

**Vergleich von Gewichtszunahme-Modellen  
bei Tieren mit Hilfe des  
Informationskriteriums von Akaike**

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.)

vorgelegt am

Institut für Mathematik

an der Universität für Bodenkultur Wien

von

Katharina Renner-Martin

Wien

März 2015

## Zusammenfassung

Diese Arbeit behandelt die Auswahl von 13 verschiedenen Modellen zur Beschreibung der Gewichtszunahme für Heim- und Nutztiere mit Hilfe des Informationskriteriums von Akaike (AIC). Untersucht wurden 49699 Daten von 5188 Ferkeln aus den Jahren 2007-2013, 38623 Daten von 4046 Fleckviehtieren aus den Jahren 1975-2013, 4450 Daten von 424 Braunviehtieren aus den Jahren 1986-2013, 281 Daten von 47 Stieren der Rasse Charolais aus den Jahren 2008-2012, 4189 Daten von 509 Welpen der Jagdhunderasse Brandlbracke aus den Jahren 2003-2014 und 4142 Daten von 297 Mastschweinen aus den Jahren 2008-2012. Unter Verwendung des AIC wurden folgende mathematische Wachstumsmodelle miteinander verglichen: proportional, linear, quadratisch, quadratisch/null, Parabel, kubisch, exponentiell, beschränkt exponentiell, logistisch sowie die Modelle von Bertalanffy, Parks und Richards und ein zwei Lineares Modell.

Bei den Welpen wurde das Modell von Bertalanffy favorisiert, ebenso bei den Ferkeln bis zum Absetzzeitpunkt. Bei den Ferkeldaten insgesamt favorisierte der AIC das zwei Lineare Gewichtszunahmemodell in 13 von 16 Auswertungen der Datensätze. Das kubische Modell zeigte die beste Anpassung an die Daten der Mastschweine. Das Modell von Richards wurde zu 100% sowohl bei den Fleckvieh- als auch bei den Braunviehtieren als das optimale identifiziert. Aufgrund des kurzen Messzeitraumes der Gewichtszunahmen der Stiere der Rasse Charolais war keine Aussage über ein optimales Modell möglich.

## **Abstract**

This thesis approaches the selection and comparison of 13 different growth models for describing weight gain of pets and livestock by using the Akaike's Information Criterion (AIC). In total 49699 data points of 5188 piglets recorded between 2007 and 2013, 38623 body weight records of 4046 Fleckvieh bulls collected between 1975 and 2013, 4450 data of 424 Braunvieh bulls recorded from 1986 to 2013, 281 data points of 47 bulls of the breed Charolais gathered between 2008 and 2012, 4189 body weight records of 509 puppies of the hunting dog breed Brandlbracke collected between 2003 and 2014 and 4142 data of 297 fattening pigs recorded between 2008 and 2012 were considered.

Applying Akaike's Information Criterion the following mathematical growth models were compared: proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restricted exponential, logistic, von Bertalanffy, Parks, Richards and a two linear model.

Among these models the model of von Bertalanffy had the best fit for the puppies and the piglets pre-weaning. In an overview of the piglets' data the two linear model was favored by the AIC in 13 of 16 analyses of the data set. For the fattening pigs the cubic model had the smallest AIC and therefore was most suitable. The Richards model showed the best fit for the Fleckvieh and Braunvieh bulls. Based on the relatively short period for the measuring of the weight gain data of the Charolais bulls no statement could be made regarding an optimal model.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	I
Abstract .....	II
Inhaltsverzeichnis .....	III
Danksagung .....	1
1 Einleitung zur mathematischen Modellierung .....	3
2 Modellauswahl und Akaikes Informationskriterium .....	4
3 Mathematische Wachstumsmodelle .....	7
3.1 Zeitabhängige Wachstumsmodelle .....	7
3.1.1 Lineares Wachstum .....	7
3.1.2 Quadratisches Wachstum .....	8
3.2 Größenabhängige Wachstumsmodelle .....	9
3.2.1 Exponentielles Wachstum .....	9
3.2.2 Beschränktes Wachstum: Exponentialfunktion .....	11
3.2.3 Beschränktes Wachstum: Logistisches Modell .....	12
3.3 Spezielle Gewichtszunahmemodelle .....	15
3.3.1 Modell von Bertalanffy .....	15
3.3.2 Vereinfachtes Modell von Parks .....	17
3.3.3 Modell von Richards .....	19
4 Verwendete Modelle .....	22
5 Methode der kleinsten Quadrate mit MS Excel .....	24
5.1 Theoretischer Hintergrund .....	24
5.2 Vorprogrammierte Excel Trendlinien .....	25
5.3 Parameterbestimmung mit dem Solver .....	26
6 Daten: Quellen und Aufbereitung .....	27
6.1 Hunde .....	27
6.2 Ferkel .....	28

6.3	Schweine .....	30
6.4	Rinder .....	31
6.4.1	Fleckvieh und Braunvieh.....	31
6.4.2	Charolais.....	33
7	Ergebnisse .....	35
7.1	Hunde .....	35
7.1.1	Welpen Gesamtliste.....	35
7.1.2	Drei Welpen pro Wurf .....	36
7.1.3	Vier Welpen pro Wurf.....	37
7.1.4	Fünf Welpen pro Wurf.....	37
7.1.5	Sieben Welpen pro Wurf.....	38
7.1.6	Acht Welpen pro Wurf.....	39
7.1.7	Neun Welpen pro Wurf .....	39
7.1.8	Zehn Welpen pro Wurf.....	40
7.1.9	Elf Welpen pro Wurf.....	41
7.1.10	Zwölf Welpen pro Wurf .....	41
7.1.11	Dreizehn Welpen pro Wurf.....	42
7.2	Ferkel.....	43
7.2.1	Ferkel Gesamtliste.....	43
7.2.1.1	Ferkel Gesamtliste 2007 .....	43
7.2.1.2	Ferkel Gesamtliste 2008 .....	43
7.2.1.3	Ferkel Gesamtliste 2009 .....	44
7.2.1.4	Ferkel Gesamtliste 2010 .....	45
7.2.1.5	Ferkel Gesamtliste 2011 .....	45
7.2.1.6	Ferkel Gesamtliste 2012 .....	46
7.2.1.7	Ferkel Gesamtliste 2013 .....	47
7.2.1.8	Ferkel Gesamtliste 2007 bis 2013.....	47

7.2.2 Ferkel ohne Kümmerer .....	49
7.2.2.1 Ferkel ohne Kümmerer 2007 .....	49
7.2.2.2 Ferkel ohne Kümmerer 2008 .....	50
7.2.2.3 Ferkel ohne Kümmerer 2009 .....	50
7.2.2.4 Ferkel ohne Kümmerer 2010 .....	51
7.2.2.5 Ferkel ohne Kümmerer 2011 .....	52
7.2.2.6 Ferkel ohne Kümmerer 2012 .....	52
7.2.2.7 Ferkel ohne Kümmerer 2013 .....	53
7.2.2.8 Ferkel ohne Kümmerer 2007 bis 2013 .....	54
7.2.3 Ferkel bis zum Absetzen .....	55
7.2.3.1 Ferkel Gesamtliste bis zum Absetzen 2007 bis 2013 .....	55
7.2.3.2 Ferkel ohne Kümmerer bis zum Absetzen 2007 bis 2013 .....	56
7.3 Schweine .....	57
7.3.1 Mastschweine - Versuch 1 .....	57
7.3.2 Mastschweine - Versuch 2 .....	58
7.3.3 Mastschweine - Versuch 3 .....	59
7.3.4 Mastschweine - Versuch 4 .....	59
7.3.5 Mastschweine - Versuch 5 .....	60
7.3.6 Mastschweine Gesamtliste .....	61
7.3.7 Männliche Mastschweine .....	62
7.3.8 Weibliche Mastschweine .....	63
7.4 Rinder .....	64
7.4.1 Stiere der Rasse Fleckvieh .....	64
7.4.1.1 Fleckvieh gesamt .....	64
7.4.1.2 Fleckvieh bis Lebenstag 420 .....	65
7.4.1.3 Fleckvieh mit mindestens sechs Messungen .....	66

7.4.1.4 Fleckvieh mit mindestens sechs Messungen und bis Lebenstag 420 .....	67
7.4.2 Stiere der Rasse Braunvieh .....	67
7.4.2.1 Braunvieh gesamt .....	67
7.4.2.2 Braunvieh bis Lebenstag 410 .....	69
7.4.2.3 Braunvieh mit mindestens sechs Messungen .....	70
7.4.2.4 Braunvieh mit mindestens sechs Messungen und bis Lebenstag 410 .....	71
7.4.3 Stiere der Rasse Charolais .....	72
8 Diskussion .....	74
Abbildungsverzeichnis .....	VI
Tabellenverzeichnis .....	VII
Literaturverzeichnis .....	IX
Erklärung .....	XI

## Danksagung

„Ich bin dankbar, nicht weil es vorteilhaft ist, sondern weil es Freude macht.“ *Lucius Annaeus Seneca*

In diesem Sinne danke ich Univ. Prof. Dr. phil. Werner Georg Nowak ohne dessen Einverständnis und großzügige Unterstützung diese Arbeit überhaupt nicht möglich gewesen wäre.

Ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Univ. Prof. Mag. Dr. Manfred Kühleitner für die freundliche Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Begleitung über den gesamten Arbeitsverlauf. Ich bedanke mich bei ihm ebenso wie bei Univ. Prof. Dr. phil. Norbert Brunner für eine unerschöpfliche Vielfalt an thematischen Ratschlägen, zielführenden Hinweisen und neuen Denkanstößen auf dem Weg zur vollendeten Masterarbeit sowie für alle hilfreichen und wertvollen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit. Die Betreuung war rundum die beste, die ich mir wünschen konnte.

Diese Arbeit behandelt die Auswahl von Modellen zur Beschreibung der Gewichtszunahme für Haus- und Nutztiere. Ohne empirische Daten wäre die Arbeit jedoch undurchführbar gewesen, weil es zwar viele Modelle aber nichts zu vergleichen gegeben hätte. Daher richtet sich mein Dank ebenso an die Bereitsteller der verwendeten Daten:

Ing. Helmut Gaar, Zuchtwart der Brandlbracken des Österreichischen Brackenvereins, stellte die Daten von 509 Welpen aus den Jahren 2003 bis 2014 zur Verfügung.

Die Daten von 5188 Ferkeln aus den Jahren 2007 bis 2013 stammen von Dr. Werner Hagmüller, Leiter des Lehr- und Forschungszentrums Wels-Thalheim.

Die Daten von 4046 Fleckviehstieren aus den Jahren 1975 bis 2013 und 424 Braunviehstieren aus den Jahren 1986 bis 2013 wurden von Mag. Ing. Franz Sturmlechner und Dr. Christian Fürst von der Zentralen Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Rinderzüchter zur Verfügung gestellt.

Ing. Sebastian Auernig, Direktor der landwirtschaftlichen Fachschule Althofen stellte die Daten von 47 Stieren der Rasse Charolais aus den Jahren 2008 bis 2012 zur Verfügung.

Die Daten von 297 Mastschweinen aus den Jahren 2008 bis 2013 stammen von Dr. Karl Schedle vom Institut für Tierernährung der Universität für Bodenkultur Wien.

## 1 Einleitung zur mathematischen Modellierung

Aus einem Datensatz von kontinuierlich gemessenen Gewichtsdaten soll jenes mathematische Modell bestimmt werden welches den zeitlichen Wachstumsverlauf am genauesten modelliert. Dabei zeigt sich, dass Wachstum ein sehr komplexes Phänomen ist und es wenig sinnvoll ist alle Aspekte bei der Modellierung zu berücksichtigen. So sind oftmals nicht alle notwendigen Daten bekannt oder bekannte Daten ungenau oder unzuverlässig. Daher beinhaltet fast jedes Wachstumsmodell Vereinfachungen und Modellannahmen. Für gewöhnlich werden Einflüsse, die auf unbekanntem Daten basieren, vernachlässigt oder nur näherungsweise berücksichtigt und es werden komplizierte Effekte mit geringer Konsequenz stark vereinfacht oder außer Acht gelassen.[19]

Der Nutzen eines Wachstumsmodells liegt im einfachsten Fall darin, statt einem „Haufen von Daten“ eine Formel zu besitzen mit Hilfe derer man die Daten berechnen kann. Im besten Fall versteht man die zugrundeliegende Wachstumsdynamik und kann mit Hilfe des Modells Gewichtsvorhersagen treffen. [9]

Die Gewichtszunahme von Tieren erfolgt kontinuierlich. Eine angemessene Modellierung sucht daher nach einer differenzierbaren Funktion  $X(t)$ , die das Gewicht  $X$  zum Zeitpunkt  $t$  erfasst. Verschiedene mathematische Wachstumsmodelle (linear, exponentiell, logistisch, Parks, Bertalanffy, Richards) werden in Kapitel 3 hergeleitet.

Die Parameter der unterschiedlichen Wachstumsfunktionen werden mit der Methode der kleinsten Quadrate in dem Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel an die Datensätze angepasst. Das zugrunde liegende Verfahren wird in Kapitel 5 erläutert.

Die Modellauswahl erfolgt bei gleicher Parameteranzahl nach der Güte der Anpassung und bei unterschiedlicher Anzahl an Parametern der Wachstumsfunktionen mit Hilfe des Akaike Kriteriums. Dies wird in Kapitel 2 erklärt.

## 2 Modellauswahl und Akaikes Informationskriterium

Führt man eine Regression durch, so ist mit der Auswahl des Kurventyps der Regressionslinie (z.B. linear, quadratisch) auch die Entscheidung für ein Modell verbunden. In einem Regressionsmodell spiegelt die Modellfunktion den Zusammenhang zwischen den Variablen und den tatsächlich gemessenen Daten wider. Es existieren jedoch häufig verschiedene Annahmen, welcher Art dieser Zusammenhang sein kann, so dass aus zwei Regressionsmodellen  $f$ ,  $g$  dasjenige gewählt werden muss, das diesen Zusammenhang am besten beschreibt.

Ausgangspunkt sind beobachtete Datenpaare  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ . Der Zusammenhang zwischen  $x$  und  $y$  wird mit einer Modellfunktion  $f = f(x, c_1, \dots, c_k)$  beschrieben, die zusätzlich zur Variablen  $x$  Parameter  $c_1, \dots, c_k$  enthält. Die Parameter sind so zu wählen, dass  $y_i \approx f(x_i)$  für alle Datenpunkte,  $i = 1, \dots, N$ . Analog für die Modellfunktion  $g$ . In dieser Arbeit werden die Modell-Parameter mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt: Die Summe der Abweichungsquadrate wird minimiert. Wenn die Abweichungen normalverteilt sind, ist dies die Maximum-Likelihood Methode.

Nun müssen Kriterien gefunden werden, um die Modelle vergleichen zu können. Im einfachsten Fall vergleicht man die Summe der Abweichungsquadrate – je kleiner, desto besser. Weil aber ein Modell mit mehr Parametern besser angepasst werden kann, als ein solches mit weniger Parametern, spielt auch die Zahl der Parameter eine bedeutende Rolle: Eine wissenschaftliche Erklärung soll zwecks besserer Falsifizierbarkeit möglichst einfach sein. Je weniger Parameter ein Modell benötigt, desto einfacher ist die damit mögliche Erklärung. In die Modellauswahl sollen daher sowohl die Abweichungsquadrate als auch die Anzahl der Parameter eingehen. Zusätzlich spielt natürlich auch eine Rolle, welche und wie viel Daten vorhanden sind.

Es stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, um bei gleichen Daten ein Modell auszuwählen. Wenn es um den Vergleich von zwei Modellen geht, bei denen eine allgemeinere Form des Modells mit einer spezielleren verglichen wird (z.B. quadratisches Polynom  $f$  im Vergleich zu einem linearen Polynom  $g$ ) ist der F-Test ein gängiges statistisches Verfahren. [18] Für die Fragestellungen dieser Arbeit (Vergleich von Wachstumsmodellen mit gänzlich unterschiedlichen Formeln) ist der F-Test nicht ausreichend.

Ein Kriterium, mit dem ein Vergleich von nicht verwandten Modellen möglich ist, ist das Informationskriterium von Akaike [2][3], das auf folgender Vergleichsgröße AIC (oder genauer  $AIC_L$ ) beruht:

$$AIC_L = 2K - 2 \cdot \ln(\text{maximale Likelihood})$$

$K$  steht hier für die Anzahl der zu schätzenden Parameter im Modell.

Im Fall einer kleinsten Quadrate-Schätzung mit normalverteiltem Fehlerterm kann folgende Vergleichsgröße (genauer:  $AIC_S$ ) verwendet werden

$$AIC_S = N \ln\left(\frac{SS}{N}\right) + 2K,$$

dabei sind:  $SS$  die Abweichungsquadratsumme,  $N$  die Anzahl der Datenpunkte und  $K$  wieder die Anzahl der Parameter. Die beiden Formeln ergeben nicht die gleichen Zahlen, in dieser Arbeit arbeiten wir mit  $AIC = AIC_S$ .

Ist die Anzahl der Datenpunkte gering im Vergleich zur Anzahl der Parameter im Modell, so wird die Verwendung des korrigierten AIC ( $AIC_C$ ) empfohlen. Dieser wird mit der Formel

$$AIC_C = AIC_S + \frac{2K(K + 1)}{N - K - 1}$$

berechnet. Auch hier steht  $N$  für die Anzahl der Datenpunkte und  $K$  für die Parameteranzahl. Offensichtlich kann der  $AIC_C$  nur berechnet werden falls  $N$  mindestens um zwei größer ist als  $K$ . [18]

Generell ist anzumerken, dass aufgrund eines AIC für ein einzelnes Modell kein Rückschluss auf die Güte des Modells geschlossen werden kann. Aussagekräftig ist erst der Vergleich der berechneten AIC-Werte mehrerer Modelle. Es wird dann das Modell mit dem kleinsten AIC gewählt: Ist also  $g$  das einfachere Modell mit höherem  $SS$  und  $f$  das kompliziertere Modell mit niedrigerem  $SS$ , so wird  $f$  trotz der schlechteren Anpassung gewählt, wenn der AIC niedriger ist. Je größer die AIC-Differenz ist, desto mehr spricht das für das Modell mit dem kleineren AIC. In der Literatur wird dafür die folgende Formel für die Wahrscheinlichkeit der richtigen Auswahl angegeben, wobei  $\Delta$  die Differenz zweier AICs ist:[18]

$$\text{Wahrscheinlichkeit} = \frac{e^{-0,5\Delta}}{1 + e^{-0,5\Delta}}$$

Abbildung 2 stellt das Verhältnis zwischen der Differenz der AIC-Werte und der jeweiligen Wahrscheinlichkeit dar.

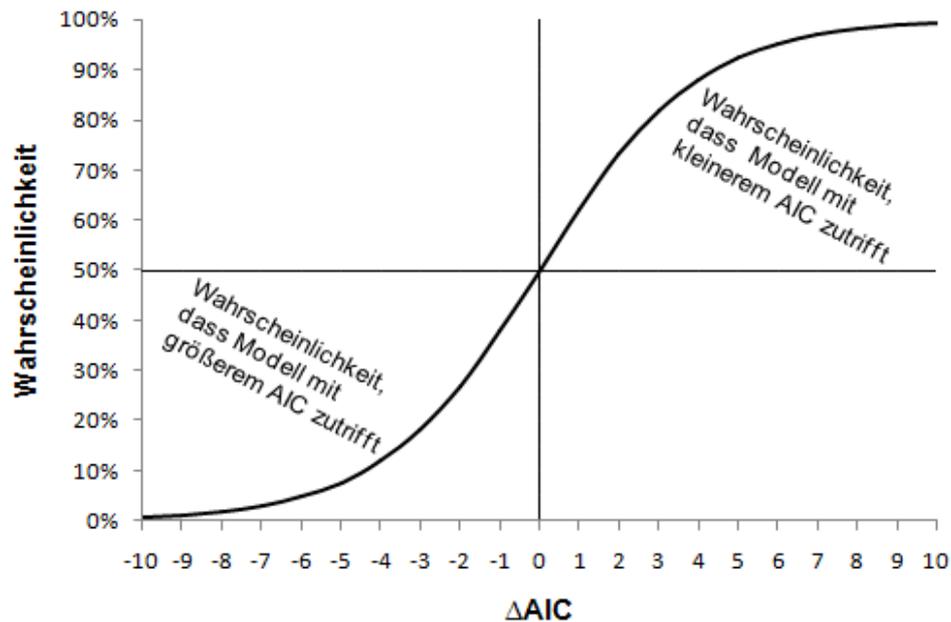


Abbildung 1: Verhältnis zwischen der AIC Differenz und den Wahrscheinlichkeiten der Modelle

Ist die Differenz der beiden Werte null, so sind beide Modelle gleich wahrscheinlich. Bei einer Differenz von 4 hat das bessere Modell eine Wahrscheinlichkeit von 88% und das andere Modell von 12%. Das bessere Modell ist also 7,3-mal wahrscheinlicher als das andere. Diese relativen Wahrscheinlichkeiten werden auch Akaike Gewichte genannt. Das Verhältnis der relativen Wahrscheinlichkeiten zweier Modelle kann auch direkt mit

$$\text{Verhältnis relative Wahrscheinlichkeiten} = \frac{1}{e^{-0,5 \Delta AIC}}$$

berechnet werden.[18]

### 3 Mathematische Wachstumsmodelle

Im Folgenden werden verschiedene Wachstumsmodelle vorgestellt. Dabei bezeichnet jeweils  $X_0$  den Anfangswert und  $X'(t)$  die aktuelle Wachstumsgeschwindigkeit der Größe  $X(t)$ .

#### 3.1 Zeitabhängige Wachstumsmodelle

In diesem Fall ist  $X'(t) = A(t)$ . Dabei steht  $A(t)$  für einen Ausdruck bzw. eine Formel in der Zeit  $t$ .

Ist die Wachstumsgeschwindigkeit null,  $X'(t) = 0$ , so gibt es keine Veränderung (Wachstum bzw. Abnahme), daher ist die Größe  $X$  zeitlich konstant, d.h.  $X(t) = X_0$ .

##### 3.1.1 Lineares Wachstum

Ist die Wachstumsgeschwindigkeit zeitlich konstant,  $X'(t) = k$ , so ändert sich die Größe  $X$  um einen konstanten Faktor  $k$  im Laufe der Zeit  $t$ . Da  $X(t) = \int X'(t) dt$  gilt, erhält man durch Integration der Differentialgleichung nach  $t$

$$X(t) = \int k dt$$

und weiter die explizite Darstellung oder Wachstumsfunktion

$$X(t) = kt + C.$$

Die Konstante  $C$  ist der Anfangswert der Größe  $X$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  und so erhält man die Formel

$$X(t) = kt + X_0.$$

Abbildung 2 stellt die zeitlich konstante Änderung  $X'(t) = k$  dar, Abbildung 3 den Verlauf eines linearen Wachstums.

