekten sowie der Varianz-Kovarianz-Matrix erzielt werden. Da wie bei den anderen Merkmalen eine Berücksichtigung der heterogenen Restvarianz nach $AICC_{REML}$ zu bevorzugen war, ergibt sich auch hier für die modellgeschätzte Funktion ein treppenähnlicher Verlauf. Im Vergleich zu den in Abschnitten 4.1.4 bis 4.1.6 analysierten Merkmalen wird aber deutlich, dass für BCS 8 eine schlechtere Übereinstimmung der beiden Funktionen erreicht wurde.

Da die Überprüfung der Erwartungswert- und Kovarianzstruktur abgeschlossen wurde, können nun die Vorzugsmodelle der Erwartungswert- und Kovarianzstruktur zu einem Auswertungsmodell für die Beschreibung des Entwicklungsverlaufes der BCS-Stelle 8 zusammengeführt werden. Für dieses Random Regression Modell mit festen und zufälligen Effekten gilt nun:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^4 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t) \quad (19)$$

mit: $x_r(t) = (t/600)^r$, $r = 0, \dots, 4$.

Dabei werden die Beobachtungen $y_{ijk}(t)$ des BCS 8 von Tier i innerhalb der Altersklasse k ($k = 1, \dots, 5$) am Messtag j zum Lebenstag t jeweils als Realisation einer Zufallsvariable $y_{ijk}(t)$ aufgefasst. Weiter gilt:

β_r = fixer Regressionskoeffizient, zugehörig zu Kovariable $x_r(t)$,

a_{ir} = zufälliger Effekt von Tier i , zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ mit $a_i \sim N(0; \sigma_{a_r}^2)$,

MT_j = fixer Effekt des Messtages j und

$e_{ijk}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $e_{ijk}(t) \sim N(0; \sigma_{e_k}^2)$.

Im letzten Schritt erfolgte mit Hilfe der Prozedur IML, analog zu den Merkmalen Körpermasse und Rückenfettdicke, die Berechnung der einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe von BCS 8. Für einen besseren Vergleich der Merkmale untereinander wurde bei den tierindividuellen BCS-Verläufen ebenfalls auf Tier 73 und Tier 283 zurückgegriffen, die gemeinsam mit der Bestandsentwicklung in Abbildung 28 dargestellt sind.

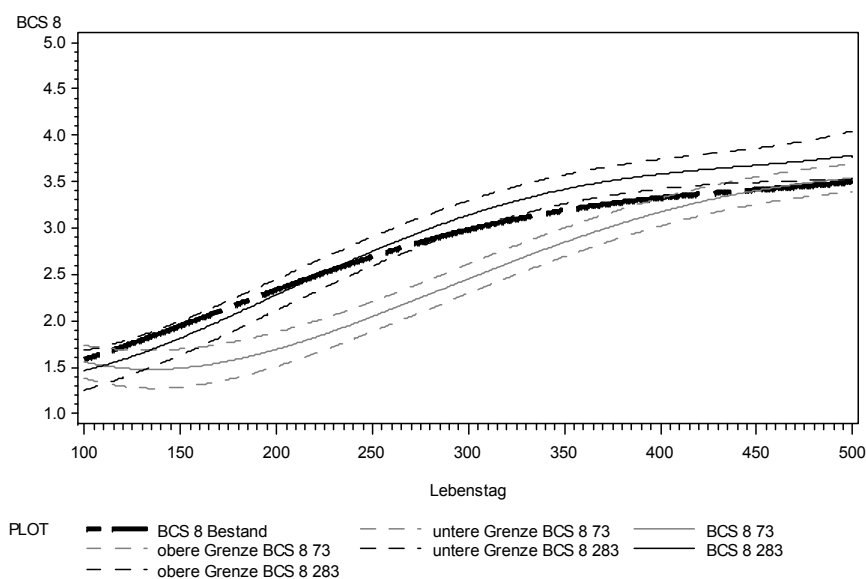


Abbildung 28: Gegenüberstellung des bestandspezifischen Verlaufes (BCS 8 Bestand) und des tierindividuellen Entwicklungsverlaufes von Tier 73 (BCS 8 73) und Tier 283 (BCS 8 283) sowie deren Konfidenzintervalle in Abhängigkeit vom Lebenstag (Intervallgrenzen zweiseitig, $P=0.95$)

Der Trend beider Tiere ist für die erfassten Entwicklungsmerkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 identisch. Die Entwicklung von Tier 73 bestätigt sich ebenfalls in der Körperkondition, jedoch nähert sich das Tier ab dem 400. Lebenstag, ähnlich wie bei der Rückenfettdicke, wieder der Bestandskurve an. Tier 283 verläuft bis zum 230. Lebenstag etwas unterhalb des Bestandes und übersteigt mit circa 280 Lebenstagen den Bestandsverlauf. Auch der Verlauf des BCS 8 von Tier 283 ähnelt dem Verlauf der Rückenfettdicke.

Anhand der Abbildung wird deutlich, dass mit dem gewählten Auswertungsmodell die Möglichkeit besteht, einzeltierspezifische Entwicklungsverläufe abzubilden sowie die Unterschiede zwischen den einzelnen Tieren wiederzugeben.

4.1.8 Zusammenhang der Tiereffekte der Merkmale

In Abschnitt 4.1.3 erfolgte bereits die Beschreibung des tendenziellen Zusammenhanges der erfassten Merkmale mittels phänotypischer Korrelation. Rückblickend werden in Abbildung 29 die Korrelationskoeffizienten der Beobachtungen von Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 in Abhängigkeit der Altersklassen zusammengefasst dargestellt.

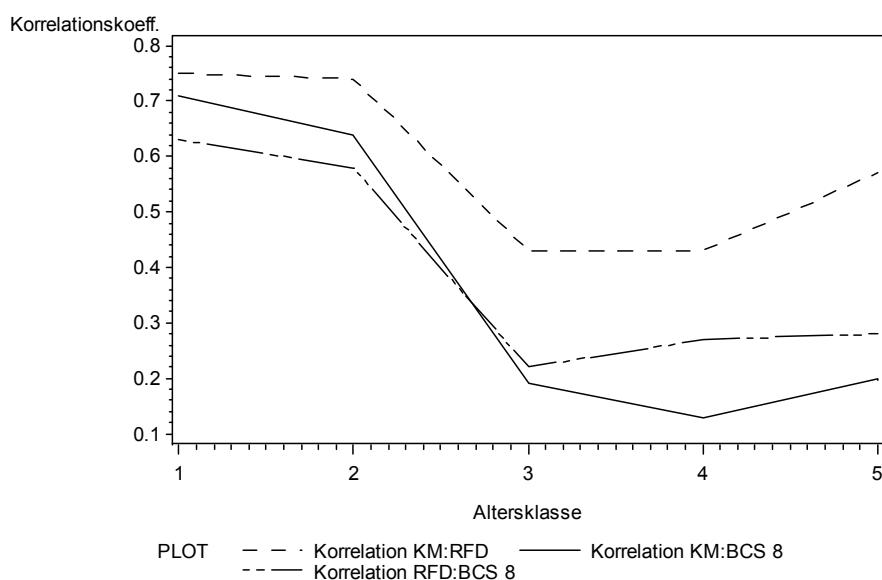


Abbildung 29: Korrelationskoeffizienten der Merkmalsbeobachtungen in Abhängigkeit der Altersklassen

In diesem Abschnitt soll nun der Zusammenhang der Tiereffekte untersucht werden. Grund hierfür ist die von Störgrößen unabhängige Untersuchung des Merkmalszusammenhanges. Die Berechnung der Tiereffekte erfolgte aus den jeweiligen Auswertungsmodellen der einzelnen Merkmale, unter Verwendung der Prozedur IML. So wurde für jedes Tier, zu jedem Lebensstag, ein Tiereffekt geschätzt, welcher die tierindividuelle Abweichung zur geschätzten Bestandskurve darstellt. Im weiteren Verlauf erfolgte die Korrelation der Tiereffekte der einzelnen Merkmale, um deren Zusammenhang zu beschreiben. In den folgenden Abbildungen 30 bis 32 sind die Korrelationskoeffizienten der Tiereffekte von Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 in Abhängigkeit der Lebensstage dargestellt.

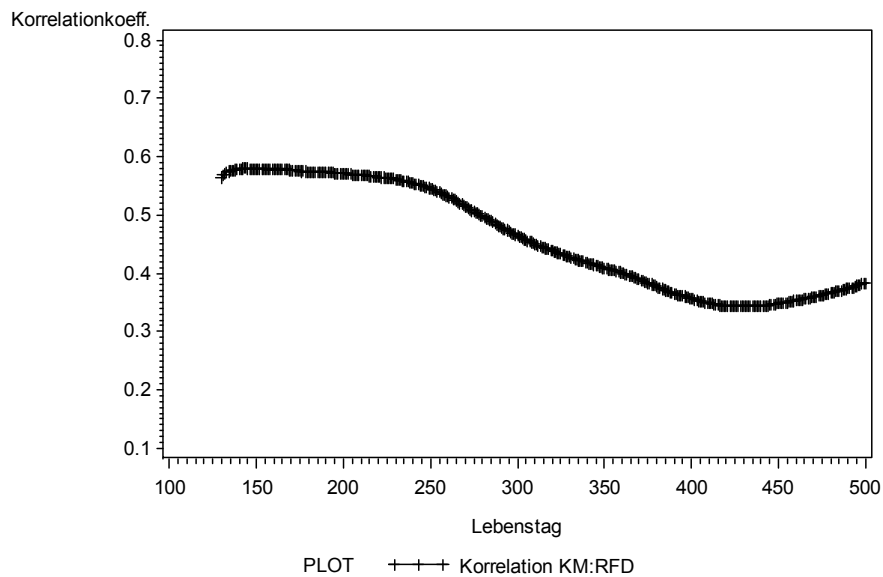


Abbildung 30: Korrelation der Tiereffekte von Körpermasse und Rückenfettdicke in Abhängigkeit des Lebensstages

Der Verlauf der Korrelationskoeffizienten der Tiereffekte von Körpermasse und Rückenfettdicke in Abbildung 30 ähnelt grundsätzlich dem Verlauf der Merkmalsbeobachtungen aus Abbildung 29. Jedoch fällt der Zusammenhang der Tiereffekte insgesamt niedriger aus, als bei den Beobachtungen von Körpermasse und Rückenfettdicke.

Etwas anders verlaufen hingegen die Korrelationskoeffizienten der Tiereffekte von Körpermasse und BCS 8, dargestellt in Abbildung 31.

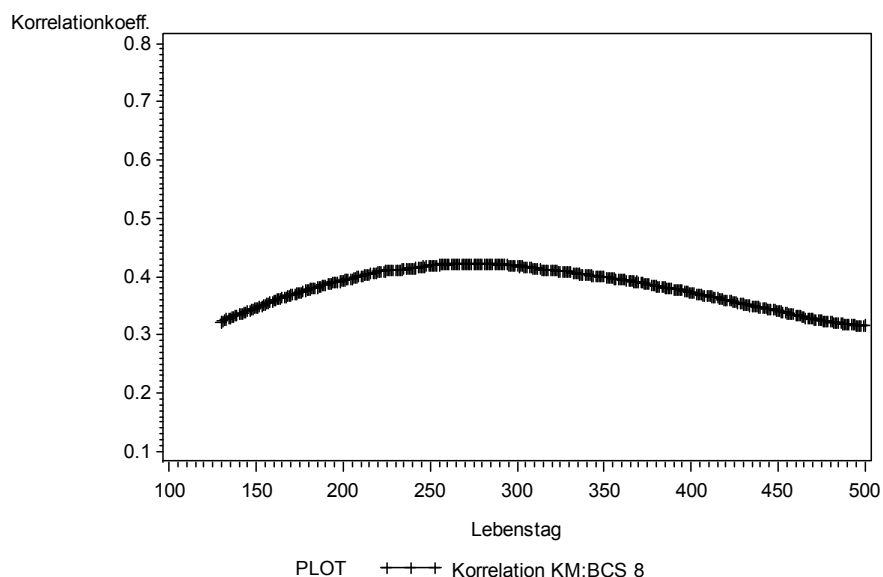


Abbildung 31: Korrelation der Tiereffekte von Körpermasse und BCS 8 in Abhängigkeit des Lebensstages

Der gezeigte Verlauf in Abbildung 31 entspricht wenig dem Verlauf der Korrelationen der beobachteten Merkmale. Der Zusammenhang ist während der ersten 100 Lebensstage

deutlich niedriger, als bei den phänotypischen Korrelationen. Jedoch nimmt der Zusammenhang der Tiereffekte, im Gegensatz zu der in Abbildung 29 gezeigten Korrelation, bis zum circa 250. Lebenstag leicht zu. Erst ab dem 300. Lebenstag sinkt der Zusammenhang der Tiereffekte kontinuierlich.

Auch die Korrelationskoeffizienten der Tiereffekte von Rückenfettdicke und BCS 8, dargestellt in Abbildung 32, unterscheiden sich auffällig von den Korrelationen der beobachteten Merkmale.

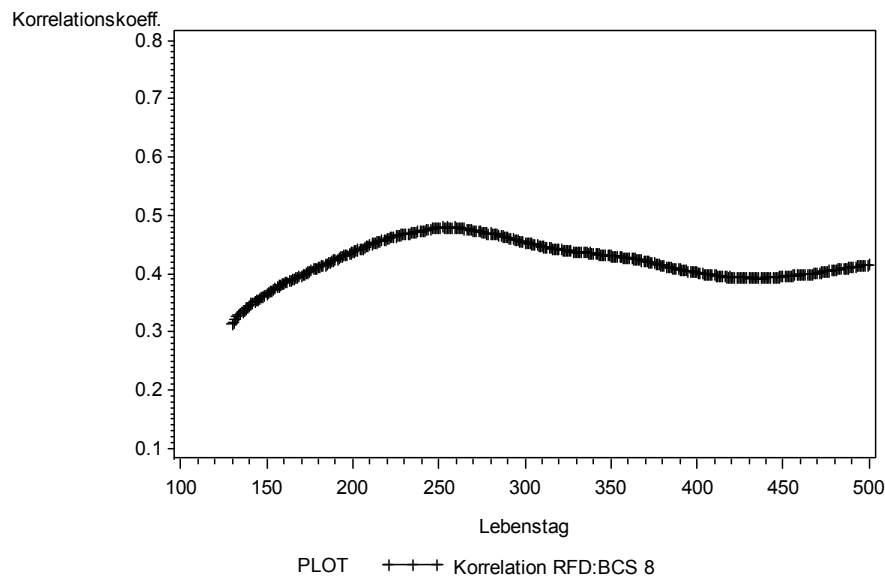


Abbildung 32: Korrelation der Tiereffekte von Rückenfettdicke und BCS 8 in Abhängigkeit des Lebensstages

Der Zusammenhang fällt in den ersten 200 Lebenstagen deutlich niedriger aus, als bei den beobachteten Merkmalen. Jedoch nimmt auch hier der Korrelationskoeffizient bis zum 250. Lebenstag deutlich zu. Im Gegensatz dazu fällt er bei den Merkmalsbeobachtungen von Altersklasse 2 zu Altersklasse 3 von 0.58 auf 0.22 ab. Bei den Tiereffekten sinkt der Zusammenhang ebenso ab dem 250. Lebenstag, jedoch steigt er ab dem 450. Lebenstag erneut leicht an.

Aus den abgebildeten Korrelationen der Tiereffekte lässt sich erkennen, dass der Merkmalszusammenhang der drei aufgenommenen Merkmale vor allem bei Körpermasse und BCS 8 sehr gering ausfällt. Zwischen Rückenfettdicke und BCS 8 ist der Zusammenhang etwas stärker, jedoch mit Werten im Bereich von 0.3 bis 0.5 nur als niedrig bis mittel einzustufen. Lediglich der Zusammenhang der Tiereffekte von Körpermasse und Rückenfettdicke weist eine Ähnlichkeit zu den phänotypischen Korrelationen auf.

Die Ergebnisse zeigen einen geringen bis mittleren Zusammenhang der Tiereffekte der untersuchten Merkmale. Somit kann geschlussfolgert werden, dass zum Beispiel die Erfassung eines Merkmals, die Erfassung des anderen Merkmals nicht ersetzen kann und umgekehrt.