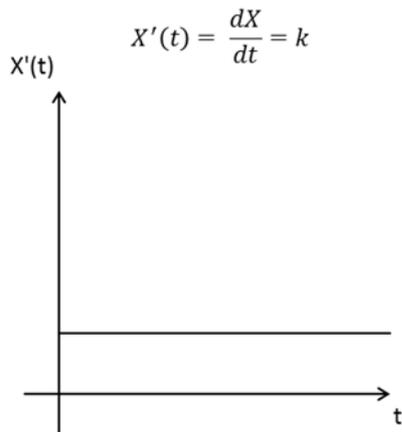


Abbildung 2: zeitlich konstante Änderung

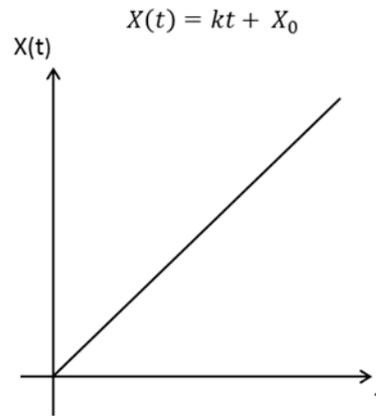


Abbildung 3: Verlauf eines linearen Wachstums

### 3.1.2 Quadratisches Wachstum

Ist die Wachstumsgeschwindigkeit proportional zur Zeit,  $X'(t) = kt$ , so führt die Differentialgleichung

$$X'(t) = \frac{dX}{dt} = kt$$

nach Integration

$$X(t) = \int kt \, dt$$

zu einer quadratischen Funktion

$$X(t) = \frac{1}{2}kt^2 + C.$$

Auch hier erhält man  $X_0 = C$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  und somit

$$X(t) = \frac{1}{2}kt^2 + X_0.$$

Abbildung 4 stellt die Wachstumsgeschwindigkeit  $X'(t)$  eines quadratischen Wachstums dar,

Abbildung 5 den Verlauf eines quadratischen Wachstums.

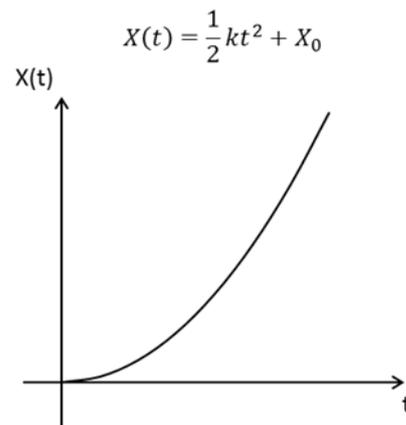
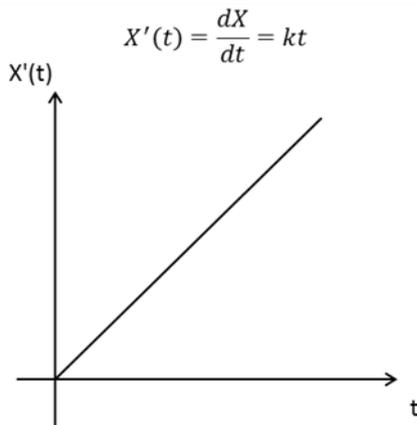


Abbildung 4: Wachstumsgeschwindigkeit eines quadratischen Wachstums      Abbildung 5: Verlauf eines quadratischen Wachstums

**Bemerkung.** Ein klassisches Beispiel aus der Physik für ein solches Zunahmemodell ist der Freie Fall. Hier wächst die Geschwindigkeit proportional mit der Falldauer, d.h.  $v = gt$ . Somit wächst der Fallweg  $s$  quadratisch mit der Zeit,  $s = \frac{g}{2}t^2$ .

## 3.2 Größenabhängige Wachstumsmodelle

In diesem Fall ist  $X'(t) = A(X)$ . Dabei steht  $A(X)$  für einen Ausdruck bzw. eine Formel in  $X$ .

### 3.2.1 Exponentielles Wachstum

Ist die Änderung einer Größe  $X'(t)$  proportional zur Größe selbst,  $X'(t) = \mu X(t)$ , so spricht man von exponentiellem Wachstum. [14][15] Durch Umformen der Differentialgleichung

$$X'(t) = \frac{dX}{dt} = \mu X(t)$$

erhält man

$$\frac{X'(t)}{X(t)} = \mu$$

und in weiterer Folge durch Integration nach  $t$

$$\int \frac{X'(t)}{X(t)} dt = \int \mu dt$$

$$\ln|X(t)| + C_1 = \mu t + C_2$$

$$\ln|X(t)| = \mu t + C^*$$

mit  $C^* = C_2 - C_1$ .

Auflösen der Gleichung nach  $X(t)$  ergibt

$$X(t) = e^{\mu t} e^{C^*}.$$

Da  $e^{C^*}$  konstant ist, folgt

$$X(t) = e^{\mu t} C.$$

Wie im linearen Fall kann die Konstante  $C$  auch hier als Anfangswert der Größe  $X$  verstanden werden. Daher lautet die Wachstumsformel für exponentielles Wachstum mit der Wachstumsrate  $\mu$

$$X(t) = X(0)e^{\mu t}.$$

Abbildung 6 zeigt die Wachstumsgeschwindigkeit  $X'(t)$ . Je mehr von der Größe  $X(t)$  aktuell vorhanden ist, desto höher ist die Wachstumsgeschwindigkeit  $X'(t)$ .

Abbildung 7 stellt den zeitlichen Verlauf  $X(t)$  eines exponentiellen Wachstums dar.

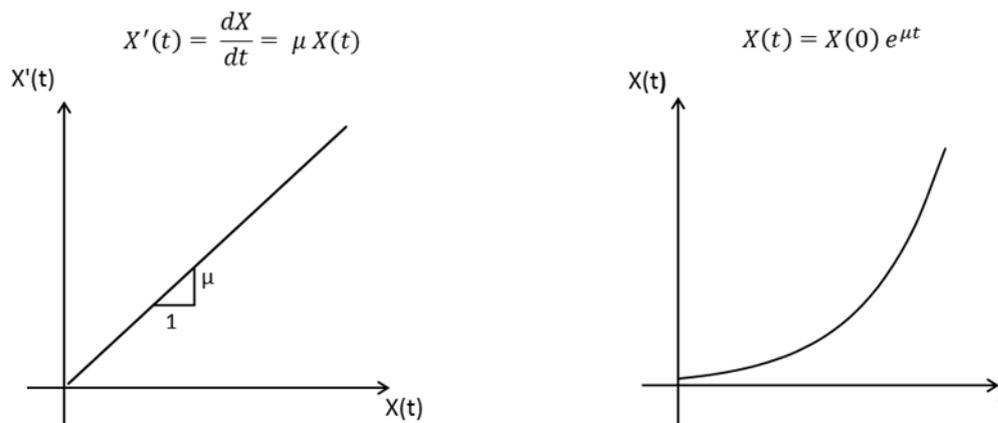


Abbildung 6: Wachstumsgeschwindigkeit eines exponentiellen Wachstums

Abbildung 7: Verlauf eines exponentiellen Wachstums

Charakteristisch für das exponentielle Wachstum ist der Exponent  $\mu$  und die damit zusammenhängende Verdopplungsdauer, das ist jene Zeitdauer in welcher die Größe  $X$  auf den doppelten Ausgangswert anwächst. Wegen

$$2X_0 = X_0 e^{\mu t}$$

hängen die Verdopplungsdauer und die Wachstumsrate über folgende Formel zusammen:

$$\text{Verdopplungsdauer} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Für die Exponentialfunktion gilt, dass die Verdopplungsdauer unabhängig von der erreichten Größe immer konstant ist.

### 3.2.2 Beschränktes Wachstum: Exponentialfunktion

In der Natur sind Wachstumsvorgänge auf lange Sicht, durch begrenzte Nahrung oder Lebensraum, zeitlich beschränkt. Für die Größe  $X$  gibt es somit eine natürliche Grenze  $A$ , die es nicht überschreiten kann. Die Wachstumsgeschwindigkeit sinkt proportional zu  $(A - X)$ .

Integriert man die Differentialgleichung  $X' = c \cdot (A - X)$ , so erhält man

$$\int \frac{X'(t)}{A - X(t)} dt = \int c dt$$
$$-\ln(A - X(t)) = ct + C_1.$$

Nach  $X(t)$  auflösen ergibt zunächst

$$A - X(t) = e^{-ct} e^{-C_1}$$

und nachfolgend

$$X(t) = A - Ke^{-ct}$$

mit  $K = e^{-C_1}$ .

Abbildung 8 zeigt die Wachstumsgeschwindigkeit  $X'(t)$  abhängig von der Größe  $X(t)$ ,

Abbildung 9 stellt die Größe  $X$  im Laufe der Zeit dar.

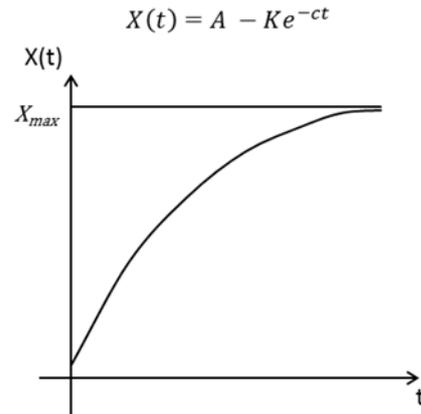
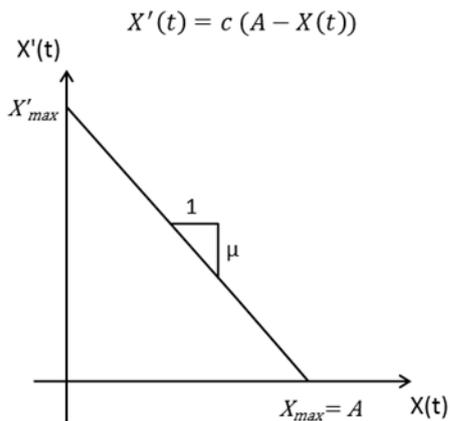


Abbildung 8: Wachstumsgeschwindigkeit eines beschränkten Wachstums      Abbildung 9: Verlauf eines beschränkten Wachstums

Bemerkung. Dieses Modell ist auch unter dem Ertragsgesetz von Mitscherlich bekannt. Dort beschreibt es den formelmäßigen Zusammenhang zwischen dem erzielten Ertrag und der dazu aufgewendeten Düngermenge. Durch den Gebrauch von Düngemitteln lässt sich der Ertrag steigern. Aber nicht bis ins Unendliche, sondern nur bis zu einem Maximalertrag = Grenzertrag. Der Ertragszuwachs je zusätzlich ausgebrachter Düngemittelmenge nimmt mit der ausgebrachten Düngermenge ab. Mitscherlich [17] ging dabei von folgender Gleichung aus

$$\frac{dy}{dx} = c(A - y)$$

wobei  $y$  den Ertrag darstellt,

$x$  für die ausgebrachte Düngermenge steht,

$A$  der Grenzertrag oder Maximalertrag ist und

$c$  als Konstante anzusehen ist.

Ein weiteres Modell, das hier nur Erwähnung finden soll und unter Anderem in der Forstwirtschaft und zur Beschreibung des Wachstums von Geflügel Anwendung findet, ist das Modell von Weibull [6][29] mit der Wachstumsfunktion

$$X(t) = A \left(1 - e^{-kt^b}\right).$$

### 3.2.3 Beschränktes Wachstum: Logistisches Modell

Ein Wachstum heißt logistisch [15] mit der Schranke  $S$ , wenn die Änderungsrate  $X'(t)$  proportional zum Produkt aus der Größe selbst und dem Sättigungsmanko  $X(t)(S - X(t))$  ist. Das Modell des exponentiellen Wachstums wird hier beispielsweise durch

eine sich mit dem Wachstum verbrauchende Ressource modifiziert. Durch Umformen der Differentialgleichung

$$X'(t) = k X(t)(S - X(t))$$

erhält man

$$\frac{X'(t)}{X(t)(S - X(t))} = k.$$

Durch Erweitern mit  $S$

$$\frac{S X'(t)}{S X(t)(S - X(t))} = k$$

und folgenden geeigneten Umformungen

$$\frac{S X'(t) + X'(t)X(t) - X'(t)X(t)}{S X(t)(S - X(t))} = k$$

$$\frac{X'(t)(S - X(t)) + X'(t)X(t)}{S X(t)(S - X(t))} = k$$

$$\frac{X'(t)}{S X(t)} + \frac{X'(t)}{S(S - X(t))} = k$$

erhält man schließlich

$$\frac{X'(t)}{S X(t)} - \frac{-X'(t)}{S(S - X(t))} = k.$$

Integrieren dieser Gleichung nach  $t$

$$\frac{1}{S} \int \frac{X'(t)}{X(t)} dt - \frac{1}{S} \int \frac{-X'(t)}{(S - X(t))} dt = \int k dt$$

liefert

$$\frac{1}{S} \ln(X(t)) - \frac{1}{S} \ln(S - X(t)) = kt + C.$$

Durch Multiplikation mit  $-S$

$$\ln\left(\frac{S - X(t)}{X(t)}\right) = -Skt - SC$$

und anschließendem Entlogarithmieren erhält man

$$\frac{S - X(t)}{X(t)} = e^{-skt - SC}$$

$$\frac{S - X(t)}{X(t)} = C^* e^{-skt}$$

mit  $C^* = e^{-SC}$  konstant.

Nun wird die Gleichung noch nach  $X(t)$  aufgelöst

$$\frac{S}{X(t)} - 1 = C^* e^{-skt}$$

$$X(t) = \frac{S}{1 + C^* e^{-skt}}$$

Um die Bedeutung von  $C^*$  zu erhalten, setzt man in diese Formel für  $t$  den Wert 0 ein. Man erhält dadurch auf der linken Seite den Wert  $X_0$ . Es folgt

$X_0 = \frac{S}{1 + C^*}$  bzw.  $C^* = \frac{S}{X_0} - 1 = \frac{S - X_0}{X_0}$  und somit die explizite Darstellung oder

Wachstumsfunktion

$$X(t) = \frac{X_0 S}{X_0 + (S - X_0)e^{-kSt}} = \frac{X_0 S e^{kSt}}{X_0 e^{kSt} + S - X_0}$$

Abbildung 10 stellt die Wachstumsgeschwindigkeit  $X'(t)$  dar. Die Wachstumsgeschwindigkeit steigt von einem anfänglichen Wert auf ein Maximum  $X'_{max}$  und sinkt danach auf null ab. Da bei einer Parabel bekanntlich der Scheitelpunkt in der Mitte der beiden Nullstellen liegt tritt die maximale Wachstumsgeschwindigkeit  $X'_{max}$  genau bei  $\frac{S}{2}$  auf, also wenn  $X$  die Hälfte seines möglichen Maximalwertes  $S$  erreicht.

Abbildung 11 zeigt den Verlauf eines logistischen Wachstums.

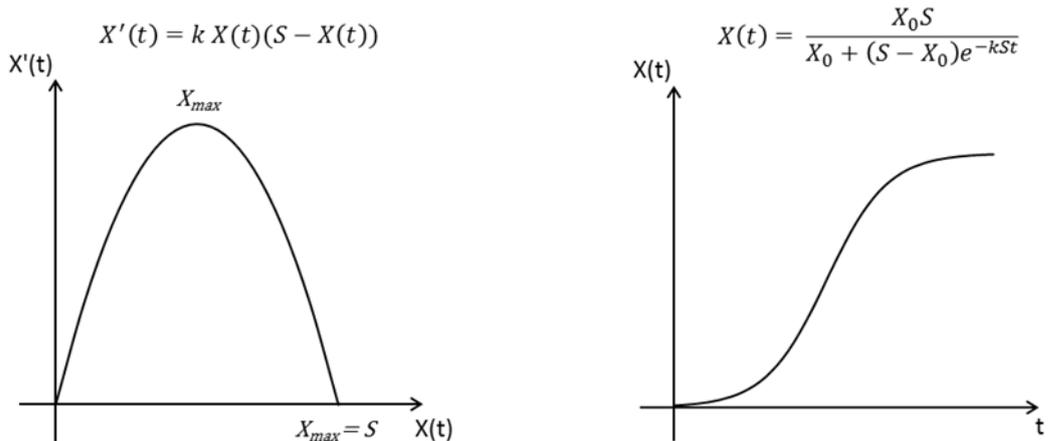


Abbildung 10: Wachstumsgeschwindigkeit eines logistischen Wachstums      Abbildung 11: Verlauf eines logistischen Wachstums

### 3.3 Spezielle Gewichtszunahmemodelle

#### 3.3.1 Modell von Bertalanffy

Die Grundidee des Modells von Bertalanffy [5] ist, dass Wachstum als Differenz aus Aufbau- (Anabolismus) und Abbauprozessen (Katabolismus) stattfindet. Daher wird es Wachstum geben, solange der Aufbau gegenüber dem Abbau überwiegt. Der Organismus erreicht einen stabilen Zustand beziehungsweise das Wachstum kommt zum Stillstand wenn sich beide Prozesse auf gleichem Niveau befinden.

Der Stoffaufbau hängt mit dem Sauerstoffverbrauch und der Thermoregulation zusammen und kann somit mit dem Stoffwechsel in Zusammenhang gebracht werden. Daher verwendete Bertalanffy einen metabolischen Index und unterschied aufgrund dessen drei Stoffwechselformen.

Bei Tieren vom Typ I, zu denen beispielsweise die Fische gehören, ist die metabolische Rate proportional zur Körperoberfläche oder zu  $\frac{2}{3}$  des Gewichts. Die Stoffwechselrate ist nicht proportional zur Oberfläche aber zum Gewicht selbst bei Tieren vom Typ II, was in diesem Fall bedeutet, dass der Sauerstoffverbrauch eines doppelt so großen Tieres auch doppelt so groß ist. Zu dieser Kategorie gehören beispielsweise Insektenlarven. Bei Tieren vom Typ III liegt die Proportionalität der Stoffwechselraten zwischen der zum Gewicht und der zur Körperoberfläche. Ein Beispiel für diesen Typ sind Schlamm- oder Sumpfschnecken.

Es besteht eine Beziehung zwischen Stoffwechselrate und Körpergröße. Da unterschiedliche Stoffwechselformen existieren, gibt es auch unterschiedliche

Wachstumstypen; es kann eine genaue Beziehung zwischen Stoffwechsellyp und Wachstumstyp hergestellt werden.

Diese Überlegungen führen zu folgender allgemeinen Differentialgleichung

$$X'(t) = \frac{dX}{dt} = pX(t)^m - qX(t)^n$$

mit dem Gewicht  $X(t)$ ,

einer Konstante des Anabolismus  $p$  und

einer Konstante des Katabolismus  $q$ .

Für Tiere vom Typ I gilt die Differentialgleichung

$$X'(t) = \frac{dX}{dt} = pX(t)^{\frac{2}{3}} - qX(t).$$

Durch Umformen der Gleichung und Integration nach  $t$  erhält man

$$\int \frac{X'(t)}{pX(t)^{\frac{2}{3}} - qX(t)} dt = \int 1 dt.$$

Die Substitution  $u = X(t)$  auf der linken Seite der Gleichung

$$\int \frac{du}{pu^{\frac{2}{3}} - qu} = t + C_1$$

und weiterer Substitution  $u = z^3$  führt zu

$$3 \int \frac{dz}{p - qz} = t + C_1$$

$$-\frac{3}{q} \ln|p - qz| + C_2 = t + C_1.$$

Durch Resubstitution erhält man

$$-\frac{3}{q} \ln(p - qX(t)^{\frac{1}{3}}) + C_2 = t + C_1$$

$$-\frac{3}{q} \ln(p - qX(t)^{\frac{1}{3}}) = t + C^*$$

mit  $C^* = C_1 - C_2$ .

Entlogarithmieren der Gleichung

$$\ln(p - qX(t)^{\frac{1}{3}}) = -\frac{1}{3}tq - \frac{1}{3}C^*q$$

$$p - qX(t)^{\frac{1}{3}} = e^{-\frac{1}{3}tq} e^{-\frac{1}{3}C^*q}$$

und Auflösen nach  $X(t)$  führt zu

$$X(t)^{\frac{1}{3}} = \frac{p}{q} - \frac{1}{q} e^{-\frac{1}{3}tq} e^{-\frac{1}{3}C^*q}$$

und schließlich zu

$$X(t) = \left( \frac{p}{q} - \frac{1}{q} e^{-\frac{1}{3}tq} e^{-\frac{1}{3}C^*q} \right)^3.$$

Analog kann man ebenso für Typ II mit  $m = 1$  und Typ III mit  $\frac{2}{3} < m < 1$  Wachstumsfunktionen darstellen und es gilt allgemein

$$X(t) = \left\{ \frac{p}{q} - \left[ \frac{p}{q} - X_0^{(1-m)} \right] e^{-(1-m)qt} \right\}^{\frac{1}{1-m}}.$$

Die obige Herleitung ist in [21] zu finden.

Das Modell von Bertalanffy findet häufig Anwendung in aktuellen Forschungsarbeiten der Wissenschaft der Aquakultur, um das individuelle Wachstum unterschiedlicher Fischarten zu untersuchen. [4][8][12]

### 3.3.2 Vereinfachtes Modell von Parks

Das Modell von Parks [22] berücksichtigt nicht nur die Zeit  $t$  und das Gewicht  $X(t)$ , sondern zusätzlich die bis zum jeweiligen Zeitpunkt aufgenommene Futtermenge  $F(t)$ . Da ein Tier nur bis zu einem gewissen Zeitpunkt wächst und an Gewicht zunimmt, existiert ein Gewicht-Grenzwert  $X_\infty$ . Daher gilt

$$X'(F) = \frac{dX}{dF} = a(X_\infty - X(F)).$$

Durch Umstellen der Gleichung und Integration nach  $F$

$$-\int \frac{-X'(F)}{X_\infty - X(F)} dF = \int a dF$$

erhält man

$$-\ln(X_\infty - X(F)) = aF + C.$$

Entlogarithmieren

$$X_\infty - X(F) = e^{-aF} e^{-C}$$

und nach  $X(F)$  auflösen führt zu

$$X(F) = X_\infty - e^{-C} e^{-aF}$$

$$X(F) = X_\infty \left( 1 - \frac{e^{-C}}{\underbrace{X_\infty}_K} e^{-aF} \right)$$

$$X(F) = X_\infty (1 - K e^{-aF}).$$

Auch die aufgenommene Futtermenge nimmt mit zunehmendem Alter eines Tieres zu, d.h. dass der Futterbedarf  $F'(t) = f(t)$  wächst. Der gesteigerte Bedarf an Futtermenge kann linear modelliert werden und so gilt ab einem Zeitpunkt  $t_1$

$$f(t) = a_1 + a_2 t.$$

Durch Integration erhält man

$$F(t) - F(t_1) = \int_{t_1}^t (a_1 + a_2 u) du$$

$$F(t) - F(t_1) = a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 - \left( a_1 t_1 + \frac{1}{2} a_2 t_1^2 \right)$$

$$F(t) = a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 + \underbrace{F(t_1) - \left( a_1 t_1 + \frac{1}{2} a_2 t_1^2 \right)}_A$$

$$F(t) = a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 + A.$$

Einsetzen in  $X(F) = X_\infty (1 - K e^{-aF})$  ergibt

$$X(t) = X_\infty \left( 1 - K \exp \left( -a \left( a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 + A \right) \right) \right)$$

$$X(t) = X_\infty - \underbrace{X_\infty K}_{p_1} e^{-\underbrace{a a_1 t}_{p_2} - \frac{1}{2} \underbrace{a a_2 t^2}_{p_3} - a A}$$

$$X(t) = X_{\infty} - p_1 e^{-p_2 t - p_3 t^2}.$$

Die obige Herleitung ist in [21] zu finden.

### 3.3.3 Modell von Richards

Richards [23] erweiterte das Modell von Bertalanffy und entwickelte eine Funktion, die das logistische Modell und das Modell von Gompertz als Spezialfälle hat.

Er ging dabei von folgender Differentialgleichung aus

$$X'(t) = \frac{dX}{dt} = kX(t) \left( 1 - \left( \frac{X(t)}{A} \right)^m \right)$$

Ausklammern der rechten Seite der Gleichung

$$\frac{dX}{dt} = \frac{-k}{A^m} X(t) (X(t)^m - A^m)$$

und Umstellen

$$\frac{dX}{X(t)(X(t)^m - A^m)} = \frac{-k}{A^m} dt$$

liefert zunächst

$$\frac{-A^m}{X(t)(X(t)^m - A^m)} dX = k dt.$$

Durch Integration und Substitution  $X(t)^m = z$  ergibt sich

$$\int \frac{-A^m}{mX(t)^{m-1}X(t)(z - A^m)} dz = \int k dt$$

$$\int \frac{-A^m}{z(z - A^m)} dz = \int km dt.$$

Die Partialbruchzerlegung der linken Seite und Auflösen des Integrals

$$\int \left( \frac{1}{z} - \frac{1}{z - A^m} \right) dz = \int km dt$$

führt zu

$$\ln(z) - \ln(z - A^m) = kmt + c_1.$$

Entlogarithmieren der Gleichung

$$\ln \left( \frac{z}{z - A^m} \right) = kmt + c_1$$

$$\frac{z}{z - A^m} = e^{kmt} \underbrace{e^{c_1}}_{c_2}$$

und Auflösen nach  $z$  liefert

$$z = (z - A^m)e^{kmt} c_2$$

$$z = ze^{kmt} c_2 - A^m e^{kmt} c_2$$

$$z(1 - e^{kmt} c_2) = -A^m e^{kmt} c_2$$

$$z = \frac{-A^m e^{kmt} c_2}{1 - e^{kmt} c_2}$$

beziehungsweise

$$z = \frac{A^m e^{kmt} c_2}{e^{kmt} c_2 - 1}$$

Durch Resubstitution erhält man

$$X(t)^m = \frac{A^m e^{kmt} c_2}{e^{kmt} c_2 - 1}$$

und in weiterer Folge

$$X(t)^m = \frac{A^m e^{kmt}}{e^{kmt} - \frac{1}{c_2}}$$

Für  $t = 0$  erhält man  $X(0)^m = \frac{A^m c_2}{c_2 - 1}$  bzw.  $c_2 = \frac{X_0^m}{X_0^m - A^m}$ .

Daraus ergibt sich  $\frac{1}{c_2} = \frac{X_0^m - A^m}{X_0^m} = 1 - \left(\frac{A}{X_0}\right)^m := -Q$ .

$Q$  einsetzen in die obige Gleichung

$$X(t)^m = \frac{A^m e^{kmt}}{e^{kmt} + Q}$$

und vereinfachen dieser Gleichung

$$X(t)^m = \frac{A^m}{1 + Qe^{-kmt}}$$

führt nach dem Ziehen der  $m$ -ten Wurzel schließlich zu

$$X(t) = \frac{A}{(1 + Qe^{-kmt})^{1/m}}$$

Für  $m = 1$  ist das Modell von Richards gleich dem logistischen Modell im Grenzwert  $\lim_{m \rightarrow 0}$  gleich dem Gompertz Modell.

Das Modell von Gompertz wird unter Anderem in der Forstwirtschaft eingesetzt, um das Wachstum von Bäumen zu beschreiben. Dieses Modell eignet sich sowohl für die Modellierung der Zunahme der Höhe, der Querschnittsfläche und des Volumens eines Baumes.

## 4 Verwendete Modelle

In dieser Arbeit wurden für alle Tierarten folgende zwölf Modelle verwendet:

Tabelle 1: verwendete Modelle

Proportional	$y = at$
Linear	$y = at + b$
Quadratisch	$y = at^2 + bt + c$
Parabel	$y = at^2 + c$
Quadratisch/null	$y = at^2 + bt$
Kubisch	$y = at^3 + bt^2 + ct + d$
Exponentiell	$y = a e^{bt}$
Beschränkt exponentiell	$y = a - b e^{-ct}$
Logistisch	$y = \frac{a b e^{ct}}{a e^{ct} + b - a}$
Bertalanffy	$y = \left( \frac{a}{b} - \frac{1}{b} e^{-\frac{bt}{3} - \frac{cb}{3}} \right)^3$
Parks	$y = a - b e^{-ct-dt^2}$
zwei Lineare	$y = \max(a + bt; c + dt)$

Bis auf das zwei lineare Gewichtszunahmemodell wurden alle Modellfunktionen in Kapitel 3 erläutert. Das Modell zwei Lineare beschreibt eine Gewichtsentwicklung, die zunächst linear durch  $y_1 = a + bt$  beschrieben werden kann, bei der sich dann allerdings ab einem gewissen Punkt die Zunahmen pro Zeiteinheit ändern. Dieser Punkt stellt den Schnittpunkt dieser Geraden mit einer zweiten  $y_2 = c + dt$  dar, deren Steigung größer ist als die der ersten. Ab dem Schnittpunkt beschreibt die zweite Gerade den Verlauf. Da bis zu dem Schnittpunkt die Funktionswerte der zweiten Geraden kleiner sind als die der ersten und ab dem Schnittpunkt die Funktionswerte der ersten kleiner sind als die der zweiten, kann das Modell in Excel durch  $\max(a + bt; c + dt)$  berechnet werden.

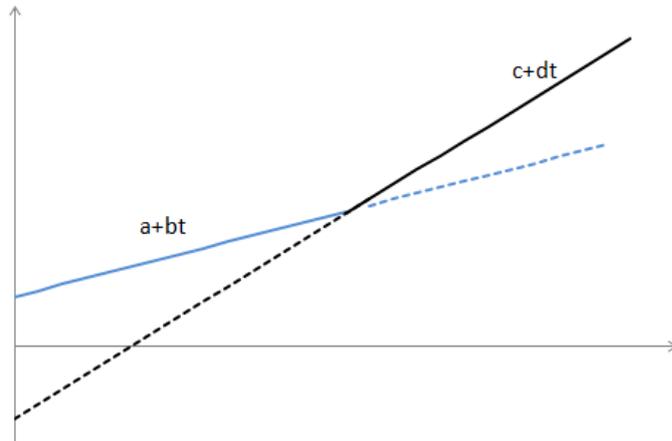


Abbildung 12: Modell zwei Lineare

Das zwei lineare Modell wurde zunächst nur für die Ferkeldaten entworfen, da hier innerhalb des Beobachtungszeitraums zwei verschiedene Lebensphasen der Ferkel stattfanden. Die erste Phase stellte den Zeitraum von der Geburt bis zum Absetzen der Ferkel dar. Bis zum Absetzen ernährten sich die Ferkel vornehmlich von Muttermilch, nach dem Absetzen ausschließlich von fester Nahrung. Das zwei lineare Gewichtszunahmemodell beschreibt die beiden Wachstumsprozesse richtig und berechnet auch den Zeitpunkt der Fütterungsumstellung korrekt.

Dieses Modell wurde dann auch auf die Daten aller anderen Tierarten angewendet.

Das Richards Modell wurde zunächst nur bei der Auswertung der Daten der Stiere verwendet. Dieses Modell wurde von MATTHES UND RUDOLPH [16] als dasjenige identifiziert, das den natürlichen Wachstumsverlauf von weiblichen Rindern der Rassen Charolais, Fleckvieh und Uckermärker am genauesten beschreibt. Auch in der vorliegenden Arbeit ging das Modell von Richards bei den Stieren der Rassen Fleckvieh und Braunvieh als Siegermodell hervor. Daher wurde zusätzlich zu den oben aufgelisteten zwölf Modellen bei der Auswertung der Daten der anderen Tierarten das Modell von Richards verwendet, findet sich in den Ergebnissen aber nur bei den Tierarten, bei denen dieses Modell unter den ersten drei am besten angepassten Modellen gelistet ist.

## 5 Methode der kleinsten Quadrate mit MS Excel

### 5.1 Theoretischer Hintergrund

Aufgrund beobachteter Datenpaare  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  soll ein Zusammenhang zwischen  $x$  und  $y$  mit einer Modellfunktion  $f = f(x, c_1, \dots, c_k)$  beschrieben werden, wobei  $f$  zusätzlich zur Variablen  $x$  Parameter  $c_1, \dots, c_k$  enthält. Für die Anpassung soll gelten  $y_i \approx f(x_i)$  für  $i = 1, \dots, n$ .

Um eine optimale Wahl der Parameter  $c_1, c_2, \dots, c_k$  ( $k < n$ ) zu treffen, wird die Methode der kleinsten Quadrate angewandt,

$$S(c_1, \dots, c_k) = \sum_{i=1}^n (f(x_i; c_1, \dots, c_k) - y_i)^2$$

soll also minimal werden. Bedingung hierfür ist, dass die partiellen Ableitungen nach den Parametern null ergeben,  $\frac{\partial S}{\partial c_r} = 0$  für  $r = 1, \dots, k$ , also

$$\sum_{i=1}^n (f(x_i; c_1, \dots, c_k) - y_i) \frac{\partial f(x_i; c_1, \dots, c_k)}{\partial c_r} = 0.$$

Betrachtet man den Spezialfall

$$f(x; c_1, \dots, c_k) = c_1 \Phi_1(x) + \dots + c_k \Phi_k(x),$$

so gilt

$$\frac{\partial f(x; c_1, \dots, c_k)}{\partial c_r} = \Phi_r(x)$$

mit  $r = 1, \dots, k$ . Dies führt zu

$$\sum_{i=1}^n (c_1 \Phi_1(x_i) + \dots + c_k \Phi_k(x_i) - y_i) \Phi_r(x_i) = 0.$$

Ausmultiplizieren und Umstellen der Gleichung

$$\underbrace{\left( \sum_{i=1}^n \Phi_1(x_i) \Phi_r(x_i) \right)}_{const.} c_1 + \dots + \underbrace{\left( \sum_{i=1}^n \Phi_k(x_i) \Phi_r(x_i) \right)}_{const.} c_k = \underbrace{\sum_{i=1}^n y_i \Phi_r(x_i)}_{const.}$$

führt zu einem linearen Gleichungssystem von  $k$  Gleichungen in  $k$  Unbekannten  $c_1, \dots, c_k$ , das bei realen Daten eindeutig lösbar ist.

Details hierzu sind in [20] zu finden.

## 5.2 Vorprogrammierte Excel Trendlinien

Um in Excel die Methode der kleinsten Quadrate anzuwenden, geht man wie folgt vor: Zunächst werden die Datenpaare in ein Excel Arbeitsblatt eingegeben und mit Hilfe eines Punkt XY-Diagramms graphisch dargestellt.

Ist die Funktion einfach, ist sie bereits in der Grafik als Trendlinie verfügbar. Ein mögliches Beispiel ist  $f(x) = c_1 + c_2x + c_3x^2$  mit den noch unbekannt Koeffizienten. In diesem Fall kann die graphische Darstellung unter den Diagrammtools bearbeitet werden und eine Trendlinie samt Formel hinzugefügt werden, womit dann auch die Koeffizienten bestimmt sind.

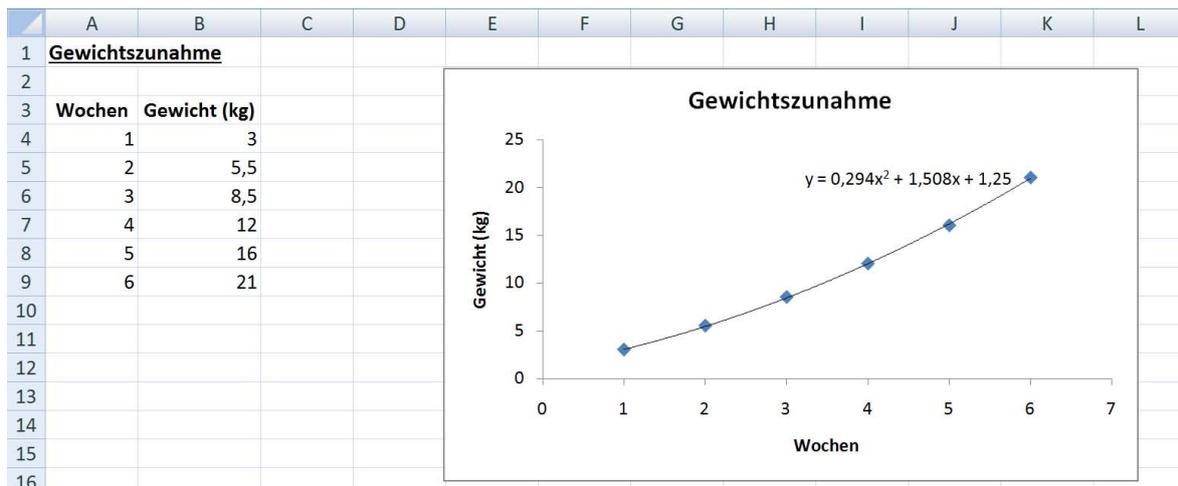


Abbildung 13: graphische Darstellung der Daten in Excel mit zugehöriger Trendlinie

Alternativ gibt es in Excel Funktionen zur formelmäßigen Regression:

- Die Funktion **ACHSENABSCHNITT** berechnet den Wert  $d$  in der Geradengleichung  $y = kx + d$ .
- Die Funktion **STEIGUNG** berechnet den Wert  $k$  in der Geradengleichung  $y = kx + d$ .
- Die Funktion **TREND** führt eine lineare Regression aufgrund bekannter Wertepaare  $(x_i, y_i)$  durch und berechnet die geschätzten  $y$ -Werte für mehrere neue  $x$ -Werte gleichzeitig. **TREND** ist eine Matrixformel.

- Die Funktion RGP berechnet statistische Kenngrößen der Regressionsgeraden und gibt diese als Matrix zurück, die alle Kennziffern dieser Geraden enthält. Auch diese Funktion ist eine Matrixfunktion. Die Ergebnisse der RGP-Funktion sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse der RGP-Funktion

<b>Koeffizient von <math>x^2</math></b>	<b>Koeffizient von <math>x</math></b>	<b>Konstante</b>
<b>Standardfehler davon</b>	<b>Standardfehler davon</b>	<b>Standardfehler davon</b>
<b>Bestimmtheitsmaß <math>r^2</math></b>	<b>Standardfehler von <math>y</math></b>	<b>(kein Wert)</b>
<b>F-Statistik</b>	<b>Freiheitsgrad <math>df</math></b>	<b>(kein Wert)</b>
<b>Regressionsquadratsumme <math>ss_{reg}</math></b>	<b>Residualquadratsumme <math>ss_{resid}</math></b>	<b>(kein Wert)</b>

### 5.3 Parameterbestimmung mit dem Solver

Bei komplizierteren Modellen müssen die Parameter bestimmt werden, indem die Summe der Abweichungsquadrate mit Hilfe des Solvers minimiert wird. Der Solver ist ein Add-In von MS Excel, vergleichbar zur bekannten Zielwertsuche. Zielzelle ist die Zelle, in der die Abweichungsquadrate aufsummiert werden. Dieser Wert soll durch verändern der Parameter der Modellfunktion minimal werden.

Um das vorige Beispiel fortzusetzen, gibt man in Excel in einer weiteren Spalte die Modellfunktion ein. Die zugehörigen Parameter werden jeweils in einer eigenen Zelle angegeben und geeignete Startwerte gewählt. Des Weiteren müssen die Abweichungsquadrate in einer zusätzlichen Spalte berechnet werden.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Gewichtszunahme</b>						
2			<b>Modellfkt.</b>				
3	<b>Wochen</b>	<b>Gewicht (kg)</b>	<b><math>c_1+c_2x+c_3x^2</math></b>	<b>Abw. Q</b>			
4	1	3	3,053382	0,00285			
5	2	5,5	5,446492	0,00286			
6	3	8,5	8,428780	0,00507			
7	4	12	12,000247	6,1E-08			
8	5	16	16,160891	0,02589			
9	6	21	20,910714	0,00797			
10				<b>0,04464</b>	<b>AbwQΣ -&gt; Min!</b>		
11							
12	<b>Parameter der Modellfunktion</b>						
13	<b><math>c_1</math></b>	<b><math>c_2</math></b>	<b><math>c_3</math></b>				
14	1,249449	1,509344	0,294588992				

Abbildung 14: Methode der kleinsten Quadrate in MS Excel

## 6 Daten: Quellen und Aufbereitung

### 6.1 Hunde

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten der Welpen der Jagdhunderasse Brandlbracke wurden vom Zuchtwart der Brandlbracken des Österreichischen Brackervereins Ing. Helmut Gaar zur Verfügung gestellt.

Die Brandlbracke, auch Vieräugl genannt, stammt von der Keltenbracke ab und hat ihren Ursprung in Österreich. Hunde dieser Rasse eignen sich sowohl zum Brackieren als auch zur Schweißarbeit. Brackieren ist eine Jagdmethode, bei der der Hund dem Jäger das Wild lautgebend zutreibt. Unter Schweißarbeit versteht man die Nachsuche auf ein angeschossenes Wild.

Die zur Auswertung herangezogenen Daten der Welpen stammen aus den Jahren 2003 bis 2014. In diesem Zeitraum wurden die Gewichtsverläufe von insgesamt 509 Welpen von 57 Hündinnen erfasst. Jeder Züchter erhob die Daten selbst und hielt sie auf einem vom Zuchtverein zur Verfügung gestellten Bogen fest. Die Wiegungen der Welpen fanden am Tag der Geburt und dann jeweils am Ende der ersten bis achten Lebenswoche statt.

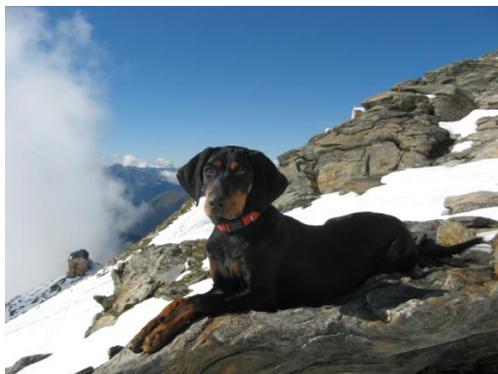


Abbildung 15: Brandlbracke  
Quelle: Helmut Gaar

Name des Züchters		Zwingername									
Name der Hündin (Alter zum Deckzeitpunkt)	BRBR	Decktag (Datum)	Wurftag (Datum)	Tragezeit (Tage)	Deckzeitpunkt Wieveller Tag	Anzahl der geborenen Welpen (RH)	geborenen (RH)	später verendet (RH) Ursache ?	aufgezogene Welpen (RH)		
Wurde ein Tierarzt beim Werfen zugezogen/warum?				Die Welpen wurden wie oft und wann entwarmt (Lebenswoche)?							
Anmerkung zum Welpen (z. B. weiße Abzeichen, etc.)	Name des Welpen	Woll- knoten ja/nein beibehalten	Geburts- gewicht	Ende 1. Woche	Ende 2. Woche	Ende 3. Woche	Ende 4. Woche	Ende 5. Woche	Ende 6. Woche	Ende 7. Woche	Abgabe- gewicht (Alter in Wochen?)
1											
2											
3											
4											
5											

Abbildung 16: Bogen für die Wurfstatistik  
Quelle: Österreichischer Brackerverein

Die Daten wurden in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt und mussten in Excel eingegeben werden. Pro Hündin wurde ein eigenes Tabellenblatt erstellt, ebenso eine Gesamtliste aller Welpen. Desweiteren wurde jeweils eine Liste erstellt, die nur die Welpen gleicher Wurfgröße beinhaltet. Für die einzelnen Auswertungen der Gewichtsverläufe der Welpen gleicher Wurfgröße wurden nur Würfe mit drei bis fünf und sieben bis dreizehn Welpen berücksichtigt. Insgesamt gab es nur einen

einzigem Wurf mit sechs Welpen und Würfe mit einem oder zwei Welpen kamen jeweils nur zweimal vor.

Für die Gesamtliste sowie für jede Anzahl der Welpen pro Wurf wurden die Anzahl der Daten pro Tag ausgezählt sowie die Gewichtsmittelwerte jedes Lebensstages berechnet. Grundlage der Modellanpassung sind die Gewichtsmittelwerte der Lebensstage.

## 6.2 Ferkel

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten der Ferkel wurden von Dr. Werner Hagmüller, Leiter des Lehr- und Forschungszentrums Wels-Thalheim, zur Verfügung gestellt. Die Einrichtung in Wels-Thalheim ist ein Versuchsbetrieb der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein. Unter biologischen Haltungsbedingungen sind etwa 30 Zuchtsauen für die Ferkelproduktion sowie Jungsaunen zur Eigenremontierung aufgestellt. Den Sauen wird in Abferkelbuchten freies Abferkeln ermöglicht, in weiterer Folge wird Gruppensäugen praktiziert.

In den Jahren 2007 bis 2013 wurden die Gewichtszunahmen von insgesamt 5188 Ferkeln dokumentiert. Die Ferkel wurden in der Regel am Tag ihrer Geburt, spätestens am ersten oder zweiten Lebenstag, und danach ein Mal wöchentlich gewogen. Die Gewichte wurden bis zum Absetzen um Tag 40 bis 49 mit einer Waage mit kleinstem Wiegebereich von 20g und danach mit einer Waage mit einer Genauigkeit von 500g festgehalten. Die Wiegeungen wurden maximal bis zum 105. Lebenstag durchgeführt und entweder von Dr. Hagmüller selbst oder von einem Mitarbeiter des LFZ Wels-Thalheim in folgender Form in eine Excel-Liste eingetragen:

	A	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Abferkeln	männl.weibl.	Tag	Geb.Gew	Tag	Gewicht	Tag	Gewicht	Tag	Gewicht
2	13.07.2007	1	0	1,32	3	1,58	10	2,86	17	4,40
3	13.07.2007	1	0	1,74	3	2,18	10	3,94	17	5,10
4	13.07.2007	1	0	1,64	3	2,00	10	4,08	17	6,45

Abbildung 17: Auszug der ursprünglichen Daten der Ferkel

Die betriebsinternen Nummern der Sauen, ebenso wie die Ohrmarkennummern der Ferkel sind in Abbildung 21 ausgeblendet.

Für die Umwandlung dieser Liste in eine für die Auswertung optimale Form, wurde folgendes Makro programmiert:

```

Sub Makro1()
'Schweine in Zeilen bringen
Dim Tag As Integer
Tag = 0

SNR = 5189

For m = 2 To SNR
For t = 0 To 35
Tag = Sheets("Daten").Cells(m, 8 + 2 * t).Value
Sheets("Tabelle2").Cells(m + 1, 5 + Tag).Value = Sheets("Daten").Cells(m, 9 + 2 * t).Value
Next t
Next m

For k = 2 To SNR

If Sheets("Daten").Cells(k, 8).Value = 0 Then Sheets("Tabelle2").Cells(k + 1, 5).Value =
Sheets("Daten").Cells(k, 9).Value

Next k

End Sub

```

Die ursprünglichen Daten wurden somit auf folgende Form gebracht:

	A	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1			Tag//GEWICHT										
2	Nummer neu	männl.weibl.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	1	1,32			1,58							2,86
4	2	1	1,74			2,18							3,94
5	3	1	1,64			2							4,08

Abbildung 18: Auszug der aufbereiteten Daten der Ferkel

In Abbildung 22 sind ebenso wie in Abbildung 21 die betriebsinternen Nummern der Sauen sowie die Ohrmarkennummern der Ferkel ausgeblendet.