4.2 Pubertätseintritt

Eine weitere Zielstellung dieser Arbeit lag in der Prüfung des Zusammenhanges der beobachteten Merkmale und dem Eintritt der Geschlechtsreife bzw. Pubertät. Zu dieser Thematik sollte geprüft werden, inwieweit eine Vorhersage des Pubertätseintrittes anhand der Wachstumsmerkmale möglich ist. Als Hilfsmerkmal für den Pubertätseintritt wurden sowohl die Progesteronkonzentrationen als auch die visuellen Brunstbeobachtungen herangezogen.

4.2.1 Progesteron-Profile

Um die Progesteronkonzentrationen der einzelnen Tiere einschätzen zu können, wurde von jedem in diese spezielle Untersuchung einbezogenen Tier, ein Progesteron-Profil in Abhängigkeit des Lebensstages erstellt.

Gemäß den Angaben in der Literatur aus Abschnitt 2.1.3 ist die Pubertät eingetreten, wenn zwei aufeinanderfolgende Progesteronkonzentrationen 1 ng/ml oder einmalig 2 ng/ml überschreiten.

Diese Definition konnte nach Analyse der Progesteron-Profile nicht auf die eigenen Daten angewandt werden, da bereits zu Beginn der Untersuchung der P4-Gehalt bei einigen Tieren eine Konzentration von über 1 ng/ml bzw. sogar über 2 ng/ml aufwies. Ein zyklischer P4-Verlauf konnte jedoch aufgrund der erstellten Profile ausgeschlossen und damit sichergestellt werden, dass die Pubertät nicht schon bei Versuchsbeginn eingetreten war.

Infolge der oben genannten Situation erfolgte eine Modifizierung der Definition des Pubertätseintrittes. So wurde der Pubertätseintritt in der vorliegenden Untersuchung als erster Anstieg der P4-Konzentration, in Verbindung mit der ersten visuell beobachteten Brunst definiert. Der Zeitpunkt des genauen Pubertätseintrittes wurde mit sieben Tagen vor dem erfolgten P4-Anstieg festgelegt (NAKADA et al. 2000, GLASSER et al. 2006). Konnte kurz vor oder nach dem P4-Anstieg eine Brunst beobachtet werden, galt dies als sichere Annahme für den Eintritt in die Pubertät.

Von insgesamt 28 Tieren erreichten bis zum Ende der Versuchsperiode nur 19 Tiere die Pubertät. Weitere sieben Tiere zeigten bis zum Ende des Versuchszeitraumes kein zyklisches Einsetzen der Progesteron-Aktivität und zwei weitere Tiere wurden als indifferent eingestuft. Indifferent bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die P4-Konzentrationen im Blutplasma dieser Tiere größere Schwankungen aufwiesen, die jedoch nicht als zyklisch angesehen werden konnten. Sie zeigten außerdem keine sichtbaren Brunstanzeichen und konnten somit nicht eindeutig zugeordnet werden. In

Abbildung 33 sind vier Progesteron-Profile dargestellt, die die vier verschiedenen Progesteron-Verlaufstypen zeigen:

- (a) Pubertät ist nicht eingetreten,
- (b) Pubertät ist eingetreten,
- (c) präpubertär erhöhter P4-Spiegel und
- (d) indifferenter Progesteron-Verlauf.

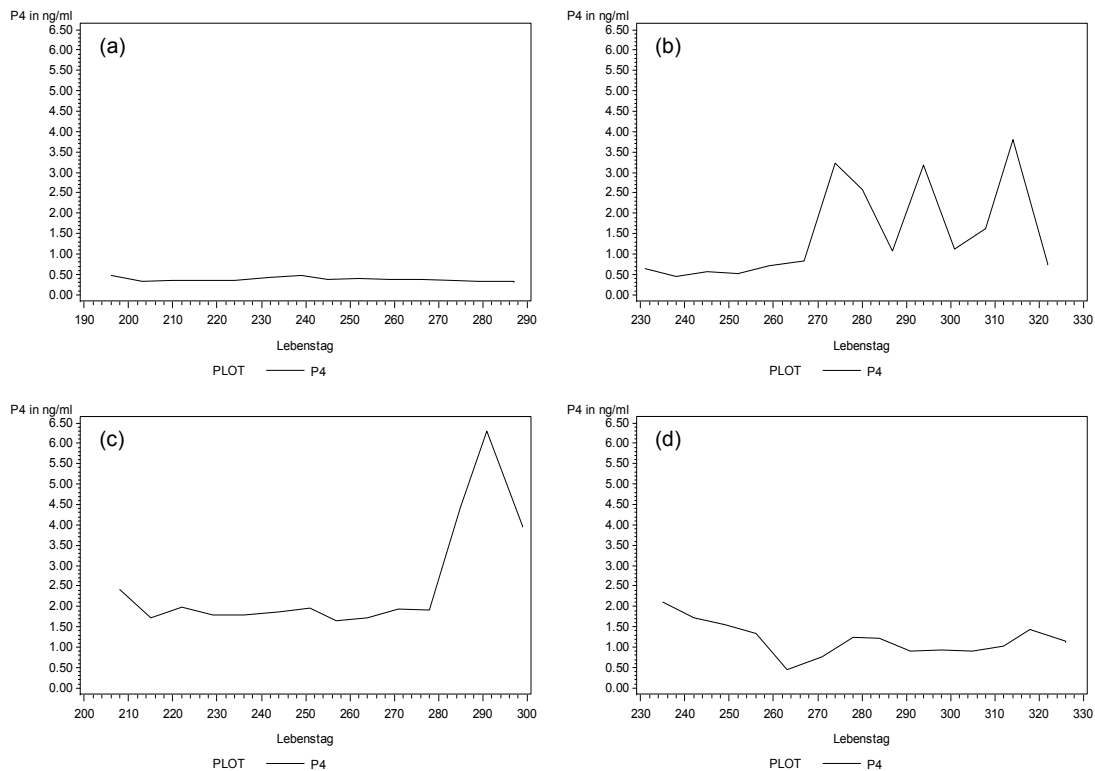


Abbildung 33: P4-Profile: (a) Pubertät ist nicht eingetreten, (b) Pubertät ist eingetreten, (c) Pubertät ist eingetreten mit präpubertär erhöhtem Progesteron-Spiegel, (d) indifferentes Tier

In (a) ist ein typisches P4-Profil eines Tieres abgebildet, bei dem innerhalb des Versuchszeitraumes keine Pubertät eingetreten ist. Die P4-Konzentration ist während des gesamten Beprobungszeitraumes auf einem niedrigen Niveau. Das Niveau aller nicht in die Pubertät gekommenen Tiere betrug im Durchschnitt 0.47 ng/ml (im Bereich von 0.27 bis 0.85 ng/ml). Weiterhin wurden bei dem in Profil (a) dargestellten Tier, wie auch bei allen anderen nicht pubertären Tieren, keinerlei Brunstsymptome beobachtet.

In (b) ist der Verlauf eines Tieres dargestellt, bei dem mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Pubertät eingetreten ist. Die P4-Konzentration ist vor dem 267. Lebensstag auf einem sehr niedrigen Niveau, das heißt es ist noch kein Gelbkörper am Ovar vorhanden, der Progesteron produzieren kann. Ab dem 267. Lebensstag steigt die P4-Konzentration im Blutplasma bis auf ein Maximum von 3.2 ng/ml zum 274. Tag an und fällt danach wieder ab, um zu Beginn des neuen Zyklus erneut anzusteigen. Dies ist ein typisches Zyklusverhalten der P4-Konzentration geschlechtsreifer Tiere. Weiterhin wurde für dieses

Tier am 266. Lebenstag eine Brunst beobachtet, womit alle definierten Kriterien für den Pubertätseintritt als erfüllt angesehen werden konnten. Die Progesteronkonzentration im Blutplasma der 19 in die Pubertät gekommenen Tiere lag vor dem Pubertätseintritt durchschnittlich bei 0.61 ng/ml (im Bereich von 0.28 bis 2.42 ng/ml). Nach dem Einsetzen der Zyklusaktivität stieg die Konzentration im Mittel auf 2.58 ng/ml (im Bereich von 0.46 bis 6.87 ng/ml). Die hohe Variationsbreite kommt dadurch zustande, dass mehrere Tiere nach Eintritt in die Pubertät, wie auch das Tier in (b), mehrere Zyklen durchliefen und die niedrigen Werte zur Brunst mit in die Berechnung einbezogen wurden. Ebenso war die Höhe des Progesteron-Peaks in der Gelbkörperphase von Tier zu Tier sehr unterschiedlich. So lag der maximale Peak bei 6.87 ng/ml und der minimale Peak bei 1.58 ng/ml.

In (c) ist das Profil eines Tieres abgebildet, das bereits zu Beginn der Untersuchung eine sehr hohe P4-Konzentration aufwies. Diese hielt sich, ohne größere Schwankung, fast bis zum Ende der Messperiode und betrug bis zum 278. Lebenstag im Mittel 1.89 ng/ml (im Bereich von 1.66 bis 2.42 ng/ml). Am 277. und 278. Lebenstag konnte das Tier vom Herdenmanager als brünstig erkannt werden. Da auch der P4-Gehalt ab dem 278. Tag stark anstieg, wurde dieser Tag als Pubertätseintritt festgelegt. Insgesamt gab es drei Tiere, die vor dem Pubertätseintritt einen deutlich erhöhten P4-Spiegel aufwiesen. Diese hohen präpubertären Konzentrationen sind widersprüchlich zu den in der Literatur gefunden Angaben, aus welchen herauszulesen ist, dass die Progesteronkonzentration vor dem Pubertätseintritt auf einem sehr niedrigen Niveau verbleibt (GONZALEZ-PADILLA et al. 1975, DODSON et al. 1988, NAKADA et al. 2000).

In (d) ist einer der beiden indifferenten Verläufe dargestellt. Da anhand der P4-Profile keine Aussage über den Beginn einer zyklischen Aktivität getroffen werden konnte und für diese Tiere keine Brunstbeobachtungen vorlagen, wurden sie als indifferent eingestuft. Somit erfolgte ein Ausschluss dieser beiden Tiere von der Untersuchung.

4.2.2 Zusammenhang zwischen Pubertätseintritt, Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, den Zusammenhang des Merkmals Pubertätseintritt in Abhängigkeit der beobachteten Merkmale zu analysieren und zu beschreiben. In der Untersuchung erreichten 19 Tiere die Pubertät im Durchschnitt zum 249. Lebenstag, bei einer mittleren Körpermasse von 264 kg, einer mittleren Rückenfettdicke von 10.96 mm und einem mittleren BCS 8 von 2.70. In Tabelle 17 sind die statistischen Maßzahlen der einzelnen Merkmale in Abhängigkeit des Pubertätseintrittes zusammengefasst.

Tabelle 17: Statistische Maßzahlen von Lebenstag, Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 zum Pubertätseintritt

	Alter in Lebenstagen	Körpermasse in kg	Rückenfettdicke in mm	BCS 8
Mittelwert	249	264	10.96	2.70
Minimum	218	222	9.23	2.50
Maximum	300	295	12.50	3.00
Variations- koeffizient	9 %	7.3 %	7.5 %	5.00 %

Aus der Tabelle lässt sich anhand des Variationskoeffizienten erkennen, dass das Alter zum Pubertätseintritt mit 9 % die größte Streuung aufweist. Körpermasse und Rückenfettdicke unterscheiden sich mit 7.3 % und 7.5 % kaum in der Variabilität zum Pubertätseintritt. Den niedrigsten Variationskoeffizienten zum Pubertätseintritt zeigt die BCS-Stelle 8 mit nur 5 %.

4.2.3 Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Wachstumsmerkmale

Die Ergebnisse aus Abschnitt 4.2.2 zeigen in allen Merkmalen eine einzeltierspezifische Variabilität des Pubertätseintrittes, die im biologischen Sinne auch erwartet werden musste. Daher sollte mit Hilfe der beobachteten Merkmale versucht werden, den Pubertätseintritt unter Nutzung eines statistischen Modells vorherzusagen. So müsste erwartungsgemäß mit der Zunahme des jeweiligen Beobachtungsmerkmals, auch die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt in die Pubertät steigen.

Die Vorhersage erfolgte unter Verwendung generalisierter linearer Modelle, die sowohl für jedes einzelne Merkmal als auch für Merkmalskombinationen die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der die Pubertät in Abhängigkeit der Merkmalsentwicklung zu erwarten ist. Aufgrund der geringen Tierzahl und der Entscheidung lediglich die erfassten Beobachtungswerte zu nutzen, standen insgesamt pro Merkmal nur 112 Datensätze für Auswertung zur Verfügung.

Ebenso wie bei der Beschreibung der Körperentwicklung, erfolgte auch für das Merkmal Pubertätseintritt, in Abhängigkeit von Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8, eine Schätzung der lokal angepassten Regression mit Hilfe der Prozedur LOESS, um den Trend der Daten zu veranschaulichen. Der Trend für den Eintritt in die Pubertät in Abhängigkeit der Körpermasse ist in Abbildung 34 dargestellt.

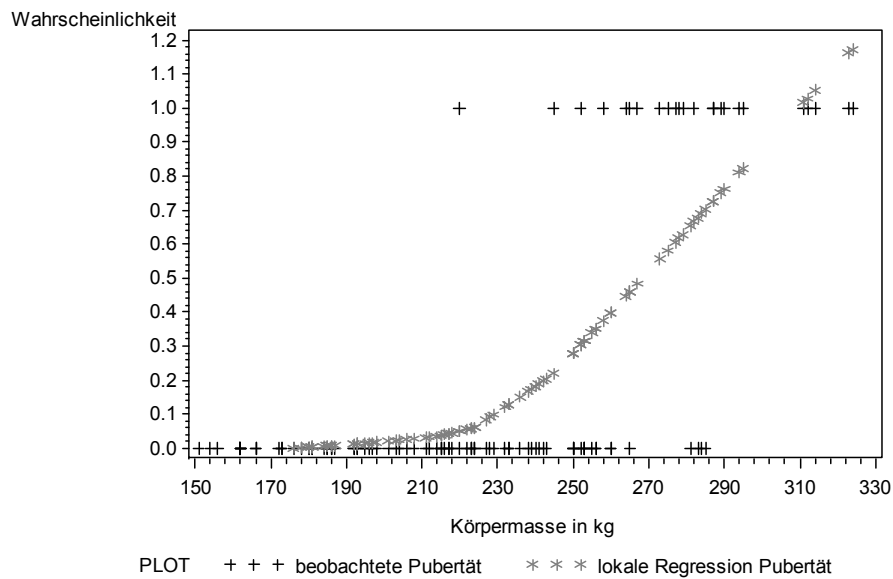


Abbildung 34: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Körpermasse

Der abgebildete Wahrscheinlichkeitsverlauf für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Körpermasse entspricht den Erwartungen. So steigt die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt in die Pubertät mit zunehmender Körpermasse an. Wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, wird die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes im hinteren Bereich der Körpermasse, mit Werten über Eins, in der lokalen Regression überschätzt.

Ähnlich wie in Abbildung 34, stellt sich der Verlauf des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Rückenfettdicke in Abbildung 35 dar.

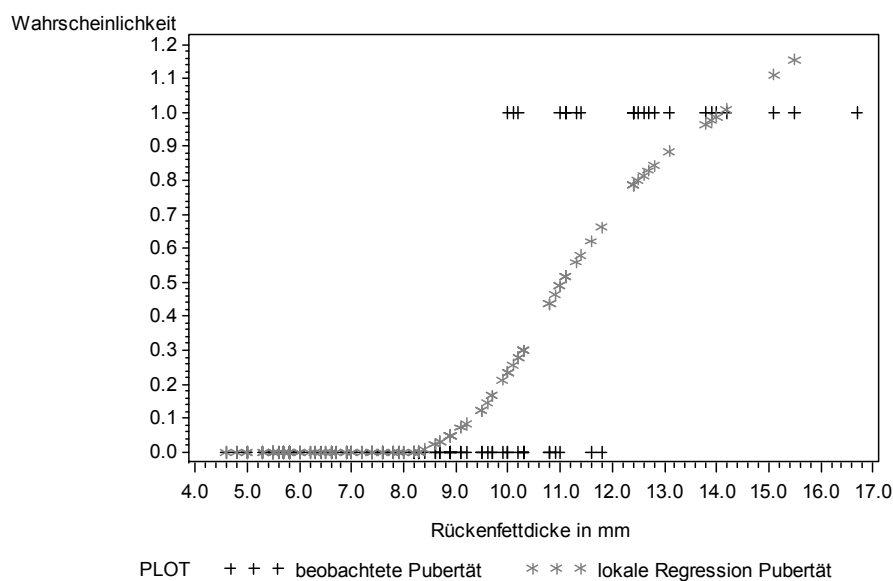


Abbildung 35: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Rückenfettdicke

Der erwartete Anstieg der Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt mit zunehmender Rückenfettdicke kann mit Hilfe der Abbildung bestätigt werden. Auch hier ist auffällig, dass die Wahrscheinlichkeit im hinteren Bereich der Rückenfettdicke mit Werten größer Eins überschätzt wird.