Von 795 der 5188 Ferkel waren weniger als 6 Messungen pro Ferkel vorhanden. Manche Ferkel sind sogenannte Kümmerer, das heißt sie bleiben in ihrer Entwicklung zurück und versterben innerhalb der ersten Lebensstage oder -wochen. In einem solchen Fall sind nur wenige Messungen pro Tier vorhanden. Da solche Tiere in der Regel weniger an Gewicht zunehmen und daher auch ein geringeres Gewicht aufweisen als ihre gleichaltrigen Artgenossen, wurde aus dem

ursprünglichen Datensatz eine Liste erstellt, die nur Ferkel mit mindestens 6 Messungen beinhaltet. Dieser Datensatz umfasst 4393 Ferkel.

Für beide Datensätze wurden in weiterer Folge sowohl für die Jahre 2007 bis 2013 gesamt als auch für jedes einzelne Jahr die Anzahl der Daten pro Tag ausgezählt sowie die Gewichtsmittelwerte jedes Lebensstages berechnet. Die mathematische Modellierung erfolgte unter Verwendung der Gewichtsmittelwerte.

### **6.3 Schweine**

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten der Mastschweine wurden von Dr. Karl Schedle vom Institut für Tierernährung der Universität für Bodenkultur zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden in den Jahren 2008 bis 2013 die Gewichtsverläufe von 297 Mastschweinen in fünf Versuchen dokumentiert. Die Versuche wurden von Dr. Schedle in Auftrag gegeben und in der Schweineprüfanstalt in Streitdorf durchgeführt.

In Österreich werden jährlich etwa 5,5 Millionen Schweine geschlachtet. Die zur Mast herangezogenen Schweine entstammen üblicherweise einer Kreuzungszucht. Grundlage dieser Kreuzungszucht sind die Rassen Edelschwein, Landrasse und Pietrain. In der konventionellen Produktion werden die Ferkel mit etwa vier Wochen abgesetzt und anschließend in einem Aufzuchtstall oder auf einem Aufzuchtbetrieb gehalten bis sie 30 kg erreicht haben. Danach werden sie in einen Maststall oder auf einen Mastbetrieb gebracht und verbleiben dort etwa 100 bis 120 Tage bis sie ihr Schlachtgewicht von 100 bis 110kg erreicht haben. [1]

Die Hybridferkel aller fünf Versuche wurden mit einem Alter von etwa einem Monat auf die Station in Streitdorf gebracht. Nach einer Aufzuchtzeit von zwei Monaten wurden die Versuche gestartet und wöchentlich die Gewichte der Schweine festgehalten bis diese ein Gewicht zwischen 100 und 120kg erreicht hatten. Einige Schweine erreichten das Schlachtgewicht früher als andere gleichaltrige Artgenossen und schieden daher früher aus den Versuchen aus. Je nach Versuch wurden daher die letzte oder die letzten zwei Messungen in der Auswertung nicht berücksichtigt. Für die Versuche 1 bis 3 wurden nur männliche Tiere verwendet, für die Versuche 4 und 5 nur weibliche Tiere. In Versuch 1 wurden die Gewichtsverläufe von 58 Schweinen, in Versuch 3 von 59 Schweinen und in den Versuchen 2, 4 und 5 von 60 Schweinen dokumentiert.

In allen fünf Versuchen wurde eine 2-Phasen-Fütterung praktiziert. In der Schweinemast tragen die Stickstoff- und Phosphorausscheidungen erheblich zur Umweltbelastung bei. Bei einer zweiphasigen Fütterung werden im Vergleich zur einphasigen Fütterung (Universalfutter) die Stickstoff- und Phosphorausscheidungen reduziert, ebenso werden die Nährstoffgehalte an die sich ändernden physiologischen Bedürfnisse der Schweine im Laufe der Mast angepasst. [24]

Die Datensätze waren bereits in Excel-Dateien vorhanden und wurden um sie für die Auswertungen aufzubereiten jeweils in eine Excel-Datei kopiert. Es wurde für jeden Versuch jeweils eine Liste erstellt, ebenso eine Gesamtliste aller Schweine aus den fünf Versuchen. Zusätzlich wurden zwei weitere Datensätze erstellt, einer mit den Daten der männlichen und einer mit den Daten der weiblichen Mastschweine. Die Tiere jedes Versuches wurden innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Tagen geboren. Daher wurde das Alter der Schweine in Lebenswochen angegeben. Für alle Datensätze wurden die Anzahl der Daten pro Messung ausgezählt sowie die Gewichtsmittelwerte jeder Lebenswoche berechnet. Die mathematische Modellierung erfolgte unter Verwendung der Gewichtsmittelwerte.

## **6.4 Rinder**

### **6.4.1 Fleckvieh und Braunvieh**

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten der Fleckvieh- und Braunviehtiere wurden von Mag. Ing. Franz Sturmlechner und Dr. Christian Fürst von der Zentralen Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Rinderzüchter zur Verfügung gestellt.

Das Fleckvieh ist eine Doppelnutzungsrasse, wird also sowohl in der Milch- als auch in der Fleischproduktion eingesetzt. In Österreich gibt es etwa 1,5 Millionen Rinder dieser Rasse, der Rassenanteil beträgt somit 76%. Das Braunvieh gilt als milchbetonte Rasse und als Mutterkuh-Fleischrasse. Diese Rasse hat mit 140.000 in Österreich lebenden Rindern 7% Rassenanteil. [30]

In den Jahren 1975 bis 2013 wurden von 4046 Fleckviehtieren und in den Jahren 1986 bis 2013 von 424 Stieren der Rasse Braunvieh auf Leistungsprüfstationen die Gewichtsverläufe dokumentiert.



Abbildung 19: Stier der Rasse Fleckvieh  
Quelle: Oberösterreichische Besamungsstation GmbH



Abbildung 20: Stier der Rasse Braunvieh  
Quelle: Oberösterreichische Besamungsstation GmbH

Die Daten der Stiere beider Rassen wurden in einer DAT-Datei in folgender Form zur Verfügung gestellt:

8785;BV;19.11.2011;299;457  
8785;BV;19.11.2011;341;535  
8785;BV;19.11.2011;381;585  
8785;BV;19.11.2011;390;598  
8785;BV;19.11.2011;425;652  
4324;FL;08.07.2007; 99;135  
4324;FL;08.07.2007;138;180  
4324;FL;08.07.2007;159;215  
4324;FL;08.07.2007;164;222  
4324;FL;08.07.2007;208;287

Abbildung 21: Auszug der ursprünglichen Daten der Fleckvieh- und Braunviehstiere

Die erste Zahl ist die Lebensnummer des jeweiligen Stieres gefolgt von der Rassezugehörigkeit und dem Geburtsdatum. Nachfolgend steht jeweils das Alter in Tagen zum Wiegezeitpunkt mit zugehörigem Gewicht.

Für die Umwandlung dieser Liste in eine für die Auswertung optimale Form, wurden die Daten zunächst in Excel eingelesen und eine Pivot-Tabelle erstellt. Diese Tabelle beinhaltet in der Zeilenbeschriftung das Geburtsdatum sowie die Lebensnummer, in der Spaltenbeschriftung das Lebensalter in Tagen und als Werte die Gewichte. Um die beiden Rassen getrennt auswerten zu können, wurde zusätzlich als Berichtsfiler die Rasse gewählt.

Für die Fleckviehstiere wurde ebenso wie für die Braunviehstiere jeweils eine Gesamtliste erstellt und zusätzlich eine Liste, die nur Stiere berücksichtigt von denen sechs oder mehr Messungen vorhanden sind. Bei den Fleckviehstieren streuen die

Gewichte etwa ab dem 420. Lebenstag stark, ebenso bei den Braunviehstieren ab Lebenstag 410.

Abbildung 22 zeigt die Gewichtsverläufe der Fleckviehstiere, Abbildung 23 die der Braunviehstiere.

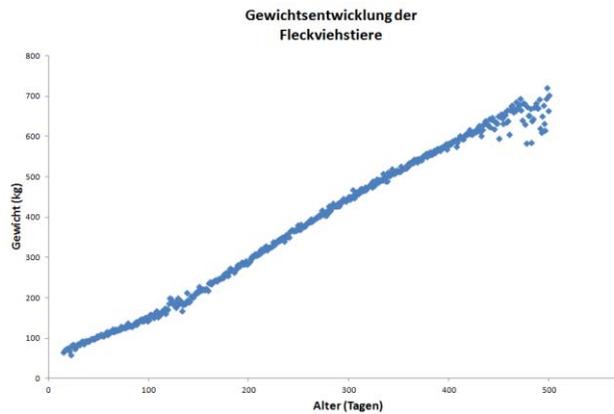


Abbildung 22: Gewichtsentwicklung der Fleckviehstiere

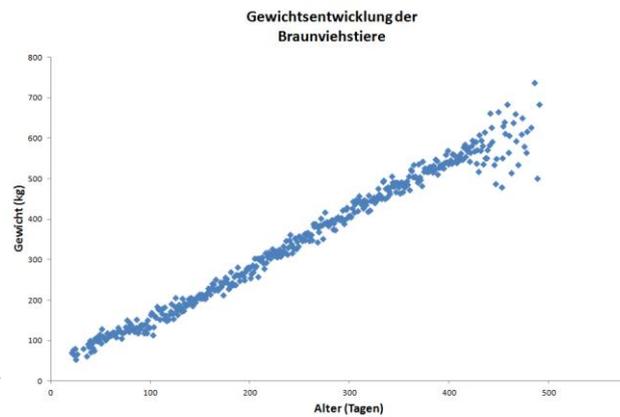


Abbildung 23: Gewichtsentwicklung der Braunviehstiere

Mit den Absamungen der Stiere auf den Leistungsprüfstationen wird begonnen, wenn diese ein Alter von etwa 14 Monaten erreicht haben. Auf die Gewichtszunahmen mancher Stiere scheint sich dies negativ auszuwirken, was die großen Streuungen der Daten erklärt. Daher wurden aus den beiden Datensätzen der Fleckviehstiere zwei weitere erstellt, die die Daten bis einschließlich Lebenstag 420 enthalten, gleiches für die Braunviehstiere bis Lebenstag 410. Für alle Datensätze wurden in weiterer Folge sowohl für die Braunvieh- als auch die Fleckviehstiere die Anzahl der Daten pro Tag ausgezählt sowie die Gewichtsmittelwerte jedes Lebenstages berechnet. Die mathematische Modellierung erfolgte unter Verwendung der Gewichtsmittelwerte.

#### 6.4.2 Charolais

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten von 47 Stieren der Rasse Charolais stammen aus den Jahren 2008 bis 2012 und wurden von Ing. Sebastian Auernig, Direktor der landwirtschaftlichen Fachschule Althofen zur Verfügung gestellt.

Das Charolais ist eine Fleischrasse und eignet sich zusätzlich gut für Gebrauchskreuzungen. In Österreich werden etwa 18000 Tiere dieser Rasse gehalten, was einem Rassenanteil von 0,91% entspricht. [30]



## 7 Ergebnisse

### 7.1 Hunde

Im folgenden Abschnitt 7.1.1 werden die Ergebnisse der Auswertung der Liste aller 509 Welpen beschrieben, in den Abschnitten 7.1.2 bis 7.1.11 die Ergebnisse der verschiedenen Wurfgrößen.

Die Modellauswahl erfolgt bei den Welpen aufgrund der  $AIC_C$ -Werte.

#### 7.1.1 Welpen Gesamtliste

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse aller 509 Welpen dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse Welpen Gesamtliste, N=18

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	$AIC_C$
proportional	90,069				1782828,40	209,060	209,310
linear	93,523	-195,633			1585196,66	208,945	209,745
quadratisch	0,424	61,109	143,186		655277,87	195,044	196,758
Parabel	1,168		909,452		3729939,28	224,348	225,148
quadratisch/null	0,354	67,986			719932,12	194,738	195,538
kubisch	-7,25E-03	1,336	31,186	300,454	479033,67	191,405	194,482 (2)
exponentiell	1080,248	0,025			5651083,82	231,826	232,626
beschränkt exp.	124602,21	124889,46	0,001		1773858,67	212,969	214,684
logistisch	581,656	11447,687	4,08E-06		1069947,08	203,869	205,584
Bertalanffy	1,043	0,039	18,406		482702,26	189,542	191,256 (1)
Parks	16625,271	16284,589	0,002	7,49E-05	592103,70	195,219	198,296
zwei Lineare	-1059,736	108,085	244,037	55,216	498051,05	192,106	195,182 (3)

Insgesamt beschreibt das Modell von Bertalanffy die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Es folgen das kubische Modell auf Platz zwei und das Modell zwei Lineare auf Platz drei. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 24,66 Tagen. Die  $AIC_C$ -Differenz zwischen dem Modell von Bertalanffy und dem kubischen Modell beträgt 3,225. Somit hat das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 83,38% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 16,62%. Das Modell von Bertalanffy ist damit 5,01-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell, obwohl die Abweichungsquadratsumme des kubischen Modells kleiner ist als die des Modells von Bertalanffy.

In Abbildung 24 sind die Gewichtsmittelwerte der Welpen sowie die Modellfunktion von Bertalanffy dargestellt.

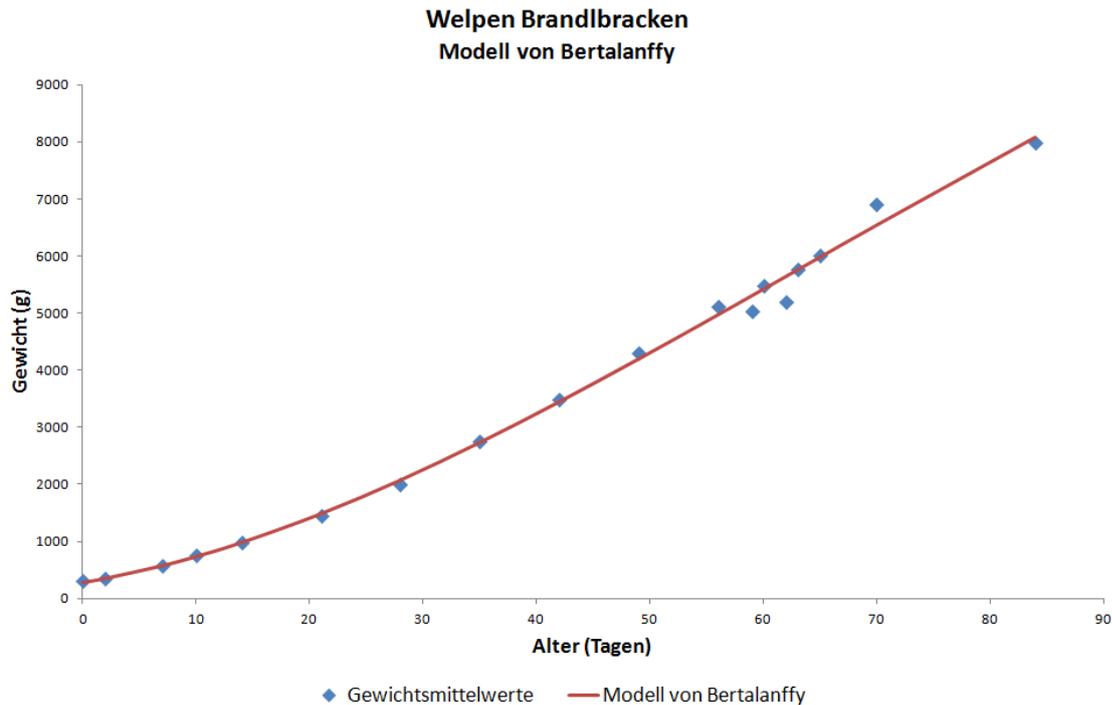


Abbildung 26: Gewichtsmittelwerte der Welpen und das Modell von Bertalanffy

### 7.1.2 Drei Welpen pro Wurf

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Würfe mit jeweils drei Welpen dargestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse 3 Welpen pro Wurf, N=9

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	100,128				107248,01	86,471	87,043
linear	97,945	86,619			87387,57	86,628	88,628
quadratisch	0,227	85,239	190,381		49320,15	83,480	88,280 (3)
Parabel	1,636		1012,030		1635443,11	112,992	114,992
quadratisch/null	0,049	97,964			104186,23	88,210	90,210
kubisch	-1,24E-02	1,271	63,186	262,001	23410,43	78,773	88,773
exponentiell	982,681	0,032			1465105,92	112,002	114,002
beschränkt exp.	82933,352	82871,344	0,001		110213,50	90,717	95,517
logistisch	786,390	10648,055	4,59E-06		628828,74	106,390	111,190
Bertalanffy	1,570	0,073	-3,154		19120,02	74,951	79,751 (2)
Parks	21363,372	21161,386	0,004	2,64E-05	41239,50	83,869	93,869
zwei Lineare	311,935	53,040	-70,438	101,876	4839,70	64,586	74,586 (1)

Bei drei Welpen pro Wurf beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Das zweitbeste Modell ist das von Bertalanffy, gefolgt vom quadratischen Modell. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 7,82 Tagen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 92,97% ist das Modell zwei Lineare 13,23-mal wahrscheinlicher als das Modell von Bertalanffy, das eine Wahrscheinlichkeit von 7,03% aufweist.

### 7.1.3 Vier Welpen pro Wurf

Die Ergebnisse der Würfe mit jeweils vier Welpen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse 4 Welpen pro Wurf, N=11

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	91,644				609927,22	122,155	122,600	
linear	91,875	-11,308			609525,31	124,148	125,648	
quadratisch	0,519	55,511	370,519		53576,83	99,401	102,829	(1)
Parabel	1,255		1051,783		1255331,59	132,095	133,595	
quadratisch/null	0,292	75,599			290100,46	115,981	117,481	
kubisch	2,46E-03	0,261	62,404	340,130	49175,46	100,458	107,124	(3)
exponentiell	1015,471	0,028			1220972,62	131,790	133,290	
beschränkt exp.	82882,336	82923,765	0,001		728273,90	128,106	131,534	
logistisch	650,083	11360,579	4,02E-06		542417,44	124,865	128,293	
Bertalanffy	0,883	0,029	43,523		90323,72	105,146	108,574	
Parks	21766,042	21356,648	0,002	4,06E-05	73372,14	104,859	111,526	
zwei Lineare	264,860	75,978	-1513,110	118,736	39190,50	97,961	104,628	(2)

Das quadratische Modell beschreibt bei einer Wurfgröße von vier Welpen die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Das zweitbeste Modell ist das zwei Lineare, gefolgt vom kubischen Modell. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 71,08% ist das quadratische Modell 2,46-mal wahrscheinlicher als das Modell zwei Lineare, das eine Wahrscheinlichkeit von 28,92% aufweist. In diesem Fall sind sogar die Abweichungsquadratsummen der am zweit- und drittbesten angepassten Modellfunktionen kleiner als die des favorisierten Modells.

### 7.1.4 Fünf Welpen pro Wurf

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Würfe mit jeweils fünf Welpen dargestellt.

Tabelle 6: Ergebnisse 5 Welpen pro Wurf, N=11

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	93,438				999421,97	127,587	128,032	
linear	96,989	-166,318			916602,70	128,636	130,136	
quadratisch	0,759	47,516	308,816		113312,61	107,640	111,069	(1)
Parabel	1,441		839,908		806736,21	127,231	128,731	
quadratisch/null	0,533	65,790			268372,79	115,125	116,625	(3)
kubisch	-3,53E-04	0,792	46,715	311,855	113268,34	109,636	116,302	(2)
exponentiell	845,638	0,033			945339,29	128,975	130,475	
beschränkt exp.	124655,75	124839,23	0,001		1000464,67	131,599	135,027	
logistisch	507,133	12112,083	4,34E-06		614611,12	126,239	129,668	
Bertalanffy	0,603	0,008	241,298		217385,92	114,807	118,235	
Parks	23887,768	23544,758	0,002	4,68E-05	119389,19	110,215	116,881	
zwei Lineare	244,994	67,410	-1366,565	120,646	157111,40	113,235	119,902	

Auch bei einer Wurfgröße von fünf Welpen beschreibt das quadratische Modell die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Mit einer AIC<sub>C</sub>-Differenz zwischen dem quadratischen Modell und dem kubischen Modell von 5,233 ist das quadratische Modell zu 93,19% wahrscheinlich und das kubische Modell zu 6,81%. Es folgt auf Platz drei das Modell quadratisch/null.

### 7.1.5 Sieben Welpen pro Wurf

Die Ergebnisse der Würfe mit jeweils sieben Welpen sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Ergebnisse 7 Welpen pro Wurf, N=10

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	87,041				476503,10	109,716	110,216	
linear	88,473	-63,501			464830,31	111,468	113,183	
quadratisch	0,437	60,947	193,414		222809,25	106,115	110,115	
Parabel	1,333		861,178		1322366,98	121,923	123,638	
quadratisch/null	0,292	72,527			283324,08	106,518	108,232	(3)
kubisch	-2,12E-02	2,441	13,053	376,688	59485,77	94,909	102,909	(2)
exponentiell	875,053	0,031			1534603,06	123,412	125,126	
beschränkt exp.	124708,13	124787,13	0,001		501752,59	114,233	118,233	
logistisch	684,369	10846,527	4,19E-06		570324,12	115,514	119,514	
Bertalanffy	1,272	0,055	4,251		106923,06	98,773	102,773	(1)
Parks	17793,210	17567,659	0,003	4,71E-05	170795,58	105,456	113,456	
zwei Lineare	265,600	59,777	-661,559	101,210	118820,42	101,828	109,828	

Das Modell von Bertalanffy mit einem AIC<sub>C</sub> von 102,773 beschreibt bei einer Wurfgröße von sieben die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Das zweitbeste Modell ist das kubische Modell mit einem AIC<sub>C</sub> von 102,909 gefolgt vom Modell quadratisch/null. Durch die AIC<sub>C</sub>-Differenz von 0,163 ergibt sich für das

Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 51,70% und für das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 48,30%.

### 7.1.6 Acht Welpen pro Wurf

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Würfe mit jeweils acht Welpen dargestellt.

Tabelle 8: Ergebnisse 8 Welpen pro Wurf, N=12

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	88,080				680912,27	133,355	133,755
linear	90,042	-97,191			651486,11	134,825	136,159
quadratisch	0,349	66,231	142,642		446403,50	132,289	135,289
Parabel	1,260		915,621		1937787,78	147,906	149,239
quadratisch/null	0,252	74,372			480231,54	131,165	132,499 (3)
kubisch	-2,38E-02	2,697	7,641	379,107	180997,04	123,456	129,170 (2)
exponentiell	925,164	0,029			2155176,31	149,182	150,515
beschränkt exp.	124688,10	124805,13	0,001		692715,88	137,562	140,562
logistisch	684,369	10846,527	4,16E-06		903422,15	140,748	143,748
Bertalanffy	1,360	0,061	0,167		261498,65	125,871	128,871 (1)
Parks	20881,426	20529,176	0,002	4,75E-05	502477,57	135,709	141,423
zwei Lineare	293,656	51,674	-555,226	99,005	283662,78	128,848	134,562

Das Modell von Bertalanffy mit einem AIC<sub>C</sub> von 128,871 beschreibt die Gewichtszunahmen der Welpen der Wurfgröße acht am besten. Das zweitbeste Modell ist das kubische mit einem AIC<sub>C</sub> von 129,170 gefolgt vom Modell quadratisch/null. Durch die AIC<sub>C</sub>-Differenz von 0,299 ergibt sich für das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 53,73% und für das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 46,27%.

### 7.1.7 Neun Welpen pro Wurf

Die Ergebnisse der Würfe mit jeweils neun Welpen sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Ergebnisse 9 Welpen pro Wurf, N=10

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	81,549				1235939,52	119,248	119,748	
linear	86,752	-230,667			1081919,06	119,917	121,631	
quadratisch	0,911	29,387	304,746		30807,99	86,329	90,329	(1)
Parabel	1,343		626,722		286443,31	106,627	108,341	
quadratisch/null	0,682	47,633			181039,10	102,039	103,753	
kubisch	7,12E-04	0,843	30,998	298,553	30621,45	88,269	96,269	
exponentiell	669,648	0,035			520648,20	112,602	114,317	
beschränkt exp.	124626,59	124868,74	0,001		1154080,46	122,562	126,562	
logistisch	526,231	11511,979	4,19E-06		124925,55	100,329	104,329	
Bertalanffy	0,863	0,025	42,318		42776,50	89,612	93,612	(2)
Parks	24477,862	24140,431	0,001	4,95E-05	38007,95	90,430	98,430	
zwei Lineare	221,735	54,770	-1883,845	120,396	25874,24	86,584	94,584	(3)

Bei einer Wurfgröße von neun Welpen beschreibt das quadratische Modell die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Das zweitbeste Modell ist das von Bertalanffy, gefolgt vom Modell zwei Lineare. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 32,08 Tagen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 83,77% ist das quadratische Modell 5,16-mal wahrscheinlicher als das Modell von Bertalanffy, das eine Wahrscheinlichkeit von 16,23% aufweist.

### 7.1.8 Zehn Welpen pro Wurf

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Würfe mit jeweils zehn Welpen dargestellt.

Tabelle 10: Ergebnisse 10 Welpen pro Wurf, N=16

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	84,836				1570275,05	185,907	186,192	
linear	88,614	-192,633			1393525,11	185,996	186,919	
quadratisch	0,723	40,088	224,171		333130,44	165,099	167,099	(2)
Parabel	1,292		622,219		1021200,23	181,022	181,945	
quadratisch/null	0,553	53,997			467576,66	168,524	169,447	
kubisch	-9,60E-03	1,660	17,171	312,618	283453,46	164,515	168,152	
exponentiell	687,197	0,034			1558074,17	187,782	188,705	
beschränkt exp.	124643,75	124849,68	0,001		1490103,94	189,068	191,068	
logistisch	526,231	11511,979	4,15E-06		653382,79	175,877	177,877	
Bertalanffy	0,975	0,034	24,110		292040,54	162,993	164,993	(1)
Parks	21568,794	21310,750	0,001	4,92E-05	300280,61	165,438	169,075	
zwei Lineare	242,465	47,426	-1242,851	108,105	270801,60	163,785	167,421	(3)

Bei zehn Welpen pro Wurf geht die Entscheidung zugunsten des Modells von Bertalanffy aus, das quadratischen Modell folgt vor dem Modell zwei Lineare. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 24,47 Tagen.

Die  $AIC_C$ -Differenz zwischen dem Modell von Bertalanffy und dem quadratischen Modell beträgt 2,106, somit hat das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 74,14% und das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 25,86%.

### 7.1.9 Elf Welpen pro Wurf

Die Ergebnisse der Würfe mit jeweils elf Welpen sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse 11 Welpen pro Wurf, N=10

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	$AIC_C$	
proportional	81,110				3493797,67	129,639	130,139	
linear	91,700	-506,272			2694523,05	129,041	130,756	
quadratisch	1,138	11,759	333,409		29229,68	85,804	89,804	(2)
Parabel	1,293		477,565		82382,15	94,165	95,880	
quadratisch/null	0,934	29,929			219180,06	103,951	105,665	
kubisch	3,61E-03	0,760	21,661	291,269	21030,68	84,512	92,512	(3)
exponentiell	590,709	0,035			429928,15	110,688	112,402	
beschränkt exp.	124487,87	125007,32	0,001		2857985,61	131,630	135,630	
logistisch	526,231	11511,979	4,09E-06		406395,05	112,125	116,125	
Bertalanffy	0,613	0,006	271,927		22984,69	83,400	87,400	(1)
Parks	9745,749	9469,285	0,000	2,03E-04	593196,99	117,907	125,907	
zwei Lineare	219,807	43,854	-2656,697	132,128	163664,02	105,030	113,030	

Mit einem  $AIC_C$  von 87,4 beschreibt das Modell von Bertalanffy die Gewichtszunahmen der Welpen der Wurfgröße elf am besten, gefolgt vom quadratischen und dem kubischen Modell. Das Modell von Bertalanffy hat eine Wahrscheinlichkeit von 76,88% und das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 23,12%.

### 7.1.10 Zwölf Welpen pro Wurf

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Würfe mit jeweils zwölf Welpen dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse 12 Welpen pro Wurf, N=9

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	82,925				426397,34	98,893	99,465
linear	81,602	52,501			419101,04	100,738	102,738
quadratisch	0,635	46,047	342,870		120993,80	91,556	96,356 (1)
Parabel	1,396		786,729		583861,72	103,722	105,722
quadratisch/null	0,314	68,965			298949,81	97,697	99,697 (3)
kubisch	7,16E-03	0,034	58,748	301,572	112380,30	92,892	102,892
exponentiell	748,322	0,034			521119,90	102,699	104,699
beschränkt exp.	124768,59	124724,98	0,001		445135,07	103,280	108,080
logistisch	526,231	11511,979	4,38E-06		364798,64	101,489	106,289
Bertalanffy	0,871	0,028	43,899		136737,93	92,657	97,457 (2)
Parks	21730,821	21371,919	0,002	4,16E-05	130340,40	94,226	104,226
zwei Lineare	256,326	67,082	-1322,070	111,706	104028,10	92,197	102,197

Bei zwölf Welpen pro Wurf beschreibt das quadratische Modell die Gewichtszunahmen der Welpen am besten. Mit einer AIC<sub>C</sub>-Differenz zwischen dem quadratischen Modell und dem Modell von Bertalanffy von 1,101 ist das quadratische Modell zu 63,42% wahrscheinlich und das Modell von Bertalanffy zu 36,58%. Es folgt auf Platz drei das Modell quadratisch/null.

### 7.1.11 Dreizehn Welpen pro Wurf

Die Ergebnisse der Würfe mit jeweils dreizehn Welpen sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Ergebnisse 13 Welpen pro Wurf; N=10

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	78,196				1129503,72	118,347	118,847
linear	84,593	-277,190			912581,64	118,214	119,929
quadratisch	0,883	31,027	198,453		117497,35	99,716	103,716
Parabel	1,360		520,757		366140,41	109,082	110,796
quadratisch/null	0,719	43,522			179155,20	101,934	103,649
kubisch	-1,76E-02	2,448	-4,043	321,448	43964,48	91,886	99,886 (2)
exponentiell	591,634	0,037			730554,98	115,990	117,704
beschränkt exp.	124602,21	124889,46	0,001		966095,41	120,784	124,784
logistisch	471,232	11972,364	4,14E-06		299454,98	109,071	113,071
Bertalanffy	1,028	0,036	15,872		79262,04	95,779	99,779 (1)
Parks	17570,372	17334,086	0,001	7,34E-05	75783,53	97,331	105,331
zwei Lineare	227,359	40,507	-1318,404	107,198	51396,97	93,447	101,447 (3)

Mit einem AIC<sub>C</sub> von 99,779 beschreibt das Modell von Bertalanffy die Gewichtszunahmen der Welpen der Wurfgröße dreizehn am besten, gefolgt vom kubischen Modell und dem Modell zwei Lineare. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 23,18 Tagen. Das Modell von Bertalanffy

hat eine Wahrscheinlichkeit von 51,33% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 48,67%.

## 7.2 Ferkel

Im Abschnitt 7.2.1 werden die Ergebnisse der Auswertung der Liste aller Ferkel beschrieben, im Abschnitt 7.2.2 die Ergebnisse der Ferkel mit mindestens sechs Messungen und in Abschnitt 7.2.3 die Ergebnisse bis zum Absetzen der Ferkel.

Die Modellauswahl erfolgt bei den Ferkeln aufgrund der AIC-Werte.

### 7.2.1 Ferkel Gesamtliste

In den folgenden Abschnitten 7.2.1.1 bis 7.2.1.8 sind die Ergebnisse der Auswertung der Liste aller 5188 Ferkel beschrieben.

#### 7.2.1.1 Ferkel Gesamtliste 2007

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse des Jahres 2007 dargestellt.

Tabelle 14: Ergebnisse des Jahres 2007 (Gesamtliste), N=50

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>
proportional	0,286				31,479	-21,135	-21,052
linear	0,277	0,318			30,234	-21,153	-20,897
quadratisch	0,002	0,159	1,346		19,874	-40,130	-39,608 (1)
Parabel	0,005		2,921		37,779	-10,013	-9,758
quadratisch/null	0,001	0,263			29,770	-21,927	-21,671
kubisch	4,05E-05	-0,001	0,225	1,113	19,625	-38,761	-37,872 (3)
exponentiell	2,578	0,036			34,759	-14,179	-13,924
beschränkt exp.	234,197	233,942	0,001		31,828	-16,584	-16,062
logistisch	1,897	23,610	0,003		22,976	-32,879	-32,358
Bertalanffy	0,123	0,024	289,886		20,397	-38,831	-38,309 (2)
Parks	215,659	214,318	0,001	1,15E-05	19,968	-37,895	-37,006
zwei Lineare	0,981	0,229	-2,379	0,345	21,194	-34,914	-34,025

Mit einem AIC von -40,130 beschreibt das quadratische Modell die Gewichtszunahmen der Ferkel im Jahr 2007 am besten, gefolgt vom Modell von Bertalanffy und dem kubischen Modell. Das quadratische Modell hat eine Wahrscheinlichkeit von 65,69% und das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 34,31%.

#### 7.2.1.2 Ferkel Gesamtliste 2008

Die Ergebnisse des Jahres 2008 sind in Tabelle 15 dargestellt.

## 7 Ergebnisse

Tabelle 15: Ergebnisse des Jahres 2008 (Gesamtliste), N=59

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,285				47,692	-10,553	-10,483	
linear	0,271	0,569			42,672	-15,116	-14,902	
quadratisch	0,002	0,171	1,563		28,425	-37,085	-36,648	(3)
Parabel	0,004		3,508		67,129	11,615	11,830	
quadratisch/null	0,000	0,272			46,684	-9,814	-9,600	
kubisch	5,63E-05	-0,004	0,303	0,881	22,561	-48,717	-47,976	(2)
exponentiell	3,107	0,030			54,424	-0,763	-0,549	
beschränkt exp.	200,313	199,845	0,001		46,119	-8,532	-8,096	
logistisch	2,428	31,175	0,001		39,083	-18,299	-17,863	
Bertalanffy	0,110	0,021	355,156		30,987	-31,994	-31,557	
Parks	215,744	214,233	0,001	8,29E-06	28,974	-33,957	-33,216	
zwei Lineare	0,989	0,249	-11,741	0,504	21,619	-51,234	-50,493	(1)

Im Jahr 2008 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Das zweitbeste Modell ist das kubische, gefolgt vom quadratischen Modell. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 49,99 Tagen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 77,87% ist das Modell zwei Lineare 3,52-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell, das eine Wahrscheinlichkeit von 22,13% aufweist.

### 7.2.1.3 Ferkel Gesamtliste 2009

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse des Jahres 2009 dargestellt.

Tabelle 16: Ergebnisse des Jahres 2009 (Gesamtliste), N=80

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,302				366,327	123,720	123,771	
linear	0,317	-0,826			351,211	122,349	122,505	
quadratisch	0,003	0,089	2,488		133,406	46,910	47,226	
Parabel	0,004		3,953		163,885	61,371	61,527	
quadratisch/null	0,002	0,200			198,200	76,580	76,736	
kubisch	5,33E-05	-0,005	0,336	0,885	73,973	1,734	2,268	(2)
exponentiell	3,671	0,025			134,220	45,396	45,552	
beschränkt exp.	556,075	556,979	0,001		366,895	127,844	128,160	
logistisch	3,346	132,712	0,000		127,397	43,222	43,538	(3)
Bertalanffy	0,077	0,007	1206,024		128,668	44,017	44,333	
Parks	258,180	255,629	3,06E-04	1,13E-05	141,577	53,665	54,199	
zwei Lineare	0,946	0,249	-27,061	0,670	68,721	-4,158	-3,624	(1)

Das Modell zwei Lineare beschreibt im Jahr 2009 die Gewichtszunahmen am besten, gefolgt vom kubischen und dem logistischen Modell. Der Schnittpunkt der beiden

Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 66,46 Tagen. Das Modell zwei Lineare trifft mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,01% zu, das kubische Modell mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,99%.

#### 7.2.1.4 Ferkel Gesamtliste 2010

Die Ergebnisse des Jahres 2010 sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Ergebnisse des Jahres 2010 (Gesamtliste), N=89

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,303				213,959	80,066	80,112	
linear	0,312	-0,523			207,753	79,447	79,586	
quadratisch	0,002	0,170	1,547		125,315	36,456	36,738	(2)
Parabel	0,003		4,354		236,255	90,888	91,028	
quadratisch/null	0,001	0,240			150,246	50,603	50,743	
kubisch	5,99E-07	0,002	0,172	1,559	125,323	38,461	38,937	(3)
exponentiell	4,107	0,023			254,984	97,678	97,818	
beschränkt exp.	413,964	414,611	0,001		220,684	86,821	87,103	
logistisch	2,641	39,359	0,001		137,159	44,493	44,775	
Bertalanffy	0,077	0,007	1206,024		154,814	55,269	55,552	
Parks	439,446	438,238	4,37E-04	3,35E-06	128,088	40,403	40,879	
zwei Lineare	1,024	0,244	-6,178	0,396	122,293	36,283	36,759	(1)

Beim Vergleich mit AIC im Jahr 2010 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 47,21 Tagen. Die AIC-Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem quadratischen Modell liegt hier bei 0,173, so dass das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 52,16% und das quadratische Modell von 47,84% hat. Es folgt auf Platz drei das kubische Modell. Hingegen liefert der Vergleich mit AIC<sub>C</sub> die Reihenfolge: quadratisches Modell vor dem Modell zwei Lineare und dem kubischen Modell.

#### 7.2.1.5 Ferkel Gesamtliste 2011

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse des Jahres 2011 dargestellt.

Tabelle 18: Ergebnisse des Jahres 2011 (Gesamtliste), N=94

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,323				252,063	94,720	94,764	
linear	0,335	-0,730			239,224	91,806	91,938	
quadratisch	0,001	0,212	1,218		168,077	60,626	60,893	
Parabel	0,003		4,931		385,395	136,631	136,763	
quadratisch/null	0,001	0,263			182,133	66,176	66,307	
kubisch	-2,07E-05	0,004	0,101	2,061	156,488	55,910	56,360	(3)
exponentiell	4,779	0,021			444,226	149,986	150,118	
beschränkt exp.	413,859	414,760	0,001		255,928	100,150	100,417	
logistisch	2,610	39,001	0,001		155,145	53,100	53,367	(1)
Bertalanffy	0,075	0,007	1206,024		219,302	85,632	85,899	
Parks	312,019	310,951	0,001	4,64E-06	166,574	61,782	62,231	
zwei Lineare	1,092	0,252	-4,802	0,394	152,233	53,319	53,769	(2)

Im Jahr 2011 geht die Entscheidung knapp zugunsten des logistischen Modells aus, das Modell zwei Lineare folgt vor dem kubischen Modell. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 41,4 Tagen. Die AIC Differenz zwischen dem logistischen Modell und dem Modell zwei Lineare beträgt 0,219, somit hat das logistische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 52,74% und das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 47,26%.

### 7.2.1.6 Ferkel Gesamtliste 2012

Die Ergebnisse des Jahres 2012 sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Ergebnisse des Jahres 2012 (Gesamtliste), N=93

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,2913				233,8447	87,751	87,795	
linear	0,304	-0,765			219,887	84,028	84,161	
quadratisch	0,002	0,136	1,819		83,211	-4,344	-4,074	(2)
Parabel	0,003		4,194		167,272	58,593	58,727	
quadratisch/null	0,001	0,213			119,684	27,460	27,593	
kubisch	0,000	0,001	0,148	1,760	83,091	-2,478	-2,023	(3)
exponentiell	4,013	0,022			200,790	75,578	75,712	
beschränkt exp.	413,838	414,724	0,001		237,890	93,346	93,616	
logistisch	2,686	44,198	0,001		88,014	0,875	1,145	
Bertalanffy	0,073	0,007	1207,059		88,228	1,101	1,371	
Parks	244,566	242,632	0,001	8,72E-06	83,620	-1,888	-1,433	
zwei Lineare	1,071	0,230	-9,382	0,423	67,442	-21,883	-21,429	(1)

Das Modell zwei Lineare mit einem AIC von -21,883 beschreibt im Jahr 2012 die Gewichtszunahmen der Ferkel deutlich am besten. Der Schnittpunkt der beiden

Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 53,99 Tagen. Das zweitbeste Modell ist das quadratische mit einem AIC von -4,344 gefolgt vom kubischen Modell. Durch die AIC-Differenz von 17,539 ergibt sich für das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 99,98% und für das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 0,02%.

### 7.2.1.7 Ferkel Gesamtliste 2013

In Tabelle 20 sind die Ergebnisse des Jahres 2013 dargestellt.

Tabelle 20: Ergebnisse des Jahres 2013 (Gesamtliste), N=100

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,297				401,122	140,910	140,950	
linear	0,315	-1,186			365,138	133,510	133,634	
quadratisch	0,002	0,117	2,114		132,111	33,847	34,097	(3)
Parabel	0,003		4,289		210,145	78,263	78,386	
quadratisch/null	0,001	0,200			182,929	64,393	64,516	
kubisch	7,57E-06	0,001	0,164	1,710	129,341	33,728	34,149	(2)
exponentiell	4,180	0,021			258,015	98,785	98,909	
beschränkt exp.	413,713	415,017	0,001		395,374	143,466	143,716	
logistisch	2,897	53,685	0,001		143,247	41,940	42,190	
Bertalanffy	0,073	0,007	1207,058		132,871	34,421	34,671	
Parks	568,680	566,844	2,30E-04	3,40E-06	134,731	37,811	38,232	
zwei Lineare	1,270	0,220	-10,467	0,437	116,150	22,971	23,392	(1)

Auch im Jahr 2013 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 54 Tagen. Mit einer AIC-Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem kubischen Modell von 10,757 ist das Modell zwei Lineare zu 99,54% wahrscheinlich und das kubische Modell zu 0,46%. Es folgt auf Platz drei das quadratische Modell.

### 7.2.1.8 Ferkel Gesamtliste 2007 bis 2013

Die Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 (Gesamtliste), N=101

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,307				241,618	90,096	90,136	
linear	0,323	-1,086			211,234	78,522	78,645	
quadratisch	0,002	0,156	1,730		43,617	-78,808	-78,560	(2)
Parabel	0,003		4,641		183,928	64,542	64,664	
quadratisch/null	0,001	0,224			76,994	-23,410	-23,288	
kubisch	1,91E-06	0,001	0,164	1,710	43,404	-77,301	-76,884	(3)
exponentiell	4,506	0,021			235,199	89,377	89,499	
beschränkt exp.	413,777	415,031	0,001		238,837	92,927	93,174	
logistisch	2,907	48,317	0,001		65,796	-37,284	-37,037	
Bertalanffy	0,073	0,007	1207,058		59,392	-47,628	-47,380	
Parks	230,626	228,859	0,001	8,70E-06	44,643	-74,459	-74,042	
zwei Lineare	0,982	0,243	-8,643	0,422	37,966	-90,821	-90,405	(1)

Insgesamt beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel aus den Jahren 2007 bis 2013 am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 53,8 Tagen. Es folgen das quadratische Modell auf Platz zwei und das kubische Modell auf Platz drei. Die AIC Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem quadratischen Modell beträgt 12,013. Somit hat das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 99,75% und das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 0,25%. Das Modell zwei Lineare ist somit 399-mal wahrscheinlicher als das quadratische Modell.

Die Gewichtsmittelwerte der Ferkel und das Modell zwei Lineare sind in Abbildung 27 graphisch dargestellt.

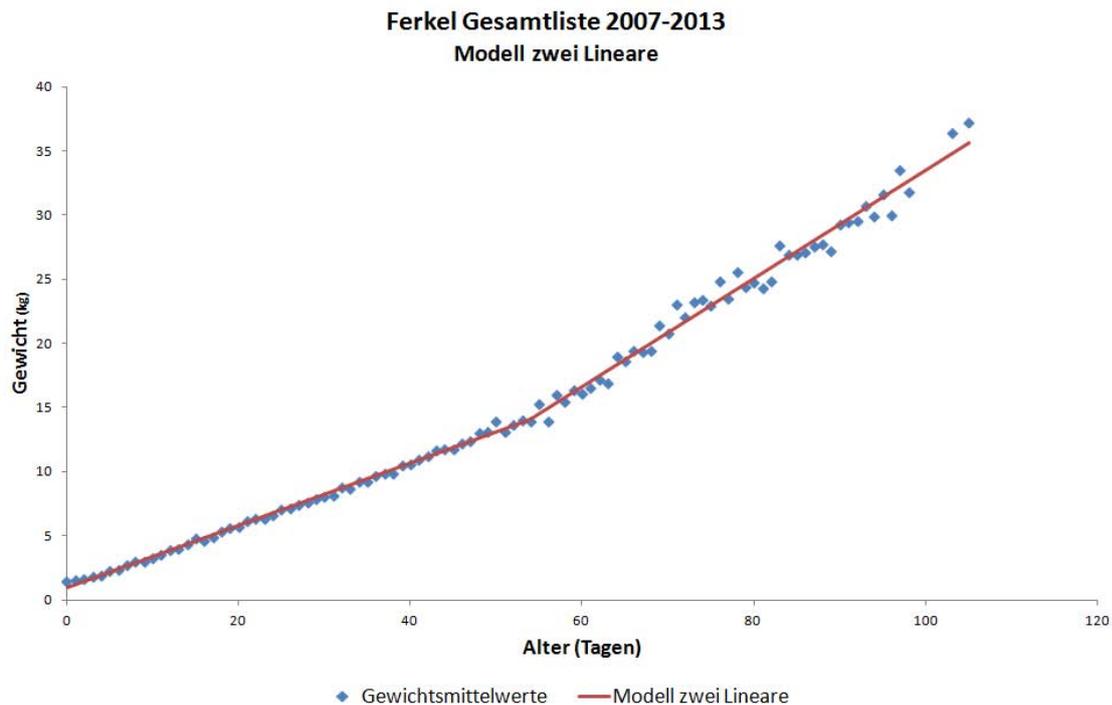


Abbildung 27: Gewichtsmittelwerte aller Ferkel 2007-2013 und das Modell zwei Lineare

## 7.2.2 Ferkel ohne Kümmerer

Die Ergebnisse der Daten der 4393 Ferkel, von denen jeweils mindestens sechs Messungen vorhanden sind, sind in den folgenden Abschnitten 7.3.2.1 bis 7.3.2.8 beschrieben.