Die lokale Regression des BCS 8, dargestellt in Abbildung 36, unterscheidet sich hingegen von den in Abbildung 34 und 35 gezeigten Verläufen für den Pubertätseintritt.

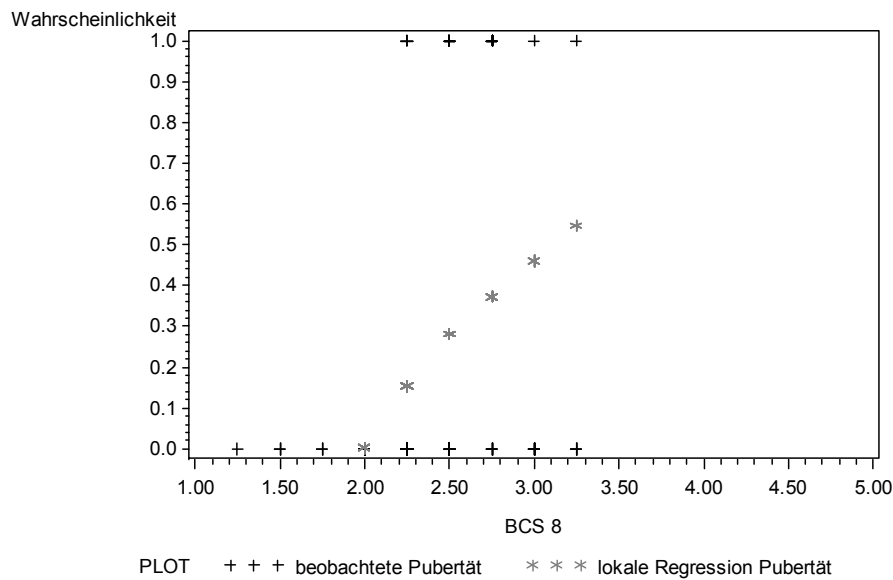


Abbildung 36: Lokal angepasste Regression (smoothing parameter=0.5) und Beobachtungswerte des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit des BCS 8

Die geringe Anzahl an Beobachtungswerten in Abbildung 36 lässt sich dadurch erklären, dass mehrere Beobachtungen pro BCS-Note vorlagen. So wurden die Tiere im Versuchszeitraum beispielsweise 19-mal mit der BCS-Note 2 bonitiert. Weiterhin konnte aufgrund des Alters der Tiere die Punkteskala nicht voll ausgeschöpft und nur Beobachtungswerte zwischen 1.25 und 3.25 vergeben werden. Jedoch ist auch für BCS 8 eine ansteigende Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes mit zunehmendem BCS zu erkennen.

Im nächsten Schritt sollten nun geeignete Auswertungsmodelle gefunden werden, unter deren Verwendung die Erstellung von Wahrscheinlichkeitsverläufen in Abhängigkeit der erfassten Merkmale möglich ist. Aufgrund des geringen Datenumfanges war bei der Modellwahl wenig Spielraum gegeben, weshalb im weiteren Verlauf der Arbeit auf eine ausführliche Darstellung der Modellanpassung verzichtet und nur das Auswertungsmodell zum jeweiligen Merkmal vorgestellt werden soll.

Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Körpermasse

Für die Körpermasse wurde die Modellanpassung und Schätzung der Modellparameter mit Hilfe der Prozedur GLIMMIX vorgenommen. Aus Gründen einer schnelleren Konvergenz erfolgte eine Transformation der Kovariable Körpermasse, indem diese durch $KM_{max} = 324$ dividiert wurde.

Als Grundlage für die Berechnung der Schätzungen wurde auf die ML-Methode, basierend auf adaptive Quadratur, zurückgegriffen. Im Verlauf der Modellanpassung zeigte ein Modell mit einer Logit-Funktion den kleinsten $AICC_{ML}$ -Wert. Dieses musste jedoch verworfen werden, da kein Standardfehler geschätzt werden konnte. Die Hinzunahme weiterer Kovariablen zeigte keine Verkleinerung des AICC-Wertes. Aufgrund der wiederholten Beobachtungen pro Tier wurde weiterhin ein zufälliger Tiereffekt im Modell berücksichtigt. Die Einführung eines zufälligen tierspezifischen Regressionskoeffizienten für die Kovariable führte zu keiner Verbesserung des AICC-Wertes. Als Auswertungsmodell wurde daher ein Modell mit linearem Einfluss der Körpermasse und Berücksichtigung des zufälligen Tiereffektes im linearen Prädiktor unter Verwendung der Probit-Funktion als Linkfunktion genutzt. Für dieses generalisierte lineare gemischte Modell gilt:

$$P(y_{ij} = 1 | \underline{a}_i) = \Phi(\eta_{ij}) \quad \text{mit:} \quad \eta_{ij} = \underline{a}_i + b_0 + b_{km} * km_{ij} + \underline{e}_{ij} \quad (20)$$

In Gleichung (20) sind:

- y_{ij} = Pubertät von Tier i zur Körpermasse j (km_{ij}),
- Φ = Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung,
- η_{ij} = linearer Prädiktor,
- \underline{a}_i = zufälliger Effekt von Tier i mit $\underline{a}_i \sim N(0; \sigma_a^2)$,
- b_0, b_{km} = fixe Regressionskoeffizienten zur Kovariable km_{ij} ,
- \underline{e}_{ij} = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{ij} \sim N(0; \sigma_e^2)$.

Mit Hilfe der Prozedur IML konnte nun mit dem oben gewählten Modell zu jeder beliebigen Körpermasse zwischen 150 und 324 kg die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der die Pubertät in Abhängigkeit der Entwicklung der Körpermasse eintritt. Abbildung 37 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse aus der Prozedur IML.

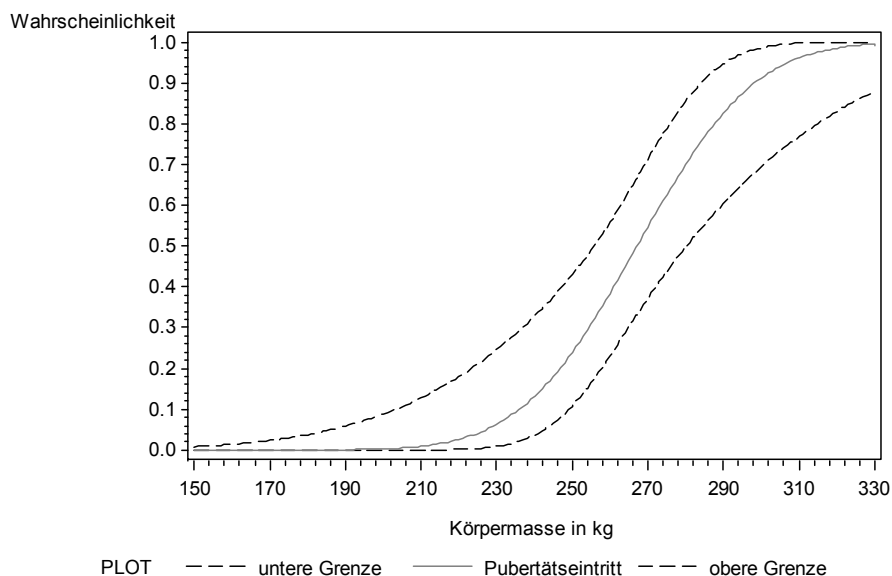


Abbildung 37: Bestandsspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Körpermasse, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95)

In der Abbildung kann zu jeder Körpermasse die Wahrscheinlichkeit abgelesen werden, mit der die Pubertät im Bestand eintritt. So beträgt die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes, bei einem Tier mit weniger als 210 kg gleich Null Prozent und bei 310 kg ist die Pubertät mit nahezu 100 % eingetreten.

Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Rückenfettdicke

Für die Rückenfettdicke musste zur Schätzung der Modellparameter auf die Prozedur GENMOD zurückgegriffen werden, da mit GLIMMIX für keine Modellvariante ein Standardfehler geschätzt werden konnte. Durchgeführt wurde die Modellanpassung mit Hilfe des QIC-Wertes, der in Abschnitt 3.6 bereits genauer beschrieben wurde. Ebenso wie bei der Körpermasse, konnte auch für die Rückenfettdicke nur ein sehr einfaches Modell unterstellt werden. Als lineare Einflussgröße wurde die standardisierte Rückenfettdicke im linearen Prädiktor in das Modell aufgenommen. Die Hinzunahme weiterer Effekte zeigte keine Verbesserung des QIC-Wertes. Die Berücksichtigung wiederholter Beobachtungen pro Tier erfolgte in der Prozedur GENMOD mit Hilfe der REPEATED-Anweisung in einer Arbeitskorrelationsmatrix. Als Verteilungsfunktion zeigte, analog zur Körpermasse, die Probit-Funktion eine bessere Anpassung, im Vergleich zur Logit-Funktion. So wurde für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Rückenfettdicke folgendes Auswertungsmodell als "population-average" Modell formuliert:

$$P(\underline{y}_{ik} = 1) = \Phi(\eta_{ik}) \quad \text{mit:} \quad \eta_{ik} = b_0 + b_{rfd} * rfd_{ik} + \underline{e}_{ik} \quad (21)$$

$$corr(\underline{y}_{ik}, \underline{y}_{ik^*}) = \rho^{|k-k^*|} \quad \text{für } k \neq k^*$$

In Gleichung (21) sind:

- y_{ik} = Pubertät von Tier i zur Rückenfettdicke k (rfd_{ik}),
 Φ = Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung,
 η_{ik} = linearer Prädiktor,
 b_0, b_{rfd} = fixe Regressionskoeffizienten zur Kovariable rfd_{ik} ,
 e_{ik} = zufälliger Resteffekt mit $e_{ik} \sim N(0; \sigma_e^2)$.

Die grafische Darstellung der Schätzungen für die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Rückenfettdickenentwicklung, berechnet mit Hilfe der Prozedur IML, ist in Abbildung 38 zusammengefasst.

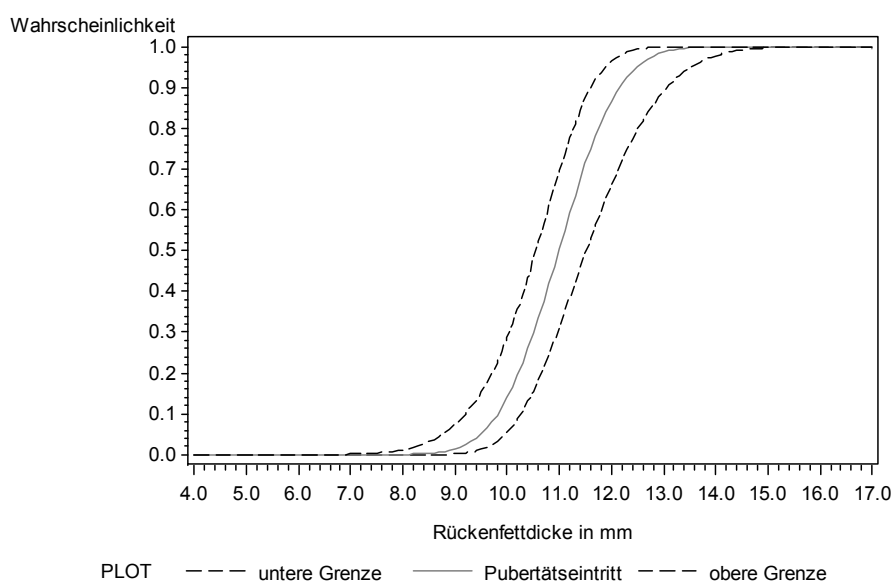


Abbildung 38: Bestandsspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Rückenfettdicke, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95)

Der Verlauf der Wahrscheinlichkeit ist in Abhängigkeit der Rückenfettdicke deutlich steiler als der Verlauf in Abhängigkeit der Körpermasse. So beginnt der Anstieg der Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt mit circa 9 mm Rückenfettdicke und ist bereits mit 13 mm bei 100 Prozent.

Pubertätseintritt in Abhängigkeit des BCS 8

Für den BCS 8 konnten, ebenso wie für die Rückenfettdicke, nur mit Hilfe der Prozedur GENMOD Schätzungen für die Modellparameter berechnet werden. Anhand des QIC-Wertes wurde ein Modell mit linearem Einfluss des BCS 8 im linearen Prädiktor, unter Verwendung der Probit-Funktion, ausgewählt. Analog zur Rückenfettdicke, führte die Hinzunahme weiterer Modellparameter zu keiner Verkleinerung des QIC-Wertes. Eine Standardisierung musste für den BCS nicht vorgenommen werden. Die wiederholten Beobachtungen pro Tier konnten in einer Arbeitskorrelationsmatrix über die

REPEATED-Anweisung berücksichtigt werden. So wurde die Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der BCS-Stelle 8 mit folgendem "population-average" Modell beschrieben:

$$P(\underline{y}_{il} = 1) = \Phi(\eta_{il}) \quad \text{mit:} \quad \eta_{il} = b_0 + b_{bcs8} * bcs8_{il} + \underline{e}_{il} \quad (22)$$

$$corr(\underline{y}_{il}, \underline{y}_{il^*}) = \rho^{|l-l^*|} \text{ für } l \neq l^*$$

In Gleichung (22) sind:

- y_{il} = Pubertät von Tier i zum BCS 8 l ($bcs8_{il}$),
- Φ = Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung,
- η_{il} = linearer Prädiktor,
- b_0, b_{bcs8} = fixe Regressionskoeffizienten zur Kovariable $bcs8_{il}$,
- \underline{e}_{il} = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{il} \sim N(0; \sigma_e^2)$.

In Abbildung 39 sind die mit Hilfe der Prozedur IML geschätzten Wahrscheinlichkeiten für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit des BCS 8 grafisch dargestellt.

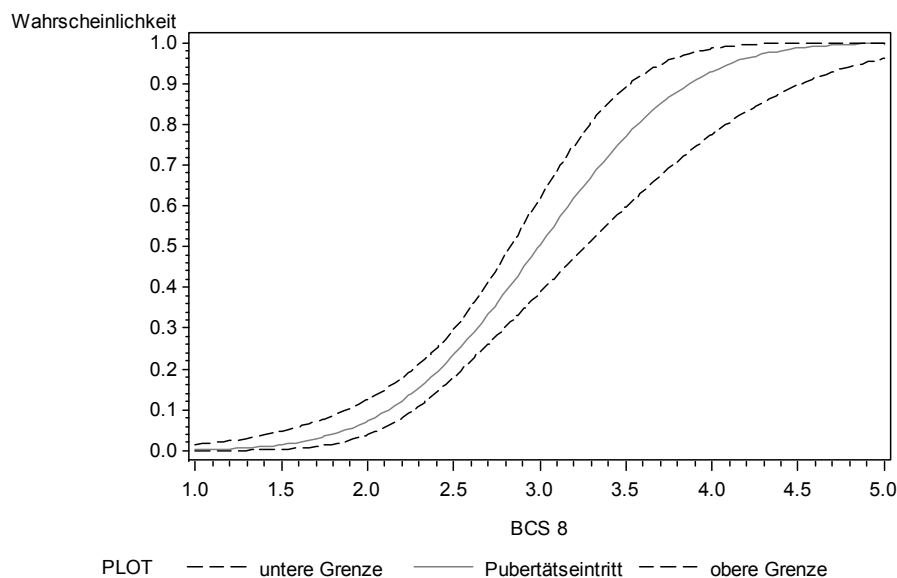


Abbildung 39: Bestandspezifische Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit des BCS 8, mit zweiseitigem Konfidenzintervall (P=0.95)

Die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes steigt wie erwartet mit zunehmender Körperkondition an. Da nur Beobachtungen zwischen den Bonitur-Noten 1.25 und 3.25 vorlagen, wird das Konfidenzintervall ab einem BCS von 3.25 breiter. Anhand der Abbildung wird deutlich, dass die Darstellung der Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des BCS weniger aussagefähig ist. So ist die Pubertät erst mit einem BCS 8 von circa 4.50 zu 100 % eingetreten. Aufgrund der Definition des Merkmals, sollte wie in Abschnitt 4.1.7

beschrieben, der BCS zunächst ansteigen, jedoch ab einem bestimmten Alter konstant verlaufen und nicht weiter zunehmen, da dies sonst auf eine Verfettung der Tiere hindeutet. Dementsprechend ist der Verlauf nicht falsch, aber aufgrund der besseren Interpretierbarkeit besteht zur Einschätzung des Pubertätseintrittes eine höhere Eignung der Verläufe in Abhängigkeit von Körpermasse und Rückenfettdicke.

Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Merkmalskombination

In den vorhergehenden Abschnitten wurde die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der einzelnen Merkmale beschrieben und die Ergebnisse entsprechend abgebildet. Im Folgenden soll nun geprüft werden, ob die Modellierung des Pubertätseintrittes auch mit Hilfe von Merkmalskombinationen möglich ist. Dazu ist in Tabelle 18 die Modellanpassung der einzelnen Kombinationen zusammengefasst.

Tabelle 18: Modellanpassung für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der Wachstumsmerkmale

Modell	fixe Effekte	zufällige Effekte	df	$AICC_{ML}$
1	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{lt} * lt_{ij}$	e_{ij}	104	57.65
2	$b_0 + b_{rfd} * rfd_{ik} + b_{lt} * lt_{ik}$	e_{ik}	104	38.51
3	$b_0 + b_{bcs8} * bcs8_{il} + b_{lt} * lt_{il}$	e_{il}	104	71.02
4	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{rfd} * rfd_{ik}$	e_{ijk}	104	37.15
5	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{bcs8} * bcs8_{il}$	e_{ijl}	104	55.95
6	$b_0 + b_{rfd} * rfd_{ik} + b_{bcs8} * bcs8_{il}$	e_{ikl}	104	38.43
7	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{rfd} * rfd_{ik} + b_{lt} * lt_{ijk}$	e_{ijk}	103	39.10
8	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{rfd} * rfd_{ik} + b_{bcs8} + bcs8_{il}$	e_{ijkl}	103	39.53
9	$b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{rfd} * rfd_{ik} + b_{bcs8} + bcs8_{il} + b_{lt} * lt_{ijkl}$	e_{ijkl}	keine Konvergenz	

mit km = Körpermasse, lt = Lebensst, rfd = Rückenfettdicke, $bcs8$ = Body Condition Score der Messstelle 8, df = Freiheitsgrade, $AICC_{ML}$ = korrigiertes Akaike-Kriterium

Die Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und Lebensst wurden standardisiert, indem sie durch den maximal aufgetretenen Wert des jeweiligen Merkmals dividiert wurden. Grundsätzlich wurde die Probit-Funktion als Linkfunktion verwendet. Als Berechnungsgrundlage fand weiterhin die ML-Methode, unter Nutzung der adaptiven Quadratur, Anwendung.

Gemäß Tabelle 18 wird anhand des $AICC_{ML}$ das Modell mit linearem Einfluss von Körpermasse und Rückenfettdicke im linearen Prädiktor ausgewählt, da mit diesem Modell der geringste AICC-Wert erzielt wurde. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass ein Modell mit alleinigem Einfluss der Rückenfettdicke eine bessere Anpassung anhand des AICC-Wertes aufwies ($AICC_{ML} = 36.41$). Die wiederholten Beobachtungen pro Tier konnten zusätzlich über einen zufälligen Tiereffekt abgebildet werden, allerdings verschlechterte sich der AICC-Wert durch die Hinzunahme des Tiereffektes ($AICC_{ML} =$

39.58). Auch die Berücksichtigung weiterer, vom zufälligen Tiereffekt abhängiger Regressionskoeffizienten, konnte keine Verbesserung des AICC-Wertes bewirken.

Als Auswertungsmodell wurde somit Modell 4, als generalisiertes lineares gemischtes Modell, unter zusätzlicher Berücksichtigung des zufälligen Tiereffektes im linearen Prädiktor ausgewählt, für das Folgendes gilt:

$$P(\underline{y}_{ijk} = 1 | a_i) = \Phi(\eta_{ijk}) \quad \text{mit: } \eta_{ijk} = \underline{a}_i + b_0 + b_{km} * km_{ij} + b_{rfd} * rfd_{ik} + \underline{e}_{ijk} \quad (23)$$

In Gleichung (23) sind:

- y_{ijk} = Pubertät von Tier i zur Körpermasse j (km_{ij}) und Rückenfettdicke k (rfd_{ik}),
 Φ = Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung,
 η_{ijk} = linearer Prädiktor,
 \underline{a}_i = zufälliger Effekt von Tier i mit $\underline{a}_i \sim N(0; \sigma_a^2)$,
 b_0, b_{km}, b_{rfd} = fixe Regressionskoeffizienten zur Kovariable km_{ij} und rfd_{ik} ,
 \underline{e}_{ijk} = zufälliger Resteffekt mit $\underline{e}_{ijk} \sim N(0; \sigma_e^2)$.

Unter Verwendung der geschätzten Modellparameter in der Prozedur IML konnte der Pubertätseintritt des Bestandes in Abhängigkeit von Körpermasse und Rückenfettdicke berechnet werden. Die dreidimensionale Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe der Prozedur G3D. In Abbildung 40 ist der Wahrscheinlichkeitsverlauf grafisch dargestellt.

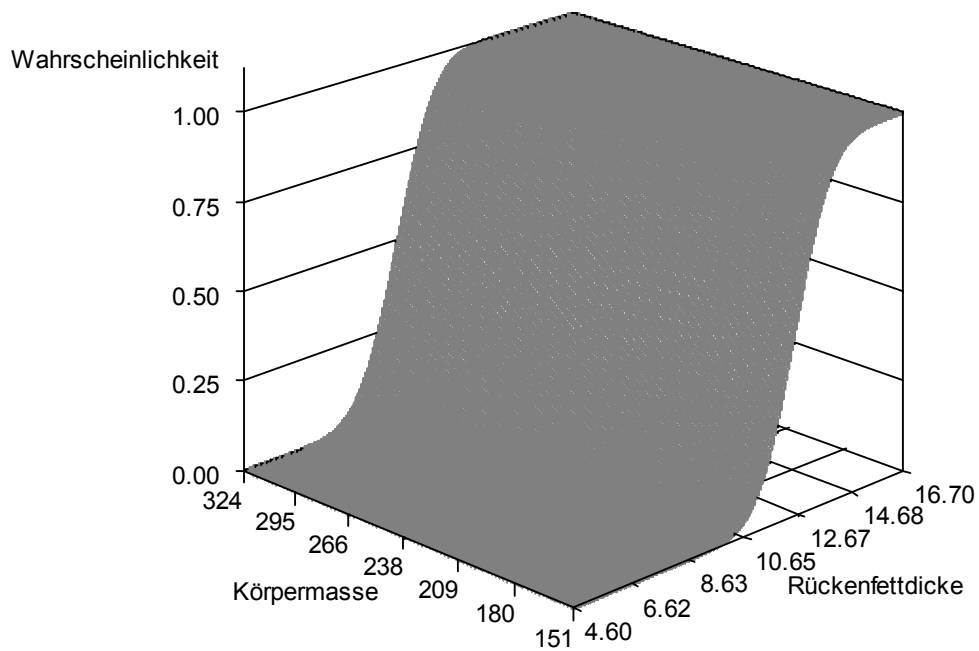


Abbildung 40: Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Merkmale Körpermasse und Rückenfettdicke

Die Abbildung zeigt die Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Merkmale Körpermasse und Rückenfettdicke, gemäß Gleichung (23). Wie bei der Darstellung der einzelnen Merkmale, wird auch in dieser Abbildung deutlich, dass mit der Zunahme von Körpermasse und Rückenfettdicke die Wahrscheinlichkeit für den Pubertätseintritt erwartungsgemäß steigt.

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war die altersabhängige Modellierung von Wachstumsmerkmalen, im Speziellen Körpermasse, tägliche Zunahme, Rückenfettdicke und Body Condition Score (BCS) weiblicher Jungrinder und deren Zusammenhang zum Pubertätseintritt. Dabei wurden mit der Rückenfettdicke und dem BCS Merkmale erfasst, für die beim Jungrind keine oder nur wenige Literaturberichte vorliegen.

So beginnt der nachfolgende Abschnitt mit der Betrachtung der Wiederholbarkeitsergebnisse, gefolgt von der Wahl des statistischen Auswertungsmodells, den daraus resultierenden Merkmalsverläufen, den Zusammenhängen der Merkmale und schließlich der Nutzung der oben genannten Untersuchungsmerkmale für die Vorhersage des Pubertätseintrittes.

5.1 Wiederholbarkeit der Merkmale

Um die Genauigkeit der angewandten Mess- und Bonitur-Methoden zu prüfen, erfolgte an einem Messtag eine Doppelmessung bzw. -bonitur der Tiere. Generell muss bemerkt werden, dass die Tiere während der Erfassung der Merkmale Rückenfettdicke und BCS fixiert waren, was sich positiv auf die Wiederholbarkeit ausgewirkt haben kann.

Erwartungsgemäß war für die Analyse der Wiederholbarkeit, die mittels Intraklassenkorrelation berechnet wurde, eine Berücksichtigung der Altersklassen unumgänglich. Damit konnte der Einfluss einer ausschließlich vom Wachstumsverlauf hervorgerufenen scheinbaren Wiederholbarkeit und bei deren Nichtbeachtung, eine Überschätzung der Genauigkeit, ausgeschlossen werden.

Für die Körpermassewägung wurden hohe Wiederholbarkeiten mit Intraklassenkorrelationskoeffizienten (IKK) zwischen 0.99 und 1.00 in Abhängigkeit der Altersklassen erreicht. Diese positiven Ergebnisse lassen sich weitgehend durch die Festinstallation der Waage im Stall begründen, wodurch die Messfehler sehr gering gehalten werden konnten.

Für die Rückenfettdickenmessung wurden etwas geringere Wiederholbarkeiten erzielt. Die erreichten IKK, zwischen 0.89 und 0.98 in Abhängigkeit der Altersklassen, sind für diese Messmethodik dennoch als sehr hoch einzuschätzen, da der mögliche Messfehler, durch die nicht exakte Bestimmung des Messpunktes und die spätere Ausmessung der Rückenfettdicke anhand des gespeicherten Ultraschallbildes, höher sein kann. Ein ähnliches Ergebnis erzielte auch BRETHOUR (1992) in seiner Untersuchung zur Messung der Rückenfettdicke weiblicher und männlicher Rinder, mit einer Wiederholbarkeit von 0.975.

Bereits optisch konnte anhand der bivariaten Punktwolken (vgl. Abbildung 5, Abschnitt 4.1.2) der auszugsweise dargestellten Wiederholbarkeiten von BCS 1 und BCS 8 erkannt werden, dass die Variabilität zwischen den wiederholten Bonituren deutlich größer war als für Körpermasse und Rückenfettdicke. Die Ursache für die geringeren Wiederholbarkeiten lässt sich vor allem mit der Subjektivität der Beurteilungsmethodik (Bonitur) begründen.

Im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen, erzielten GEARHART et al. (1990) eine Übereinstimmung der BCS-Beurteilung innerhalb einer Person von über 94 %. In einer neueren Arbeit von KIRSTENSEN et al. (2006) wurde die Wiederholbarkeit innerhalb eines Beurteilers zwischen 0.22 und 0.75 angegeben.

Die Ergebnisse der Wiederholbarkeitsuntersuchung erlauben die Schlussfolgerung, dass die gewählte Mess- bzw. Beurteilungsmethodik eine aussagefähige und genaue Merkmalerfassung ermöglicht. Somit sind gute Voraussetzungen für eine fachliche Nutzung dieser Merkmale gegeben.

5.2 Modellwahl

Ein Aufgabenschwerpunkt der vorliegenden Arbeit bestand in der Modellierung des Entwicklungsverlaufes der Wachstumsmerkmale Körpermasse, tägliche Zunahme, Rückenfettdicke und Body Condition Score in Abhängigkeit des Alters, unter Verwendung statistischer Modelle. Zu dieser speziellen Thematik der Wachstumskurven wurde sich der Klasse der linearen gemischten Modelle bedient. So sollte aus einer Vielzahl von verschiedenen Modellen das am besten angepasste Modell für das jeweilige Merkmal ausgewählt werden. Dazu wurde, wie in Abschnitt 3.6 beschrieben, eine zweistufige Vorgehensweise gewählt, die zum einen die Optimierung der Erwartungswertstruktur mit festen Effekten und zum anderen die Optimierung der Kovarianzstruktur mit zufälligen Effekten umfasst. Die Modellwahl war somit ein wesentlicher Gegenstand der Arbeit. Mit Hilfe des korrigierten Akaike-Kriteriums (AICC) erfolgte zunächst die Auswahl des Vorzugsmodells aus verschiedenen Kandidatenmodellen. Die Modellwahl mittels analytischem Kriterium wurde zusätzlich durch eine Residuenanalyse vervollständigt.

Erster wichtiger Schritt der Modellwahl war die Schätzung der lokal angepassten Regression der Beobachtungswerte. Mit Hilfe dieser ersten Trendanalyse konnte bereits eine Einschätzung über den Verlauf des jeweiligen Merkmals in Abhängigkeit des Alters getroffen und damit eine Vorauswahl der zu untersuchenden Modelle vorgenommen werden.

So wurde für die Merkmale Körpermasse, tägliche Zunahme, Rückenfettdicke und BCS 8 bereits der nichtlineare Zusammenhang zum Lebensalter für den gesamten Bestand mit Hilfe der lokal angepassten Regression bestätigt. Die Hinzunahme des Messtages bzw. der Monats-Jahresklasse als fester Effekt führte bei allen Merkmalen durchgehend zu

einer bedeutsamen Verbesserung des $AICC_{ML}$ in der Erwartungwertstruktur. Dennoch erforderte jedes Merkmal ein eigenes Auswertungsmodell zur Beschreibung des Entwicklungsverlaufes, ausgedrückt in der Anzahl und Form der Berücksichtigung der Kovariablen.

Besonders hervorzuheben ist, dass die alleinige Auswahl eines Vorzugsmodells nach AICC als nicht ausreichend angesehen werden kann. Mittels Residuen-Analyse konnte bei den Merkmalen Körpermasse, tägliche Zunahme und Rückenfettdicke ein tendenzieller Anstieg der Variabilität der Residuen mit zunehmendem Alter nachgewiesen werden. Dies konnte bei der Optimierung der Kovarianzstruktur durch die Hinzunahme der heterogenen Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklasse berücksichtigt werden.

Im Verlauf der zweijährigen Versuchsdurchführung erfolgte eine kontinuierliche Modellanpassung der Wachstumsmerkmale mittels Informationskriterien. Für die Rückenfettdicke erwies sich dabei zunächst ein linear quadratischer Polynom-Ansatz, ähnlich wie bei der Körpermasse, als geeignet. Jedoch zeigte sich bei der Überprüfung der Varianzfunktion, dass mit dem gewählten Modell und deren Varianz-Kovarianz-Matrix nur eine ungenügende Abbildung der Variabilität der OLS-Residuen erreicht werden konnte. Aus diesem Grund erfolgte die Prüfung verschiedener Spline-Ansätze.

Der neben dem Spline-Ansatz geprüfte Polynom-Ansatz, mit Polynomen fünften Grades, erreichte in der Erwartungwertstruktur sogar einen geringeren AICC-Wert. Auch die Unterschiede der beiden Modellansätze waren sowohl in der Abbildung des Entwicklungsverlaufes als auch in der Analyse des Trends der OLS-Residuen gering. Erst bei Beachtung der Kovarianzstruktur konnte eine deutlich bessere Anpassung der Rückenfettdicke anhand des AICC-Wertes mit Hilfe des Spline-Ansatzes nachgewiesen werden. Zusätzlich zeigte dieser Ansatz eine größere Übereinstimmung der beobachteten und geschätzten Varianzfunktion der OLS-Residuen. Basierend auf diesen Ergebnissen erfolgte die Modellierung des Entwicklungsverlaufes der Rückenfettdicke mit Hilfe des Spline-Ansatzes.

Die gewählte mehrstufige Vorgehensweise bei der Modellwahl zeigte eine hohe Wirksamkeit. So wird deutlich, dass der AICC-Wert als allgemeines Auswahlkriterium nicht ausreicht. Die mittels AICC ausgewählten Vorzugsmodelle müssen für eine endgültige Wahl des Auswertungsmodells durch eine Analyse der OLS-Residuen zusätzlich geprüft werden.