### 7.2.2.1 Ferkel ohne Kümmerer 2007

Die Ergebnisse des Jahres 2007 sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Ergebnisse des Jahres 2007 (ohne Kümmerer), N=50

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,286				34,916	-15,953	-15,870	
linear	0,274	0,394			33,004	-16,770	-16,515	
quadratisch	0,002	0,156	1,429		22,513	-33,897	-33,375	(1)
Parabel	0,005		2,973		39,722	-7,506	-7,251	
quadratisch/null	0,001	0,266			33,659	-15,787	-15,532	
kubisch	4,05E-05	-0,001	0,225	1,113	21,795	-33,518	-32,629	(2)
exponentiell	2,604	0,036			35,757	-12,764	-12,509	
beschränkt exp.	166,746	166,439	0,002		35,274	-11,443	-10,922	
logistisch	1,990	25,324	0,002		25,657	-27,360	-26,838	
Bertalanffy	0,123	0,024	289,886		23,046	-32,726	-32,204	(3)
Parks	215,691	214,273	0,001	1,15E-05	22,640	-31,616	-30,727	
zwei Lineare	1,068	0,226	-2,399	0,345	23,519	-29,712	-28,823	

Mit einem AIC von -33,897 beschreibt das quadratische Modell die Gewichtszunahmen der Ferkel im Jahr 2007 am besten, gefolgt vom kubischen Modell und dem Modell von Bertalanffy. Das quadratische Modell hat eine Wahrscheinlichkeit von 54,73% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 45,27%.

### 7.2.2.2 Ferkel ohne Kümmerer 2008

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse des Jahres 2008 dargestellt.

Tabelle 23: Ergebnisse des Jahres 2008 (ohne Kümmerer), N=59

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,285				47,492	-10,801	-10,731	
linear	0,271	0,562			42,594	-15,223	-15,009	
quadratisch	0,002	0,170	1,567		28,041	-37,889	-37,453	(3)
Parabel	0,004		3,501		66,299	10,881	11,096	
quadratisch/null	0,000	0,271			46,385	-10,193	-9,978	
kubisch	5,63E-05	-0,004	0,303	0,881	22,422	-49,083	-48,342	(2)
exponentiell	3,101	0,030			53,904	-1,330	-1,115	
beschränkt exp.	200,313	199,845	0,001		46,078	-8,585	-8,148	
logistisch	2,442	31,709	0,001		38,498	-19,190	-18,753	
Bertalanffy	0,110	0,021	355,156		30,513	-32,904	-32,468	
Parks	214,644	213,145	0,001	8,29E-06	28,622	-34,679	-33,938	
zwei Lineare	0,989	0,249	-11,741	0,504	21,619	-51,234	-50,493	(1)

Im Jahr 2008 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 49,99. Das zweitbeste Modell ist das kubische, gefolgt vom quadratischen Modell. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 74,57% ist das Modell zwei Lineare 3,52-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell, das eine Wahrscheinlichkeit von 25,43% aufweist.

### 7.2.2.3 Ferkel ohne Kümmerer 2009

Die Ergebnisse des Jahres 2009 sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Ergebnisse des Jahres 2009 (ohne Kümmerer), N=80

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,302				366,841	123,832	123,883	
linear	0,316	-0,771			353,671	122,907	123,063	
quadratisch	0,003	0,086	2,564		133,106	46,730	47,045	
Parabel	0,004		3,991		162,030	60,461	60,616	
quadratisch/null	0,002	0,201			201,916	78,066	78,222	
kubisch	5,33E-05	-0,005	0,336	0,885	72,955	0,625	1,158	(2)
exponentiell	3,689	0,025			131,123	43,529	43,685	
beschränkt exp.	413,846	414,720	0,001		375,020	129,596	129,912	
logistisch	3,422	138,315	2,00E-04		126,377	42,579	42,895	(3)
Bertalanffy	0,077	0,007	1206,024		128,703	44,039	44,355	
Parks	221,048	218,413	3,41E-04	1,36E-05	142,925	54,424	54,957	
zwei Lineare	1,012	0,247	-27,061	0,670	68,469	-4,451	-3,918	(1)

Das Modell zwei Lineare beschreibt im Jahr 2009 die Gewichtszunahmen am besten, gefolgt vom kubischen und dem logistischen Modell. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 66,41 Tagen. Das Modell zwei Lineare trifft mit einer Wahrscheinlichkeit von 92,68% zu, das kubische Modell mit einer Wahrscheinlichkeit von 7,32%.

#### 7.2.2.4 Ferkel ohne Kümmerer 2010

In Tabelle 25 sind die Ergebnisse des Jahres 2010 dargestellt.

Tabelle 25: Ergebnisse des Jahres 2010 (ohne Kümmerer), N=89

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,304				213,572	79,905	79,951	
linear	0,312	-0,488			208,173	79,626	79,766	
quadratisch	0,002	0,168	1,614		123,214	34,950	35,233	(2)
Parabel	0,003		4,380		230,942	88,864	89,004	
quadratisch/null	0,001	0,240			150,331	50,654	50,794	
kubisch	6,43E-07	0,002	0,172	1,559	123,200	36,941	37,417	(3)
exponentiell	4,118	0,023			248,331	95,325	95,465	
beschränkt exp.	413,978	414,589	0,001		221,263	87,054	87,336	
logistisch	2,686	39,648	0,001		134,723	42,898	43,181	
Bertalanffy	0,077	0,007	1206,024		151,876	53,564	53,846	
Parks	466,354	464,977	3,91E-04	3,37E-06	124,699	38,016	38,493	
zwei Lineare	1,082	0,242	-6,249	0,398	119,949	34,560	35,037	(1)

Im Jahr 2010 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 47,28 Tagen. Die AIC-Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem

quadratischen Modell liegt hier bei 0,389, so dass das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 54,86% und das quadratische Modell von 45,14% hat. Es folgt auf Platz drei das kubische Modell.

### 7.2.2.5 Ferkel ohne Kümmerer 2011

Die Ergebnisse des Jahres 2011 sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Ergebnisse des Jahres 2011 (ohne Kümmerer), N=94

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,324				252,242	94,787	94,830	
linear	0,334	-0,675			241,245	92,597	92,729	
quadratisch	0,001	0,213	1,208		168,044	60,607	60,874	
Parabel	0,003		4,968		380,603	135,455	135,587	
quadratisch/null	0,001	0,264			184,264	67,269	67,401	
kubisch	-2,08E-05	0,004	0,101	2,061	156,540	55,942	56,391	(3)
exponentiell	4,797	0,021			437,226	148,493	148,625	
beschränkt exp.	595,467	596,208	0,001		252,707	98,960	99,226	
logistisch	2,470	37,357	0,001		157,064	54,255	54,522	(2)
Bertalanffy	0,075	0,007	1206,024		217,441	84,831	85,098	
Parks	312,447	311,318	0,001	4,64E-06	166,745	61,878	62,328	
zwei Lineare	1,172	0,250	-4,802	0,394	151,839	53,075	53,525	(1)

Im Jahr 2011 beschreibt das Modell zwei Lineare ebenfalls die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 41,39 Tagen. Das zweitbeste Modell ist das logistische, gefolgt vom kubischen Modell. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 64,34% ist das Modell zwei Lineare 1,8-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell, das eine Wahrscheinlichkeit von 35,66% aufweist.

### 7.2.2.6 Ferkel ohne Kümmerer 2012

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse des Jahres 2012 dargestellt.

Tabelle 27: Ergebnisse des Jahres 2012 (ohne Kümmerer), N=92

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,2902				222,384	83,201	83,245	
linear	0,301	-0,667			211,864	80,742	80,877	
quadratisch	0,002	0,136	1,852		82,201	-4,361	-4,088	(2)
Parabel	0,003		4,218		165,318	57,919	58,054	
quadratisch/null	0,001	0,215			119,807	28,297	28,432	
kubisch	2,22E-06	0,001	0,148	1,760	82,070	-2,508	-2,048	(3)
exponentiell	4,022	0,022			197,682	74,368	74,503	
beschränkt exp.	413,883	414,667	0,001		228,805	89,820	90,092	
logistisch	2,692	43,758	0,001		85,920	-0,290	-0,017	
Bertalanffy	0,073	0,007	1207,059		87,010	0,869	1,142	
Parks	244,670	242,722	0,001	8,59E-06	82,470	-2,061	-1,601	
zwei Lineare	1,119	0,229	-9,210	0,421	66,537	-21,811	-21,352	(1)

Das Modell zwei Lineare mit einem AIC von -21,811 beschreibt im Jahr 2012 die Gewichtszunahmen der Ferkel deutlich am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 53,85 Tagen. Das zweitbeste Modell ist das quadratische mit einem AIC von -4,361 gefolgt vom kubischen Modell. Durch die AIC-Differenz von 17,450 ergibt sich für das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 99,98% und für das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 0,02%.

### 7.2.2.7 Ferkel ohne Kümmerer 2013

Die Ergebnisse des Jahres 2013 sind in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: Ergebnisse des Jahres 2013 (ohne Kümmerer), N=100

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	0,298				401,350	140,966	141,007	
linear	0,315	-1,161			366,910	133,995	134,118	
quadratisch	0,002	0,117	2,114		132,114	33,850	34,100	(3)
Parabel	0,003		4,306		208,735	77,590	77,713	
quadratisch/null	0,001	0,200			184,826	65,424	65,548	
kubisch	7,57E-06	0,001	0,164	1,710	129,367	33,748	34,169	(2)
exponentiell	4,188	0,021			255,588	97,840	97,963	
beschränkt exp.	413,727	415,004	0,001		397,186	143,924	144,174	
logistisch	2,925	53,867	0,001		142,727	41,576	41,826	
Bertalanffy	0,073	0,007	1207,058		132,673	34,272	34,522	
Parks	269,942	267,722	3,90E-04	8,51E-06	134,072	37,320	37,741	
zwei Lineare	1,305	0,219	-10,472	0,437	116,044	22,880	23,301	(1)

Auch im Jahr 2013 beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 54 Tagen. Mit einer AIC-Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem kubischen Modell von 10,868 ist das Modell zwei Lineare zu 99,57% wahrscheinlich und das kubische Modell zu 0,43%. Es folgt auf Platz drei das quadratische Modell.

### 7.2.2.8 Ferkel ohne Kümmerer 2007 bis 2013

Die Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 sind in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 (ohne Kümmerer), N=101

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,307				242,146	90,316	90,357	
linear	0,323	-1,053			213,571	79,634	79,756	
quadratisch	0,002	0,156	1,730		43,758	-78,482	-78,235	(2)
Parabel	0,003		4,663		181,453	63,173	63,296	
quadratisch/null	0,001	0,224			79,209	-20,546	-20,424	
kubisch	1,91E-06	0,001	0,164	1,710	43,463	-77,163	-76,747	(3)
exponentiell	4,517	0,021			231,486	87,769	87,892	
beschränkt exp.	414,611	415,828	0,001		241,210	93,925	94,173	
logistisch	2,894	48,124	0,001		64,970	-38,560	-38,313	
Bertalanffy	0,072	0,007	1207,060		56,599	-52,491	-52,244	
Parks	437,482	435,920	3,73E-04	3,90E-06	45,309	-72,962	-72,545	
zwei Lineare	1,031	0,242	-8,644	0,422	38,000	-90,731	-90,314	(1)

Insgesamt beschreibt das Modell zwei Lineare die Gewichtszunahmen der Ferkel aus den Jahren 2007 bis 2013 am besten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells zwei Lineare liegt bei 53,74 Tagen. Es folgen das quadratische Modell auf Platz zwei und das kubische Modell auf Platz drei. Die AIC Differenz zwischen dem Modell zwei Lineare und dem quadratischen Modell beträgt 12,248. Somit hat das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 99,78% und das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 0,22%. Das Modell zwei Lineare ist somit 453-mal wahrscheinlicher als das quadratische Modell.

In Abbildung 28 sind die Gewichtsmittelwerte der Ferkel ohne Kümmerer und das Modell zwei Lineare dargestellt.

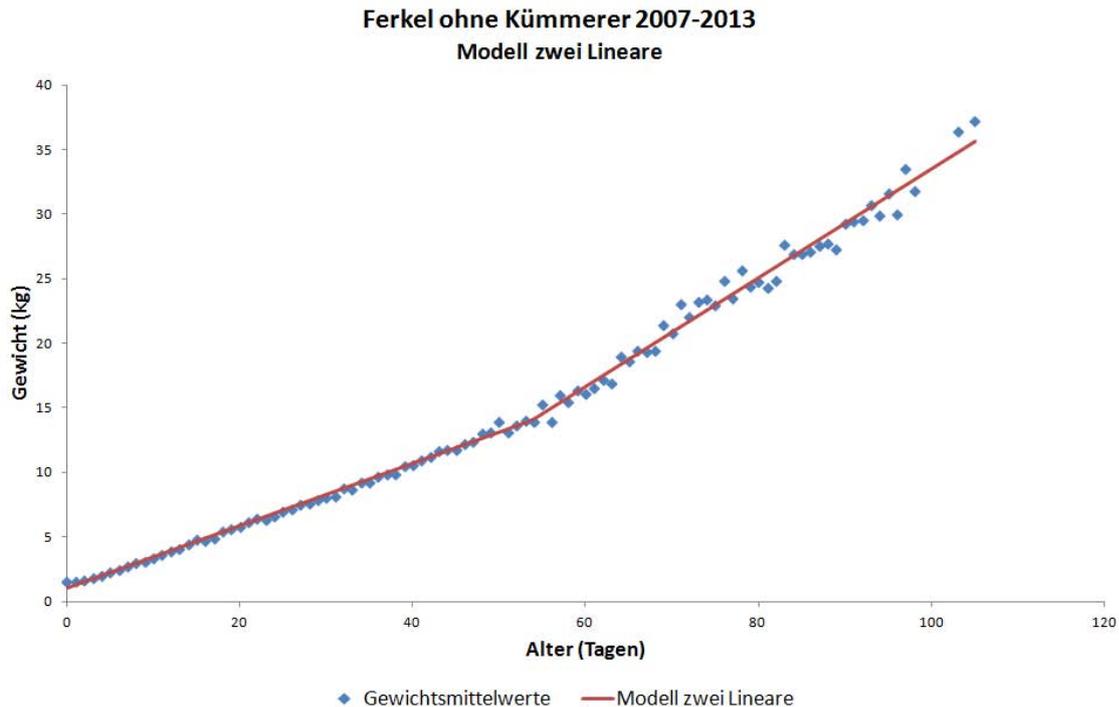


Abbildung 28: Gewichtsmittelwerte der Ferkel ohne Kümmerer 2007-2013 und das Modell zwei Lineare

### 7.2.3 Ferkel bis zum Absetzen

In den folgenden Abschnitten 7.2.3.1 und 7.2.3.2 sind die Auswertungen der Daten der Ferkel bis zum Absetzen beschrieben. Um die Auswertungen einheitlich zu halten, wurden für diese Auswertungen die Daten bis einschließlich Lebenstag 40 berücksichtigt.

#### 7.2.3.1 Ferkel Gesamtliste bis zum Absetzen 2007 bis 2013

Die Ergebnisse der Daten bis einschließlich Lebenstag 40 der Ferkel aus den Jahren 2007 bis 2013 sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 30: Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 (Gesamtliste) bis zum Absetzen, N=41

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,276				13,773	-42,725	-42,622	
linear	0,235	1,105			0,789	-157,983	-157,667	
quadratisch	4,85E-04	0,215	1,231		0,638	-164,683	-164,035	(3)
Parabel	0,006		2,821		18,031	-29,680	-29,364	
quadratisch/null	-0,002	0,337			8,240	-61,786	-61,470	
kubisch	-2,40E-05	1,91E-03	0,193	1,296	0,605	-164,845	-163,734	(2)
exponentiell	2,423	0,039			11,333	-48,721	-48,405	
beschränkt exp.	414,932	413,842	5,74E-04		0,834	-153,713	-153,065	
logistisch	1,658	12,685	6,65E-03		1,351	-133,917	-133,268	
Bertalanffy	0,217	7,82E-02	78,433		0,623	-165,683	-165,034	(1)
Parks	230,359	229,125	9,38E-04	2,69E-06	0,636	-162,792	-161,681	
zwei Lineare	1,150	0,231	0,397	0,256	0,697	-159,061	-157,950	

Insgesamt beschreibt das Modell von Bertalanffy die Gewichtszunahmen der Ferkel bis zum Absetzen aus den Jahren 2007 bis 2013 am besten. Es folgen das kubische Modell auf Platz zwei und das quadratische Modell auf Platz drei. Die AIC Differenz zwischen dem Modell von Bertalanffy und dem kubischen Modell beträgt 0,837. Somit hat das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 60,32% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 39,68%. Das Modell von Bertalanffy ist somit 1,52-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell.

### 7.2.3.2 Ferkel ohne Kümmerer bis zum Absetzen 2007 bis 2013

In Tabelle 31 sind die Ergebnisse der Daten bis einschließlich Lebenstag 40 der Ferkel mit mindestens sechs Messungen aus den Jahren 2007 bis 2013 dargestellt.

Tabelle 31: Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2013 (ohne Kümmerer) bis zum Absetzen, N=41

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	0,276				14,963	-39,327	-39,224	
linear	0,233	1,158			0,720	-161,735	-161,419	
quadratisch	4,31E-04	0,216	1,270		0,601	-167,144	-166,495	(1)
Parabel	0,005		2,866		18,133	-29,450	-29,134	
quadratisch/null	-0,002	0,342			8,683	-59,640	-59,324	
kubisch	-2,05E-05	0,002	0,197	1,324	0,578	-166,745	-165,634	(3)
exponentiell	2,458	0,038			11,179	-49,280	-48,964	
beschränkt exp.	415,774	414,631	0,001		0,759	-157,537	-156,888	
logistisch	1,694	12,676	0,007		1,345	-134,095	-133,446	
Bertalanffy	0,217	0,078	78,590		0,604	-166,954	-166,306	(2)
Parks	162,888	161,613	1,33E-03	3,90E-06	0,599	-165,279	-164,168	
zwei Lineare	1,197	0,230	0,433	0,255	0,640	-162,536	-161,424	

Bei den Daten der Ferkel bis zum Absetzen den Jahren 2007 bis 2013 geht die Entscheidung knapp zugunsten des quadratischen Modells aus, das Modell von Bertalanffy folgt vor dem kubischen Modell. Die AIC Differenz zwischen dem quadratischen Modell und dem Modell von Bertalanffy beträgt 0,189, somit hat das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 52,37% und das Modell von Bertalanffy eine Wahrscheinlichkeit von 47,63%.

### 7.3 Schweine

In den Abschnitten 7.3.1 bis 7.3.5 werden die Ergebnisse der Auswertungen der einzelnen Versuche beschrieben, im Abschnitt 7.3.6 die Ergebnisse der Gesamtliste aller Schweine aus allen fünf Versuchen und in den Abschnitten 7.3.7 und 7.3.8 die Ergebnisse der Auswertungen nach Geschlecht getrennt.

Die Modellauswahl erfolgt bei den Mastschweinen aufgrund der AIC<sub>c</sub>-Werte.

#### 7.3.1 Mastschweine - Versuch 1

In Tabelle 32 sind die Ergebnisse des ersten Versuchs dargestellt.

Tabelle 32: Ergebnisse Mastschweine Versuch 1, N=13

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	3,816				897,145	57,045	57,409	
linear	5,981	-42,426			10,793	1,581	2,781	
quadratisch	-0,020	6,742	-49,316		9,963	2,541	5,207	
Parabel	0,157		12,253		73,577	26,534	27,734	
quadratisch/null	0,119	1,396			50,391	21,613	22,813	
kubisch	-0,020	1,124	-14,334	76,889	2,085	-15,792	-10,792	(2)
exponentiell	14,068	0,083			158,658	36,523	37,723	
beschränkt exp.	503,529	561,237	0,014		10,993	3,820	6,487	
logistisch	4,217	137,790	1,35E-03		2,630	-14,772	-12,105	(1)
Bertalanffy	1,194	0,202	-3,624		5,988	-4,079	-1,412	
Parks	242,525	276,774	0,015	5,20E-04	8,556	2,562	7,562	
Richards	167,380	0,511	1,349	0,078	4,275	-6,457	-1,457	(3)
zwei Lineare	12,489	1,799	-43,530	6,033	8,978	3,187	8,187	

In Versuch 1 beschreibt das logistische Modell die Gewichtszunahmen der Mastschweine am besten. Das zweitbeste Modell ist das kubische, gefolgt vom Modell von Richards. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,85% ist das logistische Modell 1,92-mal wahrscheinlicher als das kubische Modell, das eine Wahrscheinlichkeit von 34,15% aufweist.

### 7.3.2 Mastschweine - Versuch 2

Die Ergebnisse des zweiten Versuchs sind in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33: Ergebnisse Mastschweine Versuch 2, N=13

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	3,488				621,449	52,272	52,636	
linear	5,277	-33,597			13,669	4,652	5,852	
quadratisch	0,049	3,516	-18,429		8,891	1,061	3,728	
Parabel	0,146		12,125		27,856	13,907	15,107	
quadratisch/null	0,106	1,419			15,720	6,470	7,670	
kubisch	-0,020	1,137	-15,572	90,099	1,070	-24,468	-19,468	(2)
exponentiell	12,715	0,085			74,853	26,758	27,958	
beschränkt exp.	612,322	654,024	0,010		19,947	11,566	14,232	
logistisch	5,372	136,380	1,21E-03		2,615	-14,845	-12,179	(3)
Bertalanffy	0,858	0,130	6,446		6,352	-3,310	-0,643	
Parks	246,592	250,164	0,004	6,83E-04	6,755	-0,510	4,490	
Richards	105,513	5891,751	0,113	3,411	0,967	-25,777	-20,777	(1)
zwei Lineare	-8,248	3,359	-37,090	5,448	4,180	-6,751	-1,751	

Das Modell von Richards mit einem  $AIC_C$  von -20,777 beschreibt in Versuch 2 die Gewichtszunahmen der Mastschweine am besten. Das zweitbeste Modell ist das kubische mit einem  $AIC_C$  von -19,468 gefolgt vom logistischen Modell. Durch die  $AIC_C$ -Differenz von 1,309 ergibt sich für das Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 65,81% und für das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 34,19%.

### 7.3.3 Mastschweine - Versuch 3

In Tabelle 34 sind die Ergebnisse des dritten Versuchs dargestellt.

Tabelle 34: Ergebnisse Mastschweine Versuch 3, N=13

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	$AIC_C$	
proportional	3,791				1046,840	59,052	59,415	
linear	6,133	-45,901			9,337	-0,302	0,898	
quadratisch	-0,013	6,631	-50,408		8,983	1,195	3,862	
Parabel	0,161		10,150		70,471	25,973	27,173	
quadratisch/null	0,129	1,166			51,172	21,813	23,013	
kubisch	-0,021	1,166	-15,091	79,635	1,065	-24,528	-19,528	(2)
exponentiell	13,190	0,086			166,773	37,172	38,372	
beschränkt exp.	911,271	965,139	0,007		9,191	1,492	4,159	
logistisch	3,636	136,507	1,42E-03		1,285	-24,088	-21,421	(1)
Bertalanffy	1,200	0,201	-4,056		4,866	-6,776	-4,109	
Parks	242,470	276,490	0,014	5,77E-04	7,304	0,506	5,506	
Richards	131,646	73,667	0,174	1,254	1,201	-22,962	-17,962	(3)
zwei Lineare	-3,052	2,785	-45,900	6,133	9,337	3,698	8,698	

In Versuch 3 beschreibt das logistische Modell die Gewichtszunahmen der Mastschweine am besten, gefolgt vom kubischen Modell und dem Modell von Richards. Das logistische Modell hat eine Wahrscheinlichkeit von 72,04% und das quadratische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 27,96%.

### 7.3.4 Mastschweine - Versuch 4

Die Ergebnisse des vierten Versuchs sind in Tabelle 35 dargestellt.

Tabelle 35: Ergebnisse Mastschweine Versuch 4, N=13

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	3,481				1034,076	58,892	59,256
linear	5,777	-43,110			33,340	16,243	17,443
quadratisch	0,115	1,627	-7,376		6,742	-2,536	0,131
Parabel	0,160		6,761		10,797	1,586	2,786
quadratisch/null	0,138	0,787			7,834	-2,584	-1,384
kubisch	-0,016	0,961	-13,191	76,798	1,702	-18,432	-13,432 (1)
exponentiell	10,496	0,094			61,370	24,176	25,376
beschränkt exp.	1131,392	1179,331	0,005		41,026	20,940	23,607
logistisch	5,011	161,134	9,98E-04		2,907	-13,471	-10,804 (2)
Bertalanffy	0,718	0,085	15,578		5,348	-5,547	-2,880 (3)
Parks	272,649	261,096	-0,005	9,11E-04	4,276	-6,454	-1,454
Richards	114,273	11680,022	0,118	3,401	4,091	-7,030	-2,030
zwei Lineare	-0,042	2,524	-49,248	6,077	4,396	-6,096	-1,096

In Versuch 4 beschreibt das kubische Modell die Gewichtszunahmen der Mastschweine am besten. Mit einer AIC<sub>C</sub>-Differenz zwischen dem kubischen Modell und dem logistischen Modell von 2,627 ist das kubische Modell zu 78,81% wahrscheinlich und das logistische Modell zu 21,19%. Es folgt auf Platz drei das Modell von Bertalanffy.

### 7.3.5 Mastschweine - Versuch 5

In Tabelle 36 sind die Ergebnisse des fünften Versuchs dargestellt.

Tabelle 36: Ergebnisse Mastschweine Versuch 5, N=14

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	3,763				514,064	52,446	52,779
linear	5,227	-29,568			5,323	-9,539	-8,448
quadratisch	-0,035	6,571	-42,012		1,803	-22,694	-20,294
Parabel	0,134		19,386		85,022	29,254	30,345
quadratisch/null	0,078	2,125			40,338	18,815	19,906
kubisch	-0,004	0,218	1,812	-12,935	1,160	-26,863	-22,419 (2)
exponentiell	17,323	0,071			144,552	36,684	37,775
beschränkt exp.	418,870	463,929	0,015		1,924	-21,782	-19,382
logistisch	6,020	134,982	1,22E-03		2,886	-16,108	-13,708
Bertalanffy	1,109	0,193	-0,994		1,232	-28,021	-25,621 (1)
Parks	240,161	278,203	0,021	2,66E-04	1,665	-21,806	-17,361
Richards	163,918	0,112	4,052	0,023	1,315	-25,114	-20,670 (3)
zwei Lineare	-29,568	0,747	-29,568	5,227	5,323	-5,539	-1,094

Mit einem AIC<sub>C</sub> von -25,621 beschreibt das Modell von Bertalanffy die Gewichtszunahmen der Mastschweine in Versuch 5 am besten, gefolgt vom

kubischen Modell und dem Modell von Richards. Das Modell von Bertalanffy hat eine Wahrscheinlichkeit von 83,21% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 16,79%.

### 7.3.6 Mastschweine Gesamtliste

Die Ergebnisse der Gesamtliste aller fünf Versuche sind in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Ergebnisse Mastschweine Gesamtliste (Versuche 1-5), N=14

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>	
proportional	3,591				939,805	60,893	61,226	
linear	5,556	-38,083			19,467	8,615	9,706	
quadratisch	0,042	4,010	-24,461		14,400	6,395	8,795	
Parabel	0,149		11,234		48,339	21,348	22,439	
quadratisch/null	0,114	1,297			30,147	14,738	15,829	
kubisch	-0,020	1,151	-15,938	91,397	0,642	-35,151	-30,706	(1)
exponentiell	12,871	0,084			130,667	35,270	36,361	
beschränkt exp.	710,376	756,503	0,009		27,024	15,207	17,607	
logistisch	4,823	139,880	1,22E-03		2,902	-16,034	-13,634	(3)
Bertalanffy	0,926	0,143	3,289		9,321	0,305	2,705	
Parks	202,226	202,233	0,000	1,11E-03	8,767	1,447	5,891	
Richards	111,850	5612,612	0,117	3,239	2,171	-18,097	-13,653	(2)
zwei Lineare	-6,360	3,163	-41,980	5,741	4,181	-8,919	-4,475	

Insgesamt beschreibt das kubische Modell die Gewichtszunahmen der Mastschweine aus den Versuchen 1 bis 5 am besten. Es folgen das Modell von Richards auf Platz zwei und das logistische Modell auf Platz drei. Die AIC<sub>C</sub> Differenz zwischen dem kubischen Modell und dem Modell von Richards beträgt 17,053. Somit hat das Modell zwei Lineare eine Wahrscheinlichkeit von 99,98% und das Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 0,02%.

Die Gewichtsmittelwerte der Mastschweine und das kubische Modell sind in Abbildung 29 graphisch dargestellt.

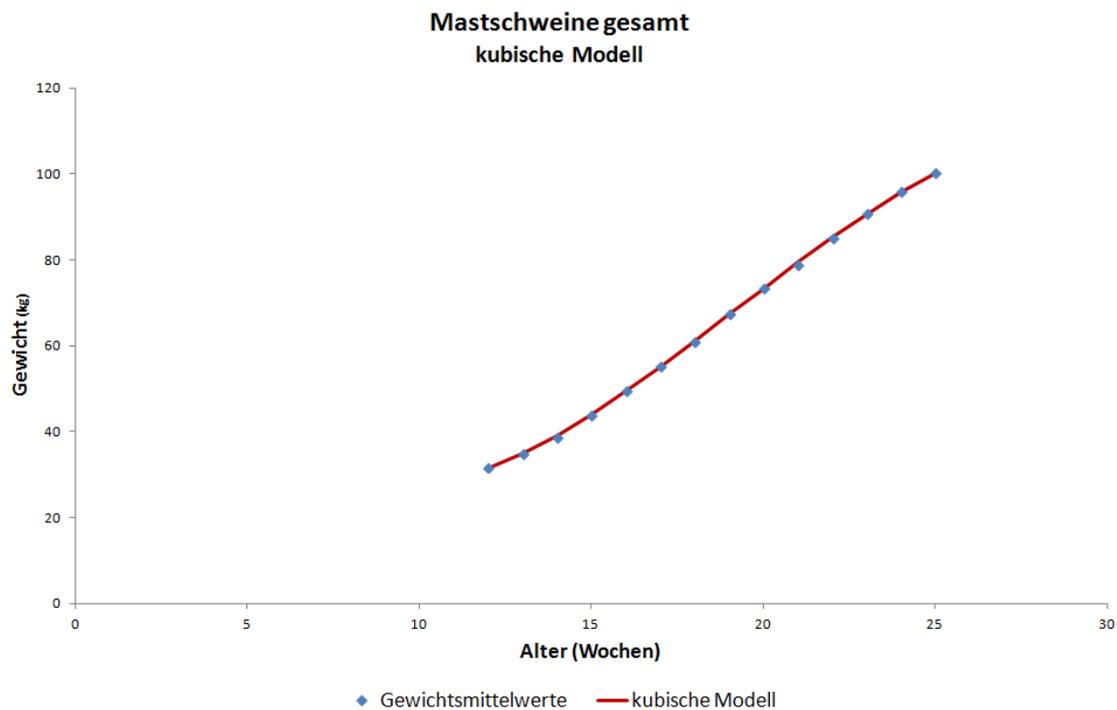


Abbildung 29: Gewichtsmittelwerte der Mastschweine und das kubische Modell

### 7.3.7 Männliche Mastschweine

In Tabelle 38 sind die Ergebnisse der Daten der männlichen Mastschweine dargestellt.

Tabelle 38: Ergebnisse männliche Mastschweine, N=13

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	3,703				843,310	56,241	56,605
linear	5,802	-41,435			10,054	0,660	1,860
quadratisch	-0,016	6,424	-47,119		9,505	1,930	4,596
Parabel	0,151		12,025		66,417	25,203	26,403
quadratisch/null	0,115	1,356			45,294	20,227	21,427
kubisch	-0,021	1,199	-16,161	89,268	0,674	-30,472	-25,472 (1)
exponentiell	13,760	0,082			144,858	35,340	36,540
beschränkt exp.	512,592	568,216	0,013		10,559	3,297	5,963
logistisch	4,117	134,533	1,37E-03		1,444	-22,570	-19,903 (2)
Bertalanffy	1,165	0,198	-3,202		5,574	-5,009	-2,343
Parks	242,297	276,514	0,015	4,81E-04	8,133	1,903	6,903
Richards	168,775	0,120	4,799	0,021	3,991	-7,353	-2,353 (3)
zwei Lineare	-29,568	0,747	-41,435	5,802	10,054	4,660	9,660

Das kubische Modell mit einem AIC<sub>C</sub> von -25,472 beschreibt die Gewichtsverläufe der männlichen Mastschweine insgesamt deutlich am besten. Das zweitbeste Modell ist das logistische mit einem AIC von -19,903 gefolgt vom Modell von Richards. Durch die AIC<sub>C</sub>-Differenz von 5,569 ergibt sich für das kubische Modell eine

Wahrscheinlichkeit von 94,18% und für das logistische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 5,82%.

### 7.3.8 Weibliche Mastschweine

Die Ergebnisse der Daten der weiblichen Mastschweine sind in Tabelle 39 dargestellt.

Tabelle 39: Ergebnisse weibliche Mastschweine, N=14

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	3,552				876,833	59,922	60,255	
linear	5,464	-38,866			10,111	-0,557	0,534	
quadratisch	0,022	4,592	-30,732		8,669	-0,710	1,690	
Parabel	0,139		12,521		48,775	21,474	22,565	
quadratisch/null	0,104	1,365			28,706	14,053	15,144	
kubisch	-0,016	0,937	-12,813	76,646	0,880	-30,739	-26,295	(1)
exponentiell	13,747	0,079			123,758	34,510	35,601	
beschränkt exp.	631,338	680,307	0,010		15,667	7,575	9,975	
logistisch	5,076	142,405	1,15E-03		1,413	-26,103	-23,703	(2)
Bertalanffy	0,943	0,149	2,412		5,140	-8,028	-5,628	
Parks	251,984	267,233	0,008	5,64E-04	6,480	-2,784	1,660	
Richards	193,997	0,122	3,378	0,024	3,703	-10,619	-6,175	(3)
zwei Lineare	-11,004	3,478	-41,304	5,574	3,793	-10,281	-5,836	

Auch die Gewichtszunahmen der weiblichen Mastschweine werden insgesamt durch das kubische Modell am besten beschrieben. Mit einer AIC-Differenz zwischen dem kubischen und dem logistischen Modell von 2,592 ist das kubische Modell zu 78,51% wahrscheinlich und das logistische Modell zu 21,49%. Es folgt ebenso wie bei den männlichen Mastschweinen auf Platz drei das Modell von Richards.

## 7.4 Rinder

Im Abschnitt 7.4.1 sind die Ergebnisse der Daten der Fleckviehtiere dargestellt, im Abschnitt 7.4.2 die Ergebnisse der Daten der Braunviehtiere und im Abschnitt 7.4.3 die Ergebnisse der Stiere der Rasse Charolais.

Die Modellauswahl erfolgt sowohl bei den Fleckvieh- als auch bei den Braunviehtieren aufgrund der AIC-Werte, bei den Stieren der Rasse Charolais aufgrund der AIC<sub>C</sub>-Werte.

### 7.4.1 Stiere der Rasse Fleckvieh

#### 7.4.1.1 Fleckvieh gesamt

In Tabelle 40 sind die Ergebnisse der Auswertung der Daten aller Fleckviehtiere dargestellt.

Tabelle 40: Ergebnisse Fleckvieh gesamt, N=485

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	1,448				218760,75	2966,119	2966,127
linear	1,364	28,062			131865,34	2722,613	2722,638
quadratisch	-1,71E-04	1,452	20,033		127502,09	2708,293	2708,343
Parabel	0,002		165,686		1243911,93	3811,067	3811,092
quadratisch/null	-4,35E-04	1,612			144340,19	2766,453	2766,478
kubisch	-5,67E-06	0,004	0,527	65,310	58029,14	2328,508	2328,591 (2)
exponentiell	144,998	0,003			1086946,42	3745,646	3745,671
beschränkt exp.	5537,142	5517,041	2,64E-04		127954,31	2710,011	2710,061
logistisch	75,857	757,775	1,13E-05		66442,02	2392,169	2392,219
Bertalanffy	0,097	0,010	874,477		74980,31	2450,804	2450,853
Parks	806,498	742,546	7,30E-04	5,66E-06	59335,52	2339,305	2339,388 (3)
Richards	836,810	1,315	1,83E-02	3,23E-01	15971,79	1575,406	1575,500 (1)
zwei Lineare	55,904	0,964	19,806	1,388	119095,99	2677,215	2677,298

Insgesamt beschreibt das Modell von Richards die Gewichtszunahmen der Fleckviehtiere am besten. Es folgen das kubische Modell auf Platz zwei und das Modell von Parks auf Platz drei. Die AIC Differenz zwischen dem Modell von Richards und dem kubischen Modell beträgt 753,101. Somit hat das Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 100% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 0%.

In Abbildung 30 sind die Gewichtsmittelwerte der Fleckviehtiere und das Modell von Richards dargestellt.

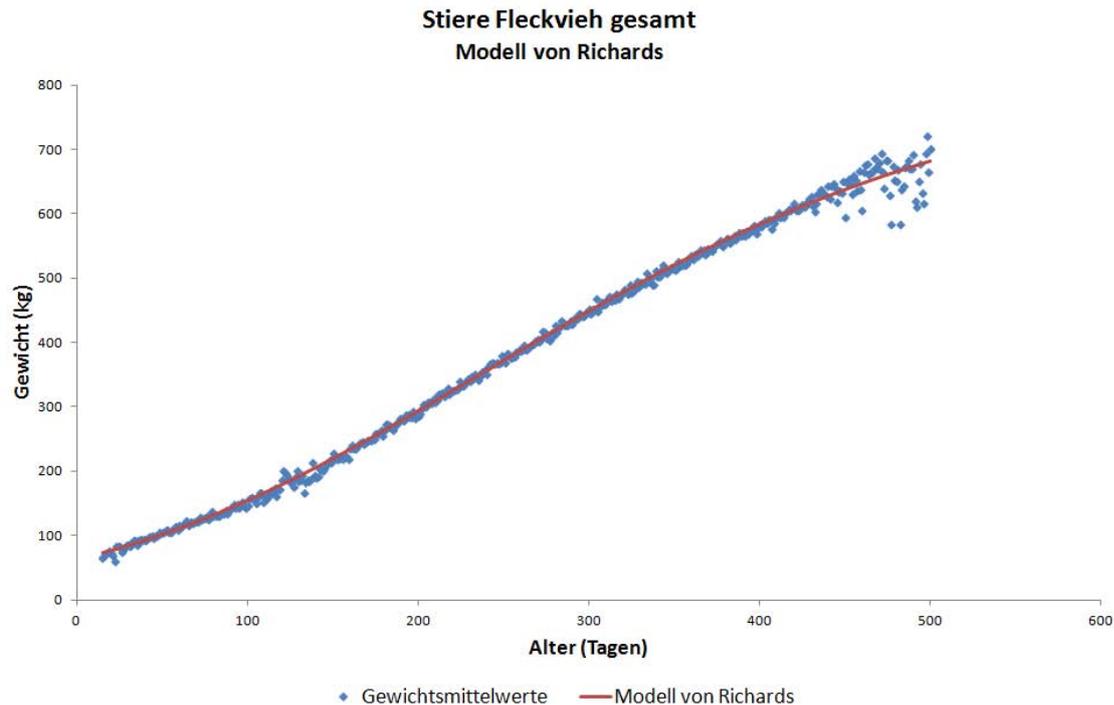


Abbildung 30: Gewichtsmittelwerte der Fleckviehstiere und das Modell von Richards

#### 7.4.1.2 Fleckvieh bis Lebenstag 420

Die Ergebnisse der Daten der Fleckviehstiere bis Lebenstag 420 sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Ergebnisse Fleckvieh bis Lebenstag 420, N=405

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	1,481				88696,81	2184,582	2184,592
linear	1,405	21,113			48362,61	1940,951	1940,981
quadratisch	4,30E-04	1,218	35,672		37193,14	1836,597	1836,657
Parabel	0,003		139,515		484624,64	2874,333	2874,363
quadratisch/null	-2,36E-04	1,555			79608,94	2142,803	2142,833
kubisch	-5,71E-06	0,004	0,527	65,310	12549,41	1398,585	1398,685 (3)
exponentiell	120,786	0,004			429665,84	2825,585	2825,615
beschränkt exp.	6657,783	6641,334	2,22E-04		58046,95	2016,874	2016,934
logistisch	75,857	757,775	1,13E-05		21029,56	1605,668	1605,728
Bertalanffy	0,088	0,008	1039,460		18105,33	1545,030	1545,090
Parks	810,496	745,286	7,04E-04	5,66E-06	11996,29	1380,329	1380,429 (2)
Richards	803,978	1,879	1,54E-02	4,16E-01	11624,54	1367,579	1367,679 (1)
zwei Lineare	55,850	0,964	1,218	1,472	17337,85	1529,488	1529,588

Bei Betrachtung der Daten der Fleckviehstiere bis Lebenstag 420 beschreibt auch das Modell von Richards die Gewichtszunahmen der Stiere am besten. Das Modell von Parks folgt auf Rang zwei gefolgt vom kubischen Modell. Die AIC-Differenz zwischen dem Modell von Richards und dem von Parks beträgt 12,75, somit hat das

Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 99,83% und das Modell von Parks eine Wahrscheinlichkeit von 0,17%.

Die Gewichtsmittelwerte der Fleckviehstiere bis Lebenstag 420 und das Modell von Richards sind in Abbildung 31 dargestellt.

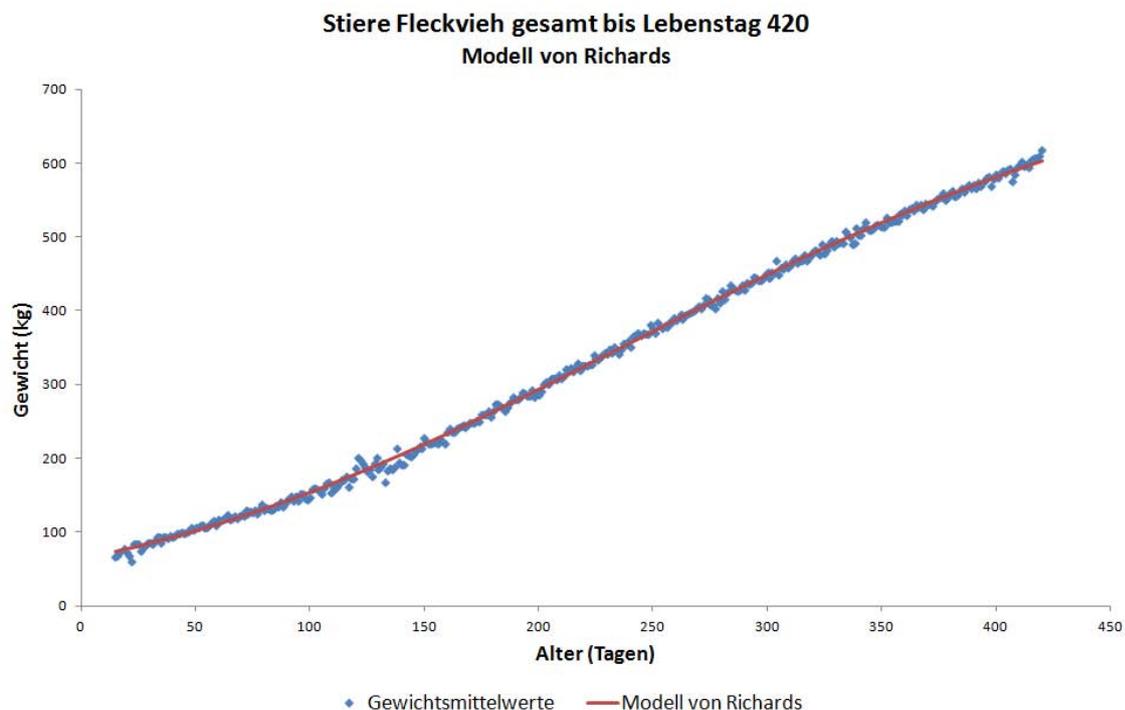


Abbildung 31: Gewichtsmittelwerte der Fleckviehstiere bis Lebenstag 420 und das Modell von Richards

### 7.4.1.3 Fleckvieh mit mindestens sechs Messungen

In Tabelle 42 sind die Ergebnisse der Auswertung der Daten der Fleckviehstiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind dargestellt.

Tabelle 42: Ergebnisse Fleckvieh mit mindestens 6 Messungen, N=485

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>
proportional	1,456				155974,24	2802,049	2802,057
linear	1,380	25,468			84398,31	2506,190	2506,214
quadratisch	-5,61E-05	1,409	22,835		83928,83	2505,484	2505,534
Parabel	0,003		164,122		1134422,37	3766,380	3766,405
quadratisch/null	-3,58E-04	1,590			105805,54	2615,827	2615,851
kubisch	-5,61E-06	0,004	0,527	65,310	34401,08	2074,922	2075,005 (3)
exponentiell	143,652	0,003			992129,20	3701,378	3701,403
beschränkt exp.	5537,142	5517,041	2,66E-04		87855,83	2527,662	2527,712
logistisch	74,444	763,188	1,13E-05		42737,49	2178,161	2178,211
Bertalanffy	0,093	0,009	935,724		39960,93	2145,582	2145,632
Parks	818,990	751,544	6,44E-04	5,72E-06	30520,30	2016,869	2016,953 (2)
Richards	874,869	0,830	2,38E-02	2,27E-01	15128,64	1676,495	1676,579 (1)
zwei Lineare	56,679	0,944	15,572	1,408	67180,89	2399,533	2399,616

Mit einem AIC von 1676,495 beschreibt das Modell von Richards die Gewichtszunahmen der Stiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind am besten, gefolgt vom Modell von Parks mit einem AIC von 2016,869 und dem kubischen Modell. Das Modell von Richards hat eine Wahrscheinlichkeit von 100% und das Modell von Parks eine Wahrscheinlichkeit von 0%.

#### 7.4.1.4 Fleckvieh mit mindestens sechs Messungen und bis Lebenstag 420

Die Ergebnisse der Fleckviehtiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind bis Lebenstag 420 sind in Tabelle 43 dargestellt.