5.3 Merkmalsentwicklung

Nachfolgend sollen die im Rahmen der Modellwahl identifizierten Auswertungsmodelle und die daraus abgeleiteten Merkmalsentwicklungen diskutiert werden. Da die Merkmalerfassung an wachsenden Jungrindern erfolgte, war für die Merkmale

Körpermasse, Rückenfettdicke und Body Condition Score von einer kontinuierlichen Zunahme der Merkmale in Abhängigkeit des Alters auszugehen. Für die aus der erfassten Körpermasse berechnete mittlere tägliche Zunahme war hingegen ein relativ gleichbleibendes Niveau im ersten und ein etwas niedrigeres Niveau im zweiten Lebensjahr zu erwarten.

Für die Zielmerkmale haben sich die nachfolgend dargestellten Auswertungsmodelle ergeben.

Körpermasse:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^2 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r, r = 0,1,2$$

tägliche Zunahme:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^6 \beta_r * x_r(t) + \underline{a}_i + MJ_j + \underline{e}_{ijk}(t)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r, r = 0, \dots, 6$$

Rückenfettdicke:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^2 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + \sum_{s=1}^2 (\beta_s + \underline{a}_{is}) * (x_s(t) - k_s)_+^2 + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r, x_s(t) = (t/600)^s, r = 0,1,2; s = 1,2$$

BCS 8:

$$\underline{y}_{ijk}(t) = \sum_{r=0}^4 (\beta_r + \underline{a}_{ir}) * x_r(t) + MT_j + \underline{e}_{ijk}(t)$$

$$\text{mit: } x_r(t) = (t/600)^r, r = 0, \dots, 4$$

Dabei werden die Beobachtungen $y_{ijk}(t)$ des jeweiligen Merkmals von Tier i innerhalb der Altersklasse k ($k = 1, \dots, 5$) am Messtag bzw. in der Monats-Jahresklasse j zum Lebenstag t jeweils als Realisation einer Zufallsvariable $\underline{y}_{ijk}(t)$ aufgefasst.

Weiter gilt:

β_r, β_s = fixer Regressionskoeffizient, zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ bzw. $x_s(t)$,

a_{ir}, a_{is} = zufälliger Effekt von Tier i , zugehörig zur Kovariable $x_r(t)$ bzw. $x_s(t)$ mit

$$a_i \sim N(0; \sigma_{a_r}^2),$$

k_s = Knotenpunkt ($s = 1, 2$),

MT_j = fixer Effekt des Messtages j ,

MJ_j = fixer Effekt der Monats-Jahresklasse j ,

$e_{ijk}(t)$ = zufälliger Resteffekt mit $e_{ijk}(t) \sim N(0; \sigma_{e_k}^2)$.

Anhand der oben aufgeführten Auswertungsmodelle wird deutlich, dass die verfügbaren Einflussgrößen Lebenstag, Messtag bzw. Monats-Jahresklasse und Tier, sowie die heterogene Restvarianz in Abhängigkeit der Altersklassen in jedem der vier Modelle einbezogen werden. Jedoch erfolgte für die Einflussgrößen Lebenstag und Tier eine unterschiedliche Berücksichtigung innerhalb der Modelle.

Basierend auf den Beobachtungen der 487 Jungrinder zeigte für die Körpermasse ein Random Regression Modell (RRM) mit Polynomen zweiten Grades und zusätzlicher Berücksichtigung des Messtages die beste Anpassung nach $AICC_{REML}$ und wurde nach weiterer Prüfung als Auswertungsmodell ausgewählt. Der geschätzte bestandsspezifische Entwicklungsverlauf spiegelte den Verlauf der beobachteten Werte sehr gut wider. Nach KIRCHGEßNER (2004, S. 405) und DROCHNER (2008) sollten Jungrinder mit zwölf Monaten 50 % ihres Endgewichtes erreichen. Laut BONSELS et al. (2008) sollten dies maximal 360 kg sein. Die mittlere Körpermasse des Bestandes im Alter von zwölf Monaten beträgt in der vorliegenden Arbeit circa 377 kg und liegt damit über den in der Literatur angegebenen Empfehlungen. Anhand der als Beispiel dargestellten einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe konnte weiterhin deutlich gemacht werden, dass eine Quantifizierung tierindividueller Unterschiede mit dem gewählten Modell durch die Hinzunahme des zufälligen Tiereffektes, mit dem Lebenstag als zugehörige Kovariable, sehr gut möglich ist.

Auffällig bei den aus den Körpermassen berechneten Zunahmen war die sehr starke Streuung der Beobachtungswerte, die in Tabelle 3 (Abschnitt 4.1.1) mit Variationskoeffizienten von 22 % bis 53 % sehr hoch ausfielen.

Für die Abbildung der mittleren täglichen Zunahme wurde ein Fixed Regression Modell mit Polynomen sechsten Grades und zusätzlicher Berücksichtigung einer Monats-Jahresklasse als Vorzugsmodell anhand der Modellwahlkriterien ausgewählt. Die Modellierung von tierindividuellen Unterschieden mit Hilfe eines RRM war für die tägliche Zunahme nicht möglich, da die Varianz zwischen den Tieren über den gesamten

Wachstumsverlauf gering war und daher für diese Modelle stets Null geschätzt wurde. Eine Abbildung einzeltierspezifischer Kurven wäre möglich gewesen, der Verlauf hätte sich jedoch für jedes einzelne Tier geglichen. Aus diesem Grund erfolgte für die mittlere tägliche Zunahme lediglich die Modellierung des bestandsspezifischen Verlaufes in Abhängigkeit des mittleren Lebensstages. Noch deutlicher als bei der Körpermasse, wurde die intensive Aufzucht in der täglichen Zunahme zum Ausdruck gebracht. Der bestandsspezifische Verlauf zeigt im ersten Lebensjahr Zunahmen zwischen 0.9 und 1.2 kg pro Tag, was die Aufzuchttempfehlungen in Tabelle 1 in Abschnitt 2.1.4 enorm übersteigt. Die Zunahmen sinken zwar ab dem 250. Lebenstag, liegen aber dennoch im Durchschnitt mit 0.9 kg pro Tag im zweiten Lebensjahr, weit über den empfohlenen täglichen Zunahmen (KIRCHGEßNER 2004, S. 405, SCHUSTER et al. 2008, DROCHNER 2008).

Die Entwicklung der Rückenfettdicke wurde mit Hilfe eines RRM unter Nutzung von Splines mit einem linear-quadratischen Ansatz, zwei optimierten Knoten und weiterer Berücksichtigung des Messtages abgebildet. Während der ersten 100 Lebenstage war kaum Rückenfett bei den Tieren nachzuweisen, da die Dicke der Haut im Messwert der Rückenfettdicke mit bis zu 5 mm enthalten ist (vgl. Abbildung 18, Abschnitt 4.1.6). Daraus ergibt sich, dass ein Beginn der Messung mit dem 100. Lebenstag noch nicht zielführend ist. In einer umfangreichen Untersuchung zum Körperfettgehalt bei Mastfärsen fanden KLAUWUN und STAUFENBIEL (1997) bis zum 9. Lebensmonat kaum Unterhautfettgewebe. In der vorliegenden Arbeit konnte bei den untersuchten weiblichen Jungrindern im 9. Lebensmonat eine mittlere Rückenfettdicke von ca. 11 mm nachgewiesen werden. Der Entwicklungsverlauf des Bestandes zeigt eine stetige Zunahme der Rückenfettdicke bis zum 300. Lebenstag. Danach nimmt die Rückenfettdicke bis zum 430. Lebenstag kaum zu. Erst ab dem 430. Lebenstag erfolgt erneut eine stärkere Zunahme der Rückenfettdicke. Grund für diesen weiteren Anstieg kann die Umstellung der Futterration sein, die im Alter von ca. 13 Monaten im Betrieb vorgenommen wird.

Referenzbereiche für die Rückenfettdicke in Abhängigkeit des Alters werden nach STAUFENBIEL (2012) wie folgt angegeben:

- 6. bis 8. Lebensmonat: 5 - 10 mm,
- 9. bis 12. Lebensmonat: 5 - 15 mm und
- 13. Lebensmonat bis Besamung: 10 - 15 mm Rückenfettdicke.

Nach diesen Angaben ist der steile Anstieg der Rückenfettdicke ab dem 430. Lebenstag für den untersuchten Bestand als kritisch zu bewerten, da ein Großteil der Beobachtungswerte ab dem 13. Lebensmonat über 15 mm Rückenfettdicke liegen (vgl.

Abbildung 18, Abschnitt 4.1.6). So lassen auch die Ergebnisse der Rückenfettdicke darauf schließen, dass die Tiere im Betrieb generell sehr intensiv aufgezogen werden.

Die tierindividuellen Unterschiede in der Entwicklung der Rückenfettdicke konnten mit Hilfe des gewählten Modells in Form der einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe sehr gut wiedergegeben werden.

Das Merkmal Körperkondition, welches in der vorliegenden Arbeit ausschließlich mit Hilfe des BCS 8 (Bereich Schwanzwurzel und Sitzbeinhöcker) beschrieben wurde, konnte trotz der ordinalen Skalierung des Merkmals, mit einem RRM mit Polynomen vierten Grades und der Berücksichtigung des Messtages, bei Annahme einer Normalverteilung für die zufälligen Effekte, gut abgebildet werden. Damit ist ein solches Auswertungsmodell auch für eine Bonitur nutzbar, wie sie beispielsweise beim BCS-Schema zugrunde liegt. Diese Aussage wird insbesondere durch die symmetrische und annähernde Normalverteilung der zufälligen Modelleffekte unterstützt. Die Einbeziehung des BCS in die vorliegende Untersuchung erfolgte vor allem mit der Motivation zu prüfen, inwiefern die Beurteilung der Körperkondition als Alternative zur Rückenfettdicke angewandt werden kann. Der berechnete Zusammenhang der beiden Merkmale lag sowohl in der phänotypischen Korrelation als auch in der Korrelation der Tiereffekte, berechnet mit Hilfe der Auswertungsmodelle, nur im niedrigen bis mittleren Bereich. Damit wird deutlich, dass die Rangfolge der Tiereffekte für beide Merkmale in einem bestimmten Alter keinen engen Zusammenhang aufweist. Dieses Ergebnis ist streng altersbezogen und bringt die Variabilität zwischen den Tiereffekten und der Mess- bzw. Boniturmethode der Merkmale zum Ausdruck. Betrachtet man jedoch die Entwicklung im Wachstumsverlauf, so gleichen sich die bestandsspezifischen Kurven von BCS 8 und Rückenfettdicke sehr deutlich. In Abbildung 41 ist der bestandsspezifische Verlauf von BCS 8 und Rückenfettdicke gemeinsam dargestellt.

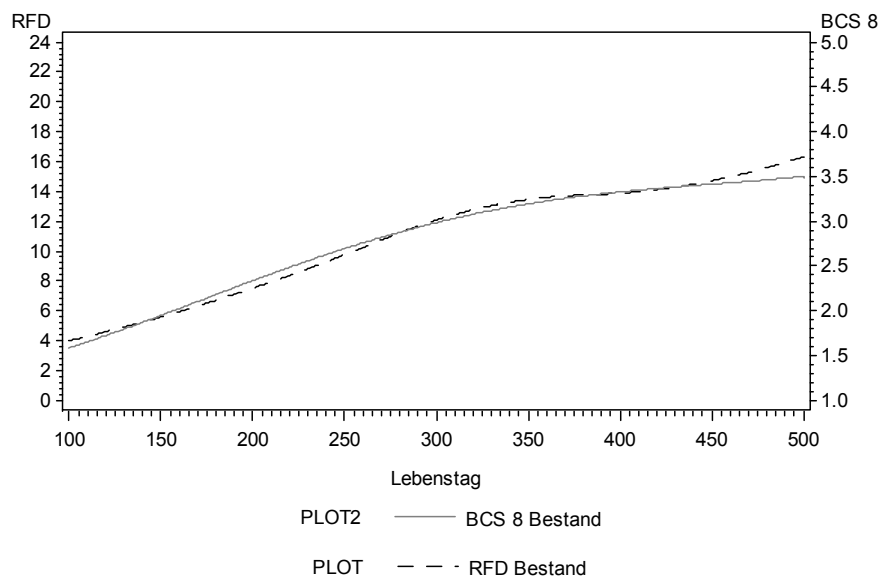


Abbildung 41: Gegenüberstellung des bestandsspezifischen Verlaufes von BCS 8 und Rückenfettdicke

Selbst die einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe von BCS 8 geben, trotz niedrigem Zusammenhang der Merkmale, den Trend der einzeltierspezifischen Rückenfettdicke, wie in Abbildung 42 zu sehen, bis zum 400. Lebenstag gut wieder

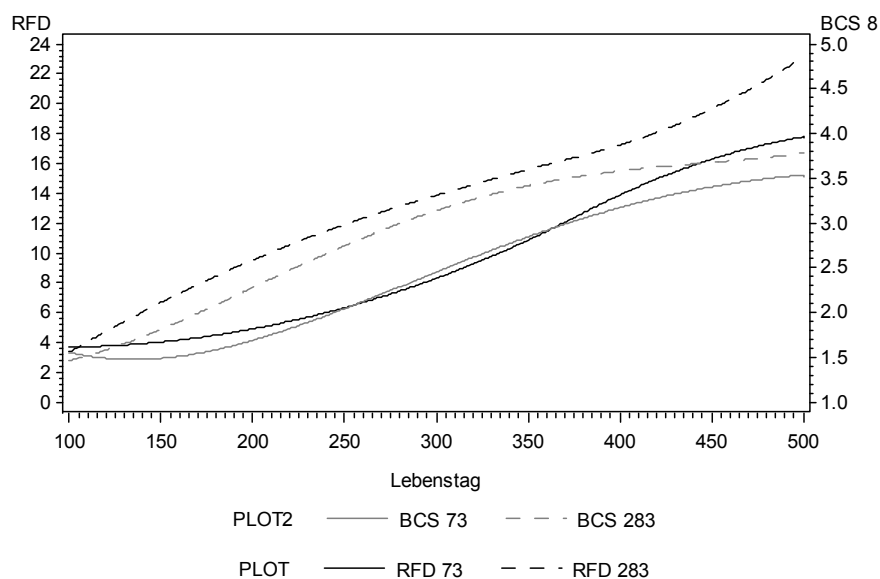


Abbildung 42: Gegenüberstellung der einzeltierspezifischen Entwicklungsverläufe von BCS 8 und Rückenfettdicke für die Tiere 73 und 283

Ein Grund für die schlechtere Übereinstimmung der beiden Merkmale ab dem 400. Lebenstag, kann teilweise mit dem gewählten Auswertungsmodell für BCS 8 begründet werden. Denn in der Gegenüberstellung der Standardabweichungen der OLS-Residuen und der modellgeschätzten Standardabweichungen, dargestellt als Wurzel der Varianzfunktion, lässt sich erkennen, dass in diesem Altersbereich keine gute Abbildung

der Variabilität der OLS-Residuen mit der gewählten Modellstruktur der zufälligen Effekte und deren Varianz-Kovarianz-Matrix erreicht wurde (vgl. Abbildung 27, Abschnitt 4.1.7).

Im Hinblick auf die Nutzung im Herdenmanagement kann jedoch aufgrund der erzielten Ergebnisse, die Nutzung des BCS 8 als Alternativmethode zur Rückenfettdicke empfohlen werden, da die tierspezifischen Unterschiede ebenso quantifiziert werden konnten, wie es bei dem Merkmal Rückenfettdicke erfolgte. Beachtet werden muss jedoch, dass die Tiere in der vorliegenden Arbeit für die Erhebung der Körperkondition ebenso fixiert waren, wie zur Messung der Rückenfettdicke mittels Ultraschall. Daher ist weiterführend eine Erprobung des BCS 8 unter Praxisbedingungen ohne Fixierung der Tiere erforderlich.

In Bezug auf die Merkmalsentwicklung erlauben die gewählten methodischen Ansätze eine gute Abbildung der Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS sowohl für den Bestand als auch für jedes Einzeltier. Die Abbildung der täglichen Zunahme gestaltete sich, im Gegensatz zu den anderen Merkmalen, aufgrund der großen Schwankungen innerhalb Tier in Abhängigkeit des Alters schwierig. Aus diesem Grund erfolgte ausschließlich eine bestandsspezifische Modellierung des Entwicklungsverlaufes für dieses Merkmal.

Die untersuchten Merkmale wiesen erwartungsgemäß eine Variabilitätserhöhung in Abhängigkeit des Alters auf. Insbesondere bei der täglichen Zunahme erhöhte sich die Variabilität mit steigendem Alter stark. Auch im Merkmal Rückenfettdicke konnte eine deutliche Variabilitätserhöhung mit zunehmendem Alter beobachtet werden. Offensichtlich nimmt die genetisch bedingte Differenzierung der Tiere mit dem Alter zu. Das im Untersuchungsbetrieb vorherrschende hohe Fütterungsniveau trägt dazu bei, dass diese Unterschiede auch phänotypisch deutlich werden.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass die erzielten Ergebnisse bestandsspezifisch sind und daher nicht als Normkurven angesehen werden können. Jedoch erlauben die erarbeiteten Methoden zur Entwicklung der Merkmale eine schnelle Nutzung von Daten anderer Bestände, wodurch die Entwicklung von Normkurven ermöglicht wird. Daraus resultierend ergibt sich die Möglichkeit, Normkurven für den Merkmalsverlauf in ein Herdenmanagementprogramm zu integrieren und für eine bestandsspezifische Kontrolle und Steuerung der Entwicklung von Jungrindern zu nutzen.

5.4 Merkmalszusammenhang

Weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war die Ermittlung der Merkmalszusammenhänge. Dies wurde zunächst über die Korrelation der phänotypischen Beobachtungen, ohne Beachtung von Störgrößen, durchgeführt. Bei einfacher Korrelation der Merkmale untereinander wurde ein mittlerer bis sehr hoher Zusammenhang erreicht. Ähnlich wird der Zusammenhang dieser Merkmale auch in verschiedenen weiteren

Arbeiten beschrieben (OTTO et al. 1991, DOMEQ et al. 1995, ENEVOLDSEN and KRISTENSEN 1997, FIETZE 2004, RASCHKE 2007).

Die hohen Korrelationen waren jedoch, aufgrund der kontinuierlichen Merkmalsentwicklung von wachsenden Tieren, zu erwarten. Infolgedessen war die zusätzliche Berücksichtigung des Alters der Tiere, in Form von Altersklassen, bei der Berechnung des Zusammenhanges der Merkmale unerlässlich. Vor allem bei den Merkmalen Körpermasse und Rückenfettdicke fielen die Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit der Altersklassen deutlich geringer aus.

Im Gegensatz dazu hatte die Berücksichtigung der Altersklassen bei den acht BCS-Stellen keine Auswirkung auf die Korrelationskoeffizienten. Hier konnten ähnliche Wertebereiche für den Zusammenhang erzielt werden. Auffallend war weiterhin, dass die BCS-Stelle 8 in jeder Altersklasse den geringsten Zusammenhang zu den sieben weiteren erfassten Stellen aufwies. Andererseits erzielte der BCS 8 den höchsten Korrelationskoeffizienten zur Rückenfettdicke. Vor allem in den Altersklassen 1 und 2 war der Zusammenhang mit Korrelationskoeffizienten von 0.58 und 0.63 noch als mittel bis hoch einzustufen. Für die Altersklassen 3 und 4 konnte bis auf den BCS 8 kein Zusammenhang zur Rückendfettdicke gefunden werden. In Altersklasse 5 nahm der Zusammenhang der einzelnen BCS-Stellen und der Rückenfettdicke wieder minimal zu. Aus diesen Ergebnissen wird geschlussfolgert, dass BCS 8, der im Bereich der Schwanzwurzel und Sitzbeinhöcker bonitiert wurde, am ehesten als mögliche Alternative für die Rückenfettdickenmessung geeignet ist.

Im nächsten Schritt erfolgte die Prüfung des Zusammenhanges der Tiereffekte, geschätzt mit Hilfe der Auswertungsmodelle, unter Berücksichtigung der Störgrößen. Der Tiereffekt ist für die gewählten Modelle als Summe der genetischen Effekte und der permanenten Umwelt anzusehen.

Lediglich der Zusammenhang von Körpermasse und Rückenfettdicke ähnelte sowohl den phänotypischen Korrelationen als auch den Korrelationen der Tiereffekte. Der Zusammenhang der Tiereffekte von BCS 8 mit Körpermasse und Rückenfettdicke zeigte keine deutliche Übereinstimmung zu den phänotypischen Zusammenhängen. Generell lagen die phänotypischen Korrelationen der Merkmale im Alter zwischen 100 und 200 Lebenstagen deutlich über den Werten der Tiereffekte. Dennoch muss abschließend erwähnt werden, dass die erzielten Zusammenhänge sowohl für die phänotypischen als auch für die Tiereffekte überwiegend im niedrigen Bereich zu finden waren und somit kein hoher Zusammenhang der Merkmale vorliegt. Das bedeutet, dass jedes Merkmal erfasst werden muss. Bei der Interpretierbarkeit der Korrelationen ist jedoch zu beachten, dass eine „Rangfolge“ der Merkmalspaare zu einem Zeitpunkt abgebildet wird. Diese Rangfolge ist offensichtlich nicht sehr deutlich ausgeprägt. Somit stehen die Ergebnisse

nicht im Widerspruch zu den Aussagen in Abschnitt 5.3. Denn betrachtet man den Merkmalsverlauf über das Alter der Tiere, wird beispielsweise der Zusammenhang zwischen Rückenfettdicke und BCS 8 deutlich und ermöglicht die Nutzung des BCS 8 als Hilfsmerkmal für die Rückenfettdicke.

5.5 Pubertätseintritt

Mit dem Ziel einer Quantifizierung des Zusammenhanges der Untersuchungsmerkmale zum Pubertätseintritt erfolgte für eine begrenzte Anzahl an Tieren eine Hormonanalyse, speziell die Analyse des Hormons Progesteron. Im Untersuchungszeitraum erreichten 19 von 28 Tieren den Eintritt in die Pubertät. Dieses Ergebnis kann zum größten Teil mit dem Alter der Tiere begründet werden, da diejenigen Tiere, die bis zum Ende der Versuchsperiode nicht in die Pubertät kamen, die jüngsten und leichtesten Tiere zum Untersuchungsende waren.

Im Durchschnitt trat die Pubertät mit 249 Lebenstagen und einer mittleren Körpermasse von 264 kg ein. Für die Körpermasse erzielten beispielsweise DODSON et al. (1988) mit 249 ± 5.4 kg ähnliche Ergebnisse für den Pubertätseintritt, jedoch waren die Holstein Färsen mit durchschnittlich 318 ± 11.7 Lebenstagen deutlich älter, als in der eigenen Untersuchung. Weitere Angaben zur Körpermasse und zum Lebenstag zum Eintritt in die Pubertät geben DEL VECCHIO et al. (1992) mit 247.6 ± 4.8 kg und 304.0 ± 7.5 Lebenstagen. In einer Untersuchung von NAKADA et al. (2000) waren die Tier zum Pubertätseintritt mit 303 ± 9.1 Lebenstagen ebenso älter, als in der vorliegenden Arbeit.

Diese Ergebnisse weisen, wie in Abschnitt 2.1.5 beschrieben, auf einen gewichtsdeterminierten Pubertätseintritt hin, der in Abhängigkeit der Fütterungsintensität verzögert bzw. beschleunigt werden kann (vgl. Tabelle 2, Abschnitt 2.1.5). Da mit Hilfe der Körpermerkmale eine sehr intensive Aufzucht nachgewiesen werden konnte, war demnach ein niedrigeres Alter, bei ähnlicher Körpermasse, im Vergleich zu den oben genannten Untersuchungen mit normaler Aufzucht zu erwarten. Zu den Merkmalen BCS und Rückenfettdicke konnten in der Literatur keine Angaben zum Pubertätseintritt gefunden werden.

Mit einem Variationskoeffizient von 9 % wies der Lebenstag die höchste Variabilität zum Pubertätseintritt auf. FAHR (1974) ermittelte in seinen Untersuchungen für den Lebenstag zur ersten Ovulation einen Variationskoeffizienten von 15.2 % und für die Körpermasse 11.3%. Auch MOURITS et al. (1999) geben in ihrer Arbeit einen Variationskoeffizienten von 10 % für die Körpermasse zum Pubertätseintritt an. Für Rückenfettdicke und BCS 8 liegen zu dieser Thematik noch keine Ergebnisse in der Literatur vor.

Im Vergleich zu den oben genannten Arbeiten sind die Variationskoeffizienten der eigenen Untersuchungen für die Körpermasse und das Alter der Tiere geringer, scheinen

jedoch im Hinblick auf die Modellierung des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Merkmale sehr bedeutsam zu sein.

Anhand der modellierten Wahrscheinlichkeitsverläufe kann die Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden, mit der die Pubertät in Abhängigkeit des jeweiligen Merkmals eintritt. Die Modellierung erwies sich jedoch als schwierig, da nur 112 Beobachtungen pro Merkmal zur Verfügung standen und ein Großteil der Beobachtungen den Merkmalswert Pubertät gleich Null aufwies. Aufgrund der Tatsache, dass nicht alle Tiere bis zum Ende der Versuchsperiode die Pubertät erreichten, lagen somit für den Merkmalswert Pubertät gleich Eins nur sehr wenig Beobachtungen vor. Dies wurde auch in der lokalen Regression des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Merkmale deutlich (vgl. Abbildung 34 bis 36, Abschnitt 4.2.3). So konnte für den Pubertätseintritt in Abhängigkeit der drei Merkmale nur ein einfaches Modell, mit linearem Einfluss des jeweiligen Beobachtungsmerkmals im linearen Prädiktor, erstellt werden. Sowohl für die Rückenfettdicke als auch für den BCS 8 konnte kein tierspezifischer Ansatz im Modell angepasst werden. Aus diesem Grund erfolgte die Modellanpassung dieser beiden Merkmale unter Verwendung eines marginalen Modells mit Arbeitskorrelationsmatrix, unter Zuhilfenahme des QIC-Wertes.

Die Darstellung der Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes ist in Abhängigkeit der erfassten Merkmale möglich. Jedoch ist aufgrund des geringen Stichprobenumfangs und den zu geringen Beobachtungen im Bereich des Pubertätseintrittes keine ausreichende Genauigkeit für die Vorhersage des Pubertätseintrittes zu erzielen. Hierzu müssen weitere Untersuchungen mit einem größeren Stichprobenumfang und eventuell längerer Messperiode durchgeführt werden.

Weiterhin wies das Merkmal Pubertätseintritt erwartungsgemäß eine bedeutsame einzeltierspezifische Variabilität auf, die im biologischen Sinne als natürlich anzusehen ist. Unter diesen Voraussetzungen erscheint eine zeitlich genaue Eingrenzung des Pubertätseintrittes nicht möglich. Dennoch können die Wahrscheinlichkeitsverläufe das Herdenmanagement unterstützen, indem beispielsweise Tiere in eine Gruppe selektiert werden, die sich in den entsprechenden Einflussgrößen (Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8) im Bereich des Anstieges der Wahrscheinlichkeitskurve befinden. Dies ermöglicht dem Herdenmanager eine intensive Beobachtung der Tiere, die sich in unmittelbarer Nähe des Pubertätseintrittes befinden.

Ähnlich wie bei den Entwicklungskurven der Wachstumsmerkmale, muss auch für den Pubertätseintritt erwähnt werden, dass die modellierten Wahrscheinlichkeitsverläufe bestandsspezifisch sind und somit nicht ohne weitere Untersuchungen auf andere Bestände übertragen werden können.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit erfolgte innerhalb eines Untersuchungszeitraumes von zwei Jahren einmal pro Monat die Erfassung von Körpermasse, Rückenfettdicke und Körperkondition, mittels Body Condition Score, an 487 weiblichen Jungrindern der Rasse Holstein Friesian eines Praxisbetriebes in Nordthüringen. Aus den Körpermassen wurde als weiteres Merkmal die mittlere tägliche Zunahme der Tiere berechnet.

Weiterhin erfolgte an einer ausgewählten Anzahl an Tieren die Untersuchung des Pubertätseintritts. Dazu wurde den Tieren innerhalb einer 14-wöchigen Versuchsperiode einmal wöchentlich Blut entnommen und auf die Konzentration des Gelbkörperhormones Progesteron analysiert.

Die Fragestellung der Arbeit bestand darin, zu prüfen, inwiefern die Merkmale Körpermasse, tägliche Zunahme, Rückenfettdicke und Body Condition Score (BCS) zur Kontrolle und Steuerung des Herdenmanagements bei Jungrindern beitragen können. In diesem Zusammenhang bestand zunächst die Aufgabe ein geeignetes Modell für die Abbildung der bestands- und tierspezifischen Wachstumskurven der beobachteten Merkmale zu erstellen. Hierzu wurden verschiedene lineare gemischte Modelle mit qualitativen und quantitativen sowie festen und zufälligen Effekten untersucht und mit Hilfe des korrigierten Akaike-Informationskriteriums (AICC) ausgewählt. Durch eine Residuenanalyse wurde die Wahl der mit Hilfe des AICCs ermittelten Vorzugsmodelle, basierend auf dem Vergleich der aus den Residuen ermittelten und modellgeschätzten Standardabweichungen, überprüft.

Für das Merkmal Körpermasse zeigte ein Random Regression Modell (RRM) mit Polynomen zweiten Grades die beste Anpassung. Zur Abbildung der aus den Körpermassen berechneten täglichen Zunahme konnte ein Fixed Regression Modell eine ausreichende Anpassung erzielen. Für die Rückenfettdicke wurde ebenfalls ein RRM gewählt, jedoch bei Nutzung von Splines mit zwei optimierten Knoten. Von den insgesamt acht untersuchten BCS-Stellen wurde, entsprechend der phänotypischen Korrelationen mit der Rückenfettdicke, die BCS-Stelle 8, die sich im Bereich der Schwanzwurzel und Sitzbeinhöcker befindet, ausgewählt. Für diesen BCS erreichte ein RRM mit Polynomen vierten Grades die beste Anpassung.

Die ermittelten Modelle erlaubten für die Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 sowohl eine altersabhängige Darstellung der Entwicklung des Bestandes als auch jedes einzelnen Tieres. Daraus resultierend ergibt sich grundsätzlich die Möglichkeit den Verlauf von Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS in ein Herdenmanagementprogramm für Jungrinder zu integrieren. Bedingt durch eine hohe Variabilität innerhalb Tier, ist das

Merkmal tägliche Zunahme nur bedingt zur Quantifizierung tierindividueller Unterschiede und somit nur bedingt zur Kontrolle der Entwicklung des Bestandes geeignet.

Zusätzlich zur Modellierung der Entwicklungsverläufe erfolgte eine Untersuchung des Zusammenhanges der Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und Body Condition Score mittels phänotypischer Korrelation und Korrelation der geschätzten Tiereffekte. Dabei zeigte sich für die phänotypischen Korrelationen der Merkmale ein mittlerer bis sehr hoher und für die Korrelation der Tiereffekte lediglich ein niedriger bis mittlerer Zusammenhang der Untersuchungsmerkmale, mit absteigender Tendenz in Abhängigkeit des Alters.

Weiterhin wurden die erfassten Merkmale Körpermasse, Rückenfettdicke und BCS 8 mit der Untersuchung zum Pubertätseintritt, abgebildet über Progesteron-Profile und Brunstbeobachtungen, kombiniert. Dabei zeigte sich eine moderate Variation von Körpermasse, Rückenfettdicke, BCS sowie des Lebensstages zum Eintritt in die Pubertät, die aus biologischer Sicht auch zu erwarten war. Mit Hilfe generalisierter linearer Modelle erfolgte eine Abbildung der Wahrscheinlichkeit des Pubertätseintrittes in Abhängigkeit der Wachstumsmerkmale. Anhand dieser Verläufe konnte für das jeweilige Merkmal abgelesen werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Pubertät bei einem zufällig aus dem Bestand ausgewählten Tier eingetreten ist.

Die in der vorliegenden Arbeit erstellten Entwicklungs- und Wahrscheinlichkeitsverläufe wurden mit Hilfe von Daten eines Bestandes ermittelt. Sie sind daher bestandsspezifisch und folglich nicht auf andere Bestände übertragbar. Jedoch besteht mit den erarbeiteten Modellen die Möglichkeit, basierend auf Daten anderer Bestände, Normkurven zu entwickeln, die im Herdenmanagement zur Kontrolle und Steuerung der Jungrinderaufzucht Verwendung finden können.

7. Summary

In the present study, the body weight, back fat thickness and body condition of 487 female Holstein Friesian heifer calves were collected from a working farm in northern Thuringia once per month over a two-year period. The average daily weight gain was calculated as a further trait of the recorded body weights.

Additionally, the onset of puberty was investigated for a selected number of animals. During a period of 14 weeks, blood samples were taken once per week and examined for the concentration of progesterone.

The objective of this study was to verify the extent of the examined traits (body weight, daily weight gain, back fat thickness and body condition score (BCS)) to control and monitor herd management of dairy heifers. In this context the first task was to create a suitable model for mapping the population- and animal-specific growth curves of the observed characteristics. Therefore, different linear mixed models with qualitative and quantitative, as well as fixed and random effects, were compared and selected with the help of the corrected information criterion by Akaike (AICC). The choice of the models by AICC was verified through residual analysis, based on a comparison of the residuals' calculated standard deviations and the models' estimated standard deviations.

For mapping growth curves of the calves' body weight, the best fitting was found by a random regression model (RRM) with second-degree polynomials. To determine the calculated daily gain, a fixed regression model achieved adequate adaptation. For back fat thickness, a RRM was also chosen, but utilized splines with two optimized knots. According to the phenotypic correlation with the back fat thickness, BCS 8 was chosen (from a total of eight BCS points); this point is localized in the area of the tail head and pins. A RRM with fourth-degree polynomials reached the best model fitting for BCS 8. The development of the overall population, as well as the single animal depending on age is represented by established models for the traits of body weight, back fat thickness, and BCS.

These results showed the possibility to integrate the course of these traits in the herd management program for dairy heifers. However, due to the high variability of daily gain between the heifers, this feature is only partly suitable for quantifying animal-specific differences and monitoring population development.

In addition to modeling development, investigations of the relationship between body weight, back fat thickness and BCS were performed by using phenotypic correlation and correlation of estimated animal effects. The animal-specific effects of the characteristics showed a low to medium correlation, with a decreasing tendency related to age.

Furthermore, the examined characteristics of body weight, back fat thickness and BCS 8 were combined with the analysis of the onset of puberty by using the progesterone profiles and estrous observations. This revealed a moderate variation of body weight, back fat thickness, BCS, and also the animals' expected age of the onset of puberty. The probability of dependence on the examined characteristics regarding the onset of puberty was monitored by using generalized linear models. With the help of these courses, the statistical probability of the onset of puberty from a single heifer could be determined.

The development and probability curves of the present study are specific to the examined population. However, based on data from other populations, these models provide the possibility to generate standard curves that could promote the controlling and monitoring of young cattle breeding.

Literaturverzeichnis

- ABENI, F., L. CALAMARI, L. STEFANINI and G. PIRLO (2000): Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile, and future milk yield production. *Journal of Dairy Science* 83, 1468-1478.
- ADAMS, G.P., A.C.O. EVANS and N.C. RAWLINGS (1994): Follicular waves and circulating gonadotrophins in 8-month-old prepubertal heifers. *Journal of Reproduction and Fertility* 100, 27-33.
- AKAIKE, H. (1969): Fitting autoregressive models for prediction. *Annals of Institute of Statistical Mathematics*, 21, 243-247.
- AKBAS, Y., A. ALCICEK, A. ÖNENC and M. GÜNGÖR (2006): Growth curve analysis for body weight and dry matter intake in Friesian, Limousin x Friesian and Piemontese x Friesian cattle. *Archiv für Tierzucht* 49, 329-339.
- ALBUQUERQUE, L.G. and K. MEYER (2001): Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of Age in Nelore cattle. *Journal of Animal Science* 79, 2776-2789.
- ANACKER, G., G. BAYERSDORFER, S. DUNKEL, E. GRÄFE und T. BAUMGÄRTEL (2009): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Jungrinderaufzucht. 3. Auflage, www.tll.de/ainfo.
- BALDI, F., M.M. ALENCAR and L.G. ALBUQUERQUE (2010): Random regression analyses using B-splines functions to model growth from birth to adult age in Canchim cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 127, 433-441.
- BEWLEY, J.M. and M.M. SCHUTZ (2008): Review: An interdisciplinary review of body condition scoring for dairy cattle. *The Professional Animal Scientist* 24, 507-529.
- BONSELS, T., D. ALBERS und I. STEINHÖFEL (2008): Praktische Hinweise zur Jungrinderaufzucht. In: DLG (Hrsg.), *Jungrinderaufzucht. Grundstein erfolgreicher Milcherzeugung*. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt am Main, S. 53-64.
- BRECHTOLD, M. und P. RÜSCH (1999): Geschlechtsreife, Zuchtreife und Erstkalbealter. In: E. GRUNERT und A. d. KRUIF (Hrsg.), *Fertilitätsstörungen beim Rind*. 3. Auflage, Parey Buchverlag, Berlin, S. 1-3.
- BRETHOUR, J.R. (1992): The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. *Journal of Animal Science* 70, 1039-1044.
- BROWN, J.E., H.A. FITZHUGH, JR. and T.C. CARTWRIGHT JR. (1976): A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science* 42, 810-818.
- CAPUCO, A.V., J.J. SMITH, D.R. WALDO and C.E. REXROAD (1995): Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 78, 2709-2725.
- CHELIKANI, P.K., J.D. AMBROSE and J.J. KENNELLY (2003): Effect of dietary energy and protein density on body composition, attainment of puberty, and ovarian follicular dynamics in dairy heifers. *Theriogenology* 60, 707-725.

- COFFEY, M.P., J. HICKEY and S. BROTHERSTONE (2006): Genetic aspects of growth of Holstein Friesian dairy cows from birth to maturity. *Journal of Dairy Science* 89, 322-329.
- DANIELS, K.M., M.L. MCGILLARD, M.J. MEYER, M.E. VAN AMBURGH, A.V. CAPUCO and R.M. AKERS (2009): Effects of body weight and nutrition on histological mammary development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 92, 499-505.
- DAVIS RINCKER, L.E., M.S. WEBER NIELSEN, L.T. CHAPIN, J.S. LIESMAN, K.M. DANIELS, R.M. AKERS and M.J. VANDEHAAR (2008): Effects of feeding prepubertal heifers a high-energy diet for three, six or twelve weeks on mammary growth and composition. *Journal of Dairy Science* 91, 1926-1935.
- DAY, M.L., K. IMAKAWA, M. GARCIA-WINDER, D.D. ZALESKY, B.D. SCHANBACHER, R.J. KITOK, and J.E. KINDER (1984): Endocrine mechanisms of puberty in heifers: Estradiol negative feedback regulation of luteinizing hormone secretion. *Biology of Reproduction* 31, 332-341.
- DE BEHR, V., J.L. HORNICK, J.F. CABARAUX, A. ALVAREZ and L. ISTASSE (2001): Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. *Livestock Production Science* 71, 121-130.
- DEL VECCHIO, R.P., D.A. NEUENDORFF, R.C. STAHRINGER and R.D. RANDEL (1992): Concentrations of 13, 14-dihydro-15-keto-prostaglandin F₂α, estradiol-17β and progesterone during the peripubertal period in heifers. *Theriogenology* 38, 419-429.
- DENISE, R.S.K. and J.S. BRINKS (1985): Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters of beef cows. *Journal of Animal Science* 61, 1431-1440.
- DESJARDINS, C. and H.D. HAFS (1968): Levels of pituitary FSH and LH in heifers from birth through puberty. *Journal of Animal Science* 27, 472-477.
- DINGWELL, R.T., M.M. WALLACE, C.J. MCLAREN, C.F. LESLIE and K.E. LESLIE (2006): An evaluation of two indirect methods of estimating body weight in Holstein calves and heifers. *Journal of Dairy Science* 89, 3992-3998.
- DÖCKE, F. (1994): Pubertät. In: F. DÖCKE (Hrsg.), *Veterinärmedizinische Endokrinologie*. 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, S. 475-480.
- DODSON, S.E., B.J. MCLEOD, W. HARESIGN, A.R. PETERS and G.E. LEMMING (1988): Endocrine changes from birth to puberty in heifer. *Journal of Reproduction and Fertility* 82, 527-538.
- DOMECQ, J.J., A.L. SKIDMORE, J.W. LLOYD and J.B. KANEENE (1995): Validation of body condition scores with ultrasound measurements of subcutaneous fat of dairy cows. *Journal of Animal Science* 78, 2308-2313.
- DROCHNER, W. (2008): Fütterung der Rinder. In: H. JEROCH, W. DROCHNER und O. SIMON (Hrsg.), *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 385-465.
- EDMONSON, A.J., I.J. LEAN, L.D. WEAVER, T. FARVER and G. WEBSTER (1989): A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72, 68-78.

- ENEVOLDSEN, C. and T. KRISTENSEN (1997): Estimation of body weight from body size measurements and body condition scores in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80, 1988-1995.
- ERNST, E. und E. KALM (1994): *Grundlagen der Tierhaltung und Tierzucht*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- EVANS, A.C.O., G.P. ADAMS and N.C. RAWLINGS (1994): Follicular and hormonal development in prepubertal heifers from 2 to 36 weeks of age. *Journal of Reproduction and Fertility* 102, 463-470.
- FAHR, R.D. (1974): Untersuchungen zum Eintritt der Geschlechtsreife bei weiblichen Jungrindern der Rasse Deutsches Schwarzbuntes Milchrind und dessen Beziehung zu weiteren Kriterien der Reifeentwicklung. Dissertation, Karl-Marx-Universität, Leipzig.
- FAHRMEIER, L., T. KNEIP und S. LANG (2007): *Regression, Modelle, Methoden und Anwendungen*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- FERGUSON, J.D., D.T. GALLIGAN and N. THOMSEN (1994): Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 77, 2695-2703.
- FIEBIG, U. (1991): Wachstums- und Entwicklungsprozesse beim Kalb. In: P. Schmoltdt (Hrsg.), *Kälber- und Jungrinderaufzucht*. Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 27-47.
- FIETZE, S. (2004): Vergleich der unterschiedlichen Körperkonditionsbeurteilungsmethoden - Body Condition Scoring (BCS) und Rückenfettdickenmessung (RFD) - und deren Aussagefähigkeit in Bezug auf die Fruchtbarkeit von Holstein Friesian (HF) Kühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover.
- FITZHUGH, H.A. JR. (1976): Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* 42, 1036-1051.
- FORNI, S., M. PILES, A. BLASCO, L. VARONA, H.N. OLIVEIRA, R.B. LÔBO and L.G. ALBUQUERQUE (2009): Comparison of different nonlinear functions to describe Nelore cattle growth. *Journal of Animal Science* 87, 496-506.
- GEARHART, M.A., C.R. CURTIS, H.N. ERB, R.D. SMITH, C.J. SNIFFEN, L.E. CHASE and M.D. COOPER (1990): Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins. *Journal of Dairy Science* 73, 3132-3140.
- GLASSER, C.L., D.E. GRUM, M.L. MUSSARD, F.L. FLUHARTY, J.D. KINDER and M.L. DAY (2006): Induction of precocious puberty in heifers I: Enhanced secretion of luteinizing hormone. *Journal of Animal Science* 84, 2035-2041.
- GONZALEZ-PADILLA, E., J.N. WILTBANK and G.D. NISWENDER (1975): Puberty in beef heifers. I. The interrelationship between pituitary, hypothalamic and ovarian hormones. *Journal of Animal Science* 40, 1091-1104.
- HARDIN, W. and M. HILBE (2003): *Generalized Estimating Equations*. Chapman & Hall/CRC.
- HEINRICHS, A.J., G.W. ROGERS and J.B. COOPER (1992): Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *Journal of Dairy Science* 75, 3576-3581.

- HENDERSON, C.R. (1990): Statistical methods in animal improvement: Historical overview, In: *Advances in Statistical Methods for Genetic Improvement for Livestock*. Springer, New York.
- HERMAN, H.A. and A.C. RAGSDALE (1946): The influence of quantity and quality of nutrients on the growth of dairy heifers (Abstract). *Journal of Animal Science* 5, 398.
- HOPPER, H.W., R.W. SILCOX, D.J. BYERLEY and T.E. KISER (1993): Follicular development in prepubertal heifers. *Animal Reproduction Science* 31, 7-12.
- HURVICH, C.M. and C.L. TSAI (1989): Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika* 76, 297-307.
- JEFFERIES, B.C. (1961): Body condition scoring and its use in management. *Tasmanian Journal of Agriculture* 32, 19-21.
- KARG, H. (1994): Hormonale Regulation des Wachstums. In: F. DÖCKE (Hrsg.), *Veterinärmedizinische Endokrinologie*. 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 176-203.
- KIRCHGEßNER, M. (2004): *Tierernährung*. 11. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- KLAWUHN, D. und R. STAUFENBIEL (1997): Aussagekraft der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt beim Rind. *Tierärztliche Praxis* 25, 133-138.
- KLEIBÖHMER, C., W. HEUWIESER, J. BERGMANN und A. OCHSMANN (1998): Untersuchungen zur Erlernbarkeit und Genauigkeit der Körperkonditionsbeurteilung (BCS) beim Rind. *Praktischer Tierarzt* 79, 50-61.
- KOENEN, E.P.C. and A.F. GROEN (1998): Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. *Journal of Dairy Science* 81, 1709-1713.
- KRATOCHVÍLOVÁ, M., L. HYÁNKOVÁ, H. KNÍŽETOVÁ, J. FIEDLER and F. URBAN (2002): Growth curve analysis in cattle from early maturity and mature body size viewpoints. *Czech Journal of Animal Science* 4, 125-132.
- KRISTENSEN, E., L. DUEHOLM, D. VINK, J.E. ANDERSEN, E.B. JAKOBSEN, S. ILLUM-NIELSEN, F.A. PETERSEN AND C. ENEVOLDSEN (2006): Within- and across-person uniformity of body condition scoring in Danish Holstein cattle. *Journal of Dairy Science* 89, 3721-3728.
- KRONACHER, C. (1929): *Züchtungslehre*. Verlag Paul Parey, Berlin.
- LACASSE, P., E. BLOCK, L.A. GUILBAULT and D. PETITCLERC (1993): Effect of plane of nutrition of dairy heifers before and during gestation on milk production, reproduction, and health. *Journal of Dairy Science* 76, 3420-3427.
- LAMMERS, B.P., A.J. HEINRICHS and R.S. KENSINGER (1999): The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *Journal of Dairy Science* 82, 1753-1764.

- LASSEN, J., M. HANSEN, M.K. SORENSEN, G.P. AAMAND, L.G. CHRISTENSEN and P. MADSEN (2003): Genetic analysis of body condition score in first-parity Danish Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 86, 4123-4128.
- LIANG, K.Y. and S.L. ZEGER (1986): Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrics* 73, 13-22.
- LOWMAN, B.G., N.A. SCOTT and S.H. SOMERVILLE (1976): Condition Scoring of cattle. Bulletin No. 6, East of Scotland College of Agriculture, Animal Production Advisory and Development Department.
- MACDONALD, K.A., J.W. PENNO, A.M. BRYANT and J.R. ROCHE (2005): Effect of feeding level pre- and post-puberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 3363-3375.
- MEYER, K. (2005): Random regression analyses using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. *Genetics, Selection, Evolution* 37, 473-500.
- MIELLENZ, N., J. SPILKE, H. KREJCOVA and L. SCHÜLER (2006): Statistical analysis of test-day milk yields using random regression models for comparison of feeding groups during the lactation period. *Archives of Animal Nutrition* 60, 341-357.
- MEINECKE, B. (2000): Reproduktion beim weiblichen Tier. In: W. v. ENGELHARDT und G. BREVES (Hrsg.), *Physiologie der Haustiere*. Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart, S. 514-537.
- MOURITS, M.C.M., R.B. HUIRNE, A.A. DIJKHUIZEN, A.R. KRISTENSEN and D.T. GALLIGAN (1999): Economic optimization of dairy heifer management decisions. *Agricultural Systems* 61, 17-31.
- MULVANY, P. (1981): Dairy cow condition scoring. Handout No. 4468, National Institute for Research in Dairying, Reading, UK.
- MÜLLER, U., A.R. SHARIFI, R. STAUFENBIEL, L. HASSELMANN, R. TRIPMACHER, J. WIEBE and G.A. BROCKMANN (2005): Rearing diet effects on body condition and milk performance in first lactating dairy cows - A longitudinal study. *Archiv für Tierzucht* 48, 417-427.
- NAKADA, K., M. MORIYOSHI, T. NAKAO, G. WATANABE and K. TAY (2000): Changes in concentrations of plasma immunoreactive follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone, estradiol-17 β , testosterone, progesterone, and inhibin from heifers from birth to puberty. *Domestic Animal Endocrinology* 18, 57-69.
- NIEZEN, J.H., D.G. GRIEVE, B.W. MCBRIDE and J.H. BURTON (1996): Effect of plane of nutrition before and after 200 kilograms of body weight on mammary development of prepubertal Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 79, 1255-1260.
- OTTO, K.L., J.D. FERGUSON, D.G. FOX and C.J. SNIFFEN (1991): Relationship between body condition score and composition of ninth to eleventh rib tissue in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74, 852-859.
- PAN, W. (2001): Akaike's information criterion in generalized estimating equations. *Biometrics* 57, 120-125.

- PEROTTO, D., R.I. CUE and A.J. LEE (1992): Comparison of nonlinear functions for describing the growth of three genotypes of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 72, 773-782.
- PETITCLERC, D., L.T. CHAPIN, R.S. EMERY and H.A. TUCKER (1983): Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 57, 892-898.
- PIRLO, G., M. CAPELLETTI and G. MARCHETTO (1997): Effects of energy and protein allowances in the diets of prepubertal heifers on growth and milk production. *Journal of Dairy Science* 80, 730-739.
- PRIES, M. und M. VELIK (2008): Fütterung der Jungrinder. In: DLG (Hrsg.), *Jungrinderaufzucht. Grundstein erfolgreicher Milcherzeugung*. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt am Main, S. 29-36.
- RADCLIFF, R.P., M.J. VANDEHAAR, L.T. CHAPIN, T.E. PILBEAM, D.K. BEEDE, E.P. STANISIEWSKI and H.A. TUCKER (2000): Effects of diet and injection of bovine somatotropin on prepubertal growth and first-lactation milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 83, 23-29.
- RASCHKE, K. (2007): Erstellung eines Schemas zur Beurteilung der Körperkondition von Kälbern der Rassen "Deutsches Fleckvieh" und "Holstein Friesian". Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- RINGUET, H., G. PELLETIER, P. BRAZEAU, P. GAUDREAU, L.A. GUILBAULT, J. MORISSET, Y. COUTURE and D. PETITCLERC (1994): Long-term effects of human growth hormone-releasing hormone and photoperiod on hormone release and puberty in dairy heifers. *Journal of Animal Science* 72, 2709-2717.
- RIUS, A.G., E.E. CONNER, A.V. CAPUCO, P.E. KENDALL, T.L. AUCTION-MONTGOMERY and G.E. DAHL (2005): Long-day photoperiod that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 88, 4356-4365.
- ROBERT-GRANIÉ, C., B. HEUDE and J.L. FOULLEY (2002): Modelling the growth curve of Maine-Anjou beef cattle using heteroskedastic random coefficients models. *Genetics, Selection, Evolution* 34, 423-445.
- ROCHE, J.R., N.C. FRIGGENS, J.K. KAY, M.W. FISHER, K.J. STAFFORD and D.P. BERRY (2009): Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science* 92, 5769-5801.
- SAS INSTITUTE (2009): SAS Version 9.2. SAS Institute INC., Cary, NC, USA.
- SCHAEFFER, L.R. (2004): Application of random regression models in animal breeding. *Livestock Production Science* 86, 35-45.
- SCHNURRBUSCH, U. und B. VOGLER (2005): *Gynäkologie für Veterinärmediziner Teil I*. 3. Auflage, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Zwickau.
- SCHÖNMUTH, G. und G. SEELAND (1994): Wachstum und Fleisch. In: H. KRÄUßLICH (Hrsg.), *Tierzüchtungslehre*. 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 168-194.

- SCHRÖDER, U. (2000): Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden. Dissertation, Freie Universität, Berlin.
- SCHRÖDER, U.J. and R. STAUFENBIEL (2006): Invited Review: Methods to determine body fat reserves in dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *Journal of Dairy Science* 89, 1-14.
- SCHUSTER, H., B. FISCHER und B. LOSAND (2008): Produktionsziele in der Jungrinderaufzucht. In: DLG (Hrsg.), *Jungrinderaufzucht. Grundstein erfolgreicher Milcherzeugung*. DLG-Verlags GmbH, Frankfurt am Main, S. 7-10.
- SEJRSEN, K. (1994): Relationships between nutrition, puberty and mammary development in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society* 53, 103-111.
- SEJRSEN, K. and S. PURUP (1997): Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: a review. *Journal of Animal Science* 75, 828-835.
- SEJRSEN, K., S. PURUP, M. VESTERGAARD and J. FOLDAGER (2000): High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology* 19, 93-104.
- SINHA Y.N. and H.A. TUCKER (1969): Mammary development and pituitary prolactin level of heifers from birth through puberty and during the estrous cycle. *Journal of Dairy Science* 52, 507-512.
- SILKE, J., N. MIELENZ, S. KRAUSE and L. SCHÜLER (2009): Statistical modeling for growth data in linear mixed models - Implications derived from an example of a population comparison of Golden Hamsters. *Archiv für Tierzucht* 52, 85-100.
- SILKE, J., C. RICHTER and H.P. PIEPHO (2010): Model selection and its consequences for different split-plot designs with special covariances and trend. *Plant Breeding* 129, 590-598.
- STAUFENBIEL, R. (2012): Persönliche Mitteilung. 14.02.2012, Paretz.
- STELWAGEN, K. and D.G. GRIEVE (1990): Effect of plane of nutrition on growth and mammary gland development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 73, 2333-2341.
- SWANSON, E.W. (1960): Effect of rapid growth with fattening of dairy heifers on their lactational ability. *Journal of Dairy Science* 43, 377-387.
- SWANSON, E.W. (1967): Optimum growth patterns for dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 50, 244-252.
- VAN AMBURGH, M.E., D.M. GALTON, B.E. BAUMAN, R.W. EVERETT, D.G. FOX, L.E. CHASE and H.N. ERB (1998): Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science* 81, 527-538.
- WALDO, D.R., H.F. TYRRELL, A.V. CAPUCO and C.E. REXROAD (1997): Components of growth in Holstein heifers fed either alfalfa or corn silage diets to produce two daily gains. *Journal of Dairy Science* 80, 1674-1684.

- WIEDEMANN, F. (1989): Untersuchung der Rückenfettdicke und dem über das Körperwasser bestimmten Körperfettgehalt bei weiblichen Jungrindern und Jungkühen. Dissertation, Freie Universität, Berlin.
- WITTMANN, J. (2000): Wachstum. In: W. v. ENGELHARDT und G. BREVES (Hrsg.), Physiologie der Haustiere. Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart, S.446-452.
- ZANTON, G.I. and A.J. HEINRICHS (2005): Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. Journal of Dairy Science 88, 3860-3867.

Anhang

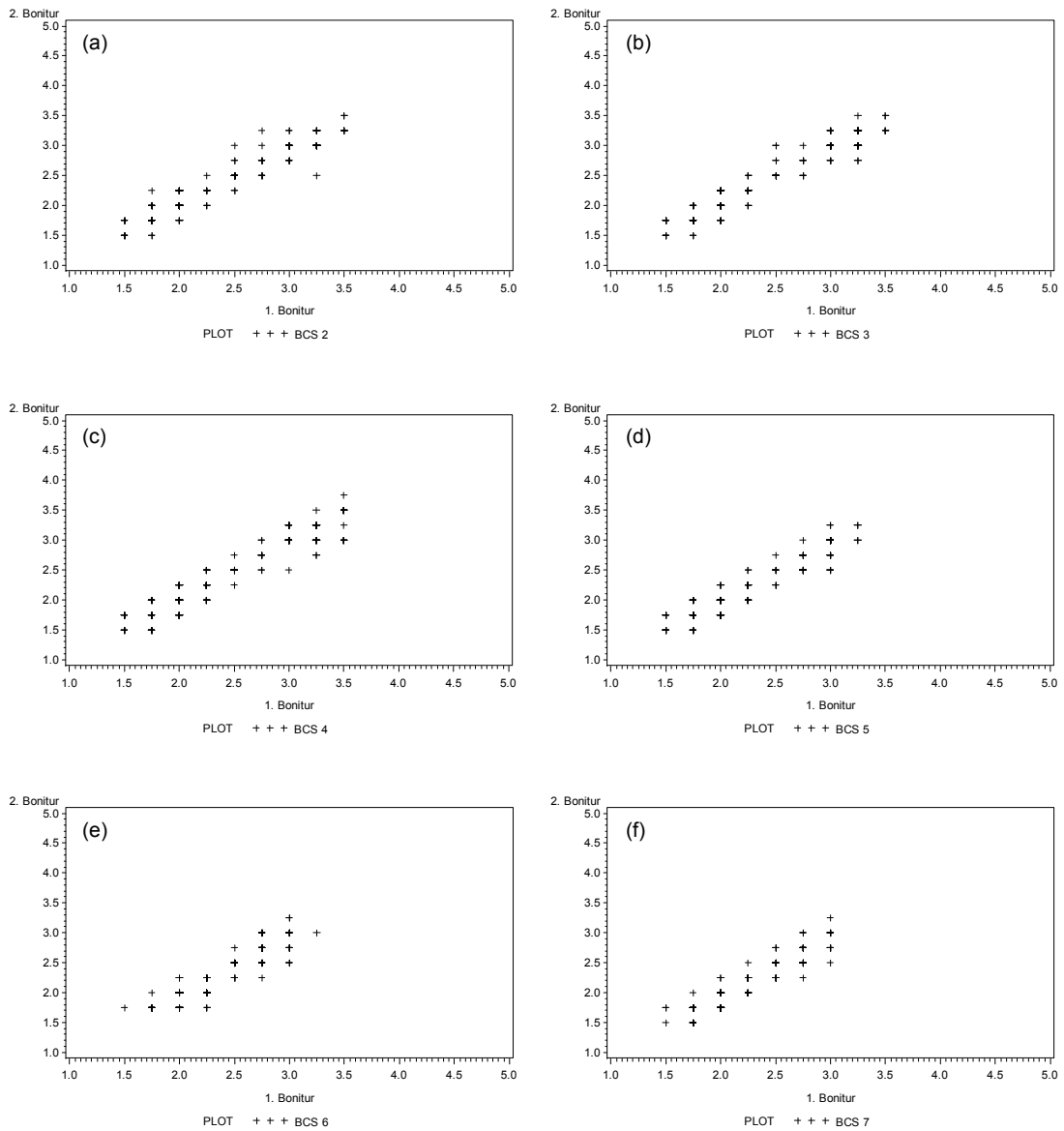


Abbildung 43: Bivariate Punktwolken von (a) BCS 2, (b) BCS 3, (c) BCS 4, (d) BCS 5, (e) BCS 6 und (f) BCS 7 aus erster und zweiter Bonitur

Tabelle 19: Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessung für die BCS-Stellen 2 bis 7

Merkmal	AK	n	IKK	$\hat{\sigma}_a^2$	$\hat{\sigma}_e^2$
BCS 2	1	51	0.71	0.02	0.01
	2	41	0.75	0.04	0.01
	3	29	0.82	0.08	0.02
	4	30	0.68	0.04	0.02
	5	19	0.64	0.03	0.02
BCS 3	1	51	0.63	0.02	0.01
	2	41	0.81	0.04	0.01
	3	29	0.84	0.07	0.01
	4	30	0.48	0.02	0.02
	5	19	0.61	0.02	0.01
BCS 4	1	51	0.50	0.04	0.04
	2	41	0.69	0.03	0.01
	3	29	0.92	0.07	0.01
	4	30	0.32	0.01	0.03
	5	19	0.37	0.02	0.03
BCS 5	1	51	0.70	0.03	0.01
	2	41	0.79	0.05	0.01
	3	29	0.75	0.05	0.02
	4	30	0.67	0.03	0.01
	5	19	0.64	0.02	0.01
BCS 6	1	51	0.51	0.01	0.01
	2	41	0.66	0.02	0.01
	3	29	0.68	0.03	0.02
	4	30	0.33	0.01	0.02
	5	19	0.25	0.01	0.02
BCS 7	1	51	0.55	0.01	0.01
	2	41	0.78	0.04	0.01
	3	29	0.69	0.04	0.02
	4	30	0.56	0.02	0.02
	5	19	0.52	0.01	0.01

AK = Altersklasse, n = Anzahl Beobachtungen, IKK = Intraklassenkorrelationskoeffizient, $\hat{\sigma}_a^2$ = Varianz zwischen den Tieren, $\hat{\sigma}_e^2$ = Varianz zwischen den Messungen innerhalb Tier

Tabelle 20: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 2

Merkmal	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	RFD	KM
BCS 1	1.00	0.85	0.82	0.77	0.81	0.70	0.76	0.71	0.53	0.61
BCS 2		1.00	0.87	0.81	0.83	0.73	0.78	0.75	0.49	0.59
BCS 3			1.00	0.90	0.83	0.73	0.75	0.75	0.52	0.61
BCS 4				1.00	0.80	0.68	0.70	0.73	0.50	0.58
BCS 5					1.00	0.76	0.83	0.79	0.55	0.57
BCS 6						1.00	0.81	0.76	0.43	0.51
BCS 7							1.00	0.79	0.48	0.56
BCS 8								1.00	0.58	0.64

RFD = Rückenfettdicke, KM = Körpermasse

Tabelle 21: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 4

Merkmal	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	RFD	KM
BCS 1	1.00	0.86	0.84	0.80	0.78	0.73	0.75	0.61	0.06	0.18
BCS 2		1.00	0.89	0.81	0.85	0.84	0.85	0.70	0.05	0.10
BCS 3			1.00	0.92	0.85	0.80	0.83	0.72	0.08	0.14
BCS 4				1.00	0.80	0.74	0.76	0.68	0.09	0.23
BCS 5					1.00	0.87	0.90	0.71	0.03	0.01
BCS 6						1.00	0.91	0.71	-0.06	-0.03
BCS 7							1.00	0.73	-0.02	0.02
BCS 8								1.00	0.27	0.13

RFD = Rückenfettdicke, KM = Körpermasse

Tabelle 22: Spearman'sche Korrelationskoeffizienten der acht BCS-Stellen, Körpermasse und Rückenfettdicke in Altersklasse 5

Merkmal	BCS 1	BCS 2	BCS 3	BCS 4	BCS 5	BCS 6	BCS 7	BCS 8	RFD	KM
BCS 1	1.00	0.88	0.84	0.79	0.83	0.77	0.81	0.60	0.11	0.14
BCS 2		1.00	0.91	0.81	0.90	0.86	0.88	0.68	0.08	0.07
BCS 3			1.00	0.90	0.90	0.83	0.85	0.74	0.18	0.18
BCS 4				1.00	0.82	0.74	0.75	0.71	0.23	0.30
BCS 5					1.00	0.89	0.92	0.71	0.08	0.09
BCS 6						1.00	0.94	0.70	-0.04	-0.01
BCS 7							1.00	0.74	0.01	0.02
BCS 8								1.00	0.28	0.20

RFD = Rückenfettdicke, KM = Körpermasse

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Es wurden keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Hiermit erkläre ich, dass ich noch keine vergeblichen Promotionsversuche unternommen habe und die vorliegende Dissertation nicht in der gegenwärtigen bzw. in einer anderen Fassung bereits einer anderen Fakultät / anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt habe.

Halle (Saale), Januar 2013

Unterschrift

Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt besonders Herrn Prof. Spilke für seine stetige Geduld und die sehr gute fachliche Betreuung meiner Dissertation. Durch die vielfältigen Anregungen und Hinweise in allen Phasen der Arbeit wurden mir immer wieder wichtige Denkanstöße gegeben.

Auch Herrn Prof. Krieter möchte ich für die Begutachtung der Dissertation aufrichtig danken.

Weiterhin möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik bedanken. Vor allem bei Herrn Dr. Mielenz der stets ein offenes Ohr für statistische Fragen hatte und sich immer viel Zeit nahm, um die beste Lösung zu finden. Aber auch bei Frau Braunsdorff, die durch ihre Korrekturen dazu beigetragen hat, dass meine Arbeit in dieser Form vorliegt.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei den Mitarbeitern der TLL und besonders bei Herrn Börner, dem Herdenmanager des Färsenaufzuchtbetriebes in Thüringen, für die problemlose Durchführung der zahlreichen Untersuchungen im Stall.

Ein weiterer großer Dank geht an meinen Projekt- und Arbeitskollegen der AG, Simon. Ihm danke ich besonders für die vielen fachlichen und auch nichtfachlichen Diskussionen, sowie für die schöne Zeit in der Arbeitsgruppe.

Auch den ehemaligen Doktorandinnen Karen, Franzi und Katrin möchte ich danken. Sie hatten ebenso immer Zeit, wenn es Fragen oder Probleme gab.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meiner Familie und bei meinen Freunden, die immer ein offenes Ohr für mich und meine Probleme während der Anfertigung meiner Dissertation hatten.

Das letzte große Dankeschön geht an meinen Freund Markus. Ohne seine Unterstützung und Liebe hätte ich es nicht geschafft die Arbeit in dieser Form fertig zu stellen und abzugeben. Aus diesem Grund möchte ich ihm meine Dissertation widmen.