Tabelle 43: Ergebnisse Fleckvieh mit mindestens 6 Messungen und bis Lebenstag 420, N=405

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>
proportional	1,482				88945,15	2185,715	2185,725
linear	1,407	20,834			49671,01	1951,762	1951,792
quadratisch	4,32E-04	1,219	35,465		38393,27	1849,459	1849,519
Parabel	0,003		139,399		486630,73	2876,006	2876,036
quadratisch/null	-2,30E-04	1,554			80312,95	2146,369	2146,398
kubisch	-5,70E-06	0,004	0,527	65,310	13224,49	1419,805	1419,905 (3)
exponentiell	120,734	0,004			432643,75	2828,382	2828,412
beschränkt exp.	6762,431	6746,540	2,19E-04		59233,84	2025,071	2025,131
logistisch	74,444	763,188	1,13E-05		22953,89	1641,129	1641,189
Bertalanffy	0,088	0,008	1038,615		18928,48	1563,037	1563,097
Parks	809,779	744,523	6,98E-04	5,70E-06	12578,68	1399,528	1399,628 (2)
Richards	801,028	1,968	1,52E-02	4,28E-01	12206,72	1387,371	1387,471 (1)
zwei Lineare	55,977	0,960	0,830	1,475	18107,34	1547,075	1547,175

Die Gewichtszunahmen bis Lebenstag 420 der Fleckviehtiere mit mindestens sechs Messungen beschreibt ebenfalls das Modell von Richards am besten. Das zweitbeste Modell ist das von Parks, gefolgt vom kubischen Modell. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,77% ist das Modell von Richards 436,32-mal wahrscheinlicher als das Modell von Parks, das eine Wahrscheinlichkeit von 0,23% aufweist.

## 7.4.2 Stiere der Rasse Braunvieh

### 7.4.2.1 Braunvieh gesamt

Die Ergebnisse der Auswertung der Daten aller Braunviehtiere sind in Tabelle 44 dargestellt.

Tabelle 44: Ergebnisse Braunvieh gesamt, N=435

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>
proportional	1,368				290732,71	2831,594	2831,603
linear	1,280	27,852			221226,49	2714,744	2714,772
quadratisch	-1,09E-04	1,335	22,765		220045,57	2714,416	2714,472
Parabel	2,41E-03		157,747		883906,99	3317,291	3317,319
quadratisch/null	-4,33E-04	1,521			235714,70	2742,339	2742,366
kubisch	-5,04E-06	0,004	0,527	64,904	184437,24	2639,628	2639,721 (2)
exponentiell	134,961	0,003			785910,56	3266,175	3266,203
beschränkt exp.	5530,885	5510,259	2,47E-04		220467,06	2715,249	2715,304
logistisch	69,264	677,503	1,32E-05		188393,93	2646,861	2646,916
Bertalanffy	0,092	9,12E-03	933,578		193755,06	2659,067	2659,122
Parks	730,904	660,977	6,33E-04	6,30E-06	184935,26	2640,801	2640,894 (3)
Richards	748,116	2,363	1,32E-02	4,96E-01	184292,85	2639,287	2639,380 (1)
zwei Lineare	52,513	0,969	20,868	1,301	214052,49	2704,404	2704,497

Auch die Gewichtszunahmen der Braunviehtiere beschreibt das Modell von Richards am besten. Ebenso wie beim Fleckvieh folgen das kubische Modell auf Platz zwei und das Modell von Parks auf Platz drei. Die AIC Differenz zwischen dem Modell von Richards und dem kubischen Modell beträgt hier jedoch lediglich 0,341. Somit hat das Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 54,25% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 45,75%.

In Abbildung 32 sind die Gewichtsmittelwerte der Braunviehtiere und das Modell von Richards dargestellt.

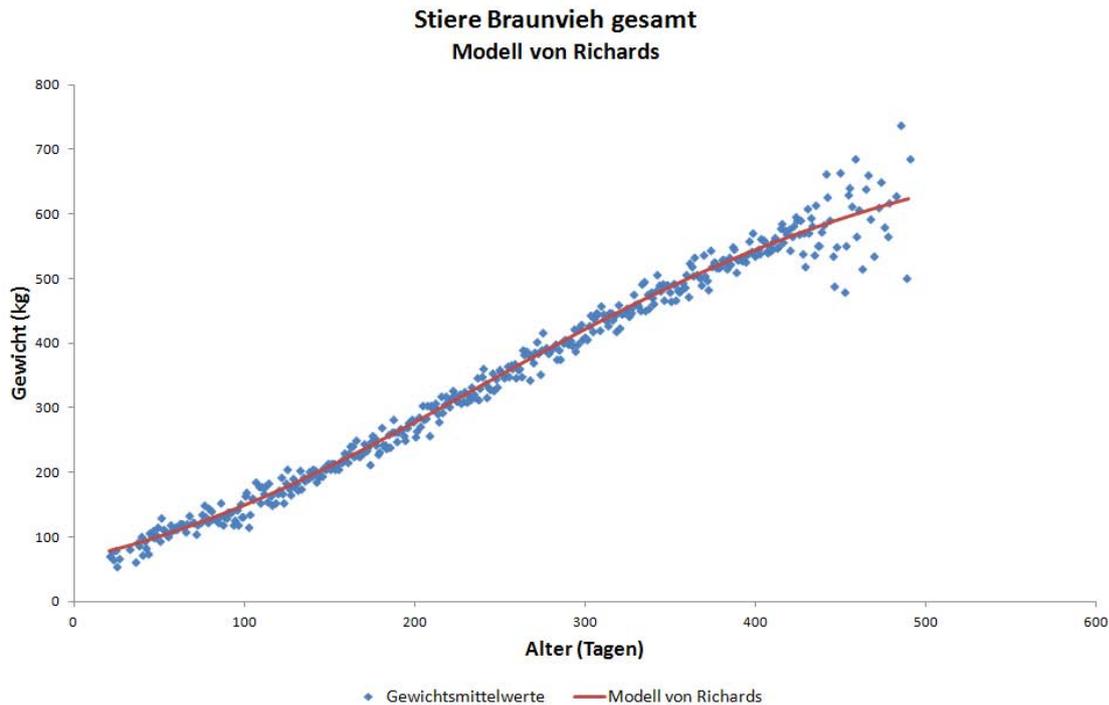


Abbildung 32: Gewichtsmittelwerte der Braunviehstiere und das Modell von Richards

#### 7.4.2.2 Braunvieh bis Lebenstag 410

Die Ergebnisse der Daten der Braunviehstiere bis Lebenstag 410 sind in Tabelle 45 dargestellt.

Tabelle 45: Ergebnisse Braunvieh bis Lebenstag 410, N=377

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>C</sub>
proportional	1,393				116210,00	2162,553	2162,563
linear	1,312	22,262			79035,61	2019,219	2019,251
quadratisch	4,11E-04	1,132	37,051		71280,70	1982,285	1982,349
Parabel	2,86E-03		137,677		361698,69	2592,603	2592,635
quadratisch/null	-2,88E-04	1,482			104331,45	2123,902	2123,934
kubisch	-5,04E-06	3,70E-03	0,527	64,904	60379,96	1921,715	1921,823 (2)
exponentiell	116,156	4,06E-03			316695,20	2542,511	2542,543
beschränkt exp.	5530,885	5510,259	2,48E-04		87713,01	2060,492	2060,556
logistisch	70,499	674,121	1,32E-05		62225,55	1931,066	1931,130
Bertalanffy	0,083	7,75E-03	1134,050		62731,38	1934,118	1934,183
Parks	734,025	663,160	6,11E-04	6,30E-06	60910,34	1925,012	1925,120 (3)
Richards	794,597	1,317	0,017	3,32E-01	60211,57	1920,662	1920,770 (1)
zwei Lineare	51,577	0,984	6,086	1,367	62529,92	1934,906	1935,013

Die Gewichtszunahmen bis Lebenstag 410 der Braunviehstiere beschreibt auch das Modell von Richards am besten. Das kubische Modell folgt auf Rang zwei gefolgt vom Modell von Parks. Die AIC-Differenz zwischen dem Modell von Richards und

dem kubischen Modell beträgt 1,05, somit hat das Modell von Richards eine Wahrscheinlichkeit von 62,86% und das kubische Modell eine Wahrscheinlichkeit von 37,14%.

Die Gewichtsmittelwerte der Braunviehstiere bis Lebensstag 410 und das Modell von Richards sind in Abbildung 33 dargestellt.

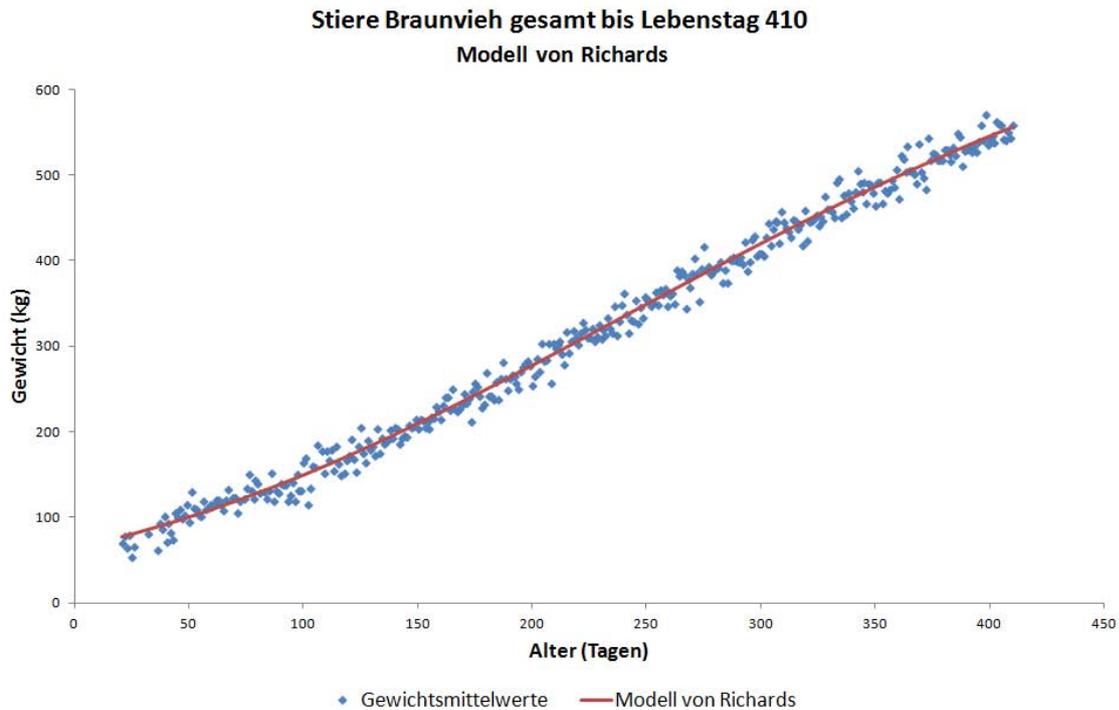


Abbildung 33: Gewichtsmittelwerte der Braunviehstiere bis Lebensstag 410 und das Modell von Richards

#### 7.4.2.3 Braunvieh mit mindestens sechs Messungen

In Tabelle 46 sind die Ergebnisse der Auswertung der Daten der Braunviehstiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind dargestellt.

Tabelle 46: Ergebnisse Braunvieh mit mindestens 6 Messungen, N=434

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	1,353				282908,45	2814,248	2814,257	
linear	1,270	26,205			221638,76	2710,320	2710,348	
quadratisch	-7,92E-05	1,310	22,515		221017,53	2711,102	2711,157	
Parabel	0,002		155,020		860182,17	3298,865	3298,893	
quadratisch/null	-3,99E-04	1,494			236322,05	2738,159	2738,187	
kubisch	-5,12E-06	0,004	0,527	64,904	192508,54	2653,165	2653,259	
exponentiell	132,742	0,003			767565,35	3249,424	3249,451	
beschränkt exp.	5530,885	5510,259	2,44E-04		221997,08	2713,021	2713,077	
logistisch	69,264	677,503	1,30E-05		193332,72	2653,020	2653,075	(3)
Bertalanffy	0,091	0,009	944,396		196411,38	2659,876	2659,932	
Parks	730,402	662,599	6,45E-04	6,12E-06	189230,57	2645,712	2645,805	(2)
Richards	759,636	1,715	1,53E-02	4,00E-01	188874,00	2644,893	2644,986	(1)
zwei Lineare	52,787	0,932	18,828	1,292	213531,98	2698,148	2698,241	

Mit einem AIC von 2644,893 beschreibt das Modell von Richards die Gewichtszunahmen der Stiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind am besten, gefolgt vom Modell von Parks mit einem AIC von 2645,712 und dem logistischen Modell. Das Modell von Richards hat eine Wahrscheinlichkeit von 60,09% und das Modell von Parks eine Wahrscheinlichkeit von 39,91%.

#### 7.4.2.4 Braunvieh mit mindestens sechs Messungen und bis Lebenstag 410

Die Ergebnisse der Daten bis Lebenstag 410 der Braunviehstiere von denen mindestens sechs Messungen vorhanden sind, sind in Tabelle 47 dargestellt.

Tabelle 47: Ergebnisse Braunvieh mit mindestens 6 Messungen und bis Lebenstag 410, N=376

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	1,376				114830,00	2153,329	2153,339	
linear	1,299	21,270			81036,38	2024,272	2024,304	
quadratisch	3,92E-04	1,127	35,359		73991,59	1992,076	1992,141	
Parabel	0,003		135,517		361743,05	2586,782	2586,814	
quadratisch/null	-2,75E-04	1,460			104071,31	2118,339	2118,371	
kubisch	-5,17E-06	0,004	0,527	64,904	63320,76	1935,519	1935,626	(3)
exponentiell	114,508	0,004			319137,56	2539,664	2539,697	
beschränkt exp.	5530,885	5510,259	2,45E-04		89788,58	2064,835	2064,899	
logistisch	69,264	677,503	1,30E-05		64040,64	1937,769	1937,834	
Bertalanffy	0,083	0,008	1107,637		64657,10	1941,371	1941,436	
Parks	730,911	662,984	6,42E-04	6,12E-06	61934,15	1927,193	1927,301	(2)
Richards	762,836	1,662	1,56E-02	3,91E-01	61592,95	1925,116	1925,224	(1)
zwei Lineare	51,046	0,964	4,976	1,354	64272,29	1941,127	1941,235	

Die Gewichtszunahmen bis Lebenstag 410 der Braunviehtiere mit mindestens sechs Messungen beschreibt ebenfalls das Modell von Richards am besten. Das zweitbeste Modell ist das von Parks, gefolgt vom kubischen Modell. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 73,86% ist das Modell von Richards 2,83-mal wahrscheinlicher als das Modell von Parks, das eine Wahrscheinlichkeit von 26,14% aufweist.

#### 7.4.3 Stiere der Rasse Charolais

Die Ergebnisse der Daten der Stiere der Rasse Charolais sind in Tabelle 48 dargestellt.

## 7 Ergebnisse

Tabelle 48: Ergebnisse Charolais, N=28

Modell	a	b	c	d	AbwQSumme	AIC	AIC <sub>c</sub>	
proportional	10,519				5849,98	151,576	151,730	(1)
linear	10,461	2,954			5843,64	153,545	154,025	(2)
quadratisch	1,52E-02	8,952	39,308		5822,08	155,442	156,442	
Parabel	1,05E-01		256,161		6597,76	156,944	157,424	
quadratisch/null	-8,72E-04	10,564			5846,76	153,560	154,040	(3)
kubisch	-5,03E-04	0,078	6,525	67,860	5797,13	157,322	159,061	
exponentiell	191,003	0,020			6638,60	157,117	157,597	
beschränkt exp.	5335,147	5360,088	2,17E-03		5889,08	155,762	156,762	
logistisch	125,454	1016,679	3,98E-05		6024,33	156,398	157,398	
Bertalanffy	0,209	5,83E-03	888,168		6017,27	156,365	157,365	
Parks	1384,048	1249,747	2,68E-03	9,62E-05	5767,05	157,176	158,915	
Richards	1562,019	0,099	5,40E-01	3,48E-02	5773,68	157,208	158,947	
zwei Lineare	2,954	10,461	-11,018	1,514	5843,64	157,545	159,284	

Die Gewichtszunahmen der Charolaisstiere werden durch das Modell proportional am besten beschrieben. Das zweitbeste Modell ist das lineare, gefolgt vom Modell quadratisch/null. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 75,91% ist das proportionale Modell 3,15-mal wahrscheinlicher als das lineare Modell, das eine Wahrscheinlichkeit von 24,09% aufweist.

## 8 Diskussion

Die Vergleiche der Modellfunktionen mit Hilfe des Informationskriteriums von Akaike zeigen in einigen Fällen, dass nicht zwangsläufig das Modell mit den meisten Parametern oder der kleinsten Abweichungsquadratsumme als das optimale Modell identifiziert wird. Zudem können nicht verwandte Modelle miteinander verglichen werden und die Wahrscheinlichkeiten jeweils zweier Modelle einander gegenüber gestellt werden. Daher ermöglicht der AIC einen umfassenden Vergleich verschiedenster Modelle. Die Untersuchung von dreizehn Modellen hat folgende vier optimale Modelle identifiziert: Bertalanffy, zwei lineare, Richards, und kubisch.

Das Modell von Bertalanffy hat die Gewichtszunahmen der Welpen und Ferkel in den ersten Lebenswochen bis zum Absetzen am besten beschrieben. In der Säugetierzeit findet in der Tieraufzucht die natürlichste Form der Ernährung statt. Sofern die Jungtiere beim Muttertier verbleiben werden sowohl die aufgenommene Milchmenge als auch die Häufigkeit des Säugens nicht vom Tieralter beeinflusst.

Das Modell von Bertalanffy berücksichtigt die physiologischen Vorgänge, die für das Wachstum verantwortlich sind. Wachstum wird als Konsequenz aus Aufbau- und Abbauprozessen im Körper dargestellt und findet statt solange der Aufbau den Abbau überwiegt. Da beim juvenilen Tier die aufgenommene Nahrung hauptsächlich dem extremen Wachstum dient und dadurch auch eine natürliche Grenze für das Wachstum darstellt, eignet sich diese Modellvorstellung besonders gut zur Beschreibung der Gewichtsentwicklung in dieser Lebensphase. Wachstum wird in diesem mathematischen Modell als biologischer Prozess verstanden, der bis zum Erreichen des Endgewichts im Erwachsenenalter stattfindet. In der Nutztierhaltung wird Tieren in der Mast jedoch mehr Energie zugeführt als für das natürliche Wachstum und die natürliche Gewichtszunahme vom Körper gebraucht wird, um möglichst hohe Gewichtszunahmen in kürzester Zeit zu erreichen. Ebenso werden die Tiere vor Erreichen des Endgewichts im Erwachsenenalter geschlachtet. Der Biologe Bertalanffy entwickelte sein Modell allerdings für Tiere aller Art unter natürlichen Lebens- und Ernährungsbedingungen, so dass dieses Modell für möglichst natürliche Bedingungen optimal zu sein scheint.

Bei den Auswertungen der unterschiedlichen Wurfgrößen zeigt in fünf von zehn Fällen ebenfalls das Modell von Bertalanffy die beste Anpassung, viermal das quadratische Modell und einmal das Modell zwei Lineare.

Das Modell zwei Lineare liefert bei den Welpen insgesamt die drittbeste Anpassung mit einem Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells bei 24,66 Tagen. Die Auswertungen der einzelnen Wurfgrößen liefern keinen einheitlichen Schnittpunkt der zwei Geraden. Die Bandbreite der Schnittpunkte reicht von 7,82 bis 41,58 Tagen. Welpen ernähren sich in den ersten zwei bis drei Lebenswochen ausschließlich von Muttermilch und beginnen dann zusätzlich zur Milch feste Nahrung aufzunehmen. In diesem Zusammenhang ist ein zwei lineares Modell denkbar, das die Nahrungsumstellung von ausschließlich Muttermilch zu Muttermilch und zusätzlich fester Nahrung beschreibt. Eine mögliche Erklärung für die großen Differenzen der Schnittpunkte in diesem Fall ist, dass die Welpen bei unterschiedlichen Züchtern aufgezogen wurden und somit insbesondere einem unterschiedlichen Zufütterungsregime unterlagen.

Unter zwölf Modellen erscheint insgesamt das Modell zwei Lineare jedoch am passendsten zur Beschreibung der Gewichtszunahme von Ferkeln unter biologischen Haltungsbedingungen zu sein, weil dieses Modell implizit von zwei unterschiedlich zu modellierenden Wachstumsphasen ausgeht, die tatsächlich in den Rahmenbedingungen der Aufzucht erklärt sind. Die Ferkel werden mit einem Alter von etwa 40 Lebenstagen von der Sau abgesetzt. Mit dem Verlust des Muttertieres wird die Milchaufnahme gestoppt. Das bedeutet für die Ferkel, dass Festfutter als alleinige Nahrung dient ebenso kann der Flüssigkeitsbedarf nur noch über die Wasseraufnahme erfolgen. Durch den Verlust der gewohnten Umgebung sind die Tiere zusätzlich mit neuen Futter- und Tränkeeinrichtungen, neuen Buchtengenossen, neuen Klimaregelungen sowie einer neuen Keimflora konfrontiert. Zusätzlich zu dem Stress, den die Ferkel durch das Absetzen erfahren, lässt etwa zu diesem Zeitpunkt der Schutz der maternalen Antikörper, die die Ferkel mit dem Kolostrum direkt nach der Geburt aufgenommen haben, nach und das sich erst im Aufbau befindliche ferkeleigene Immunsystem muss sich noch vollständig ausbilden. In der konventionellen Haltung werden den Ferkeln in diesem Zuge prophylaktisch Antibiotika verabreicht. Dies wird in der biologischen Haltung jedoch nicht praktiziert, so dass in den ersten Tagen nach dem Absetzen die Gewichtszunahmen reduziert

sind oder gar ganz stagnieren. Erst nach Durchlaufen dieser Phase zeigen die Ferkel eine stärkere Gewichtszunahme, was sich mit dem Schnittpunkt der beiden Geraden des Modells etwa um Lebenstag 50 deckt. Im Gegensatz zu DE BEHR et al. [7], die ein zwei lineares Modell für Rinder der Rasse Blaue Belgier in den ersten 20 Lebensmonaten als optimal beschreiben, wird der Schnittpunkt nicht fest vorgegeben, sondern bei der Anpassung separat berechnet.

Das Modell zwei Lineare ermöglicht zudem einen direkten Vergleich der Gewichtszunahmen der Ferkel der einzelnen Jahre. Anhand der Steigungen der Geraden sind die Gewichtszunahmen pro Zeiteinheit ersichtlich und direkt vergleichbar. Durch einen solchen Vergleich kann man die Gewichtsentwicklungen der Ferkel eines Betriebes über einen Zeitraum von mehreren Jahren objektiv beurteilen und so beispielsweise eine Stalldepression erkennen. Je nach Interesse ist es mithilfe dieses Modells auch möglich die Würfe einer Sau zu vergleichen oder alle Ferkel einer Sau mit denen einer anderen Sau.

Das Modell von Richards ist unter den dreizehn verwendeten Modellen sowohl bei den Fleckvieh- als auch bei den Braunviehtieren das optimale Modell. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von MATTHES UND RUDOLPH [16], die auch das Modell von Richards als dasjenige bestimmten, das den natürlichen Wachstumsverlauf von weiblichen Fleischrindern der Rassen Charolais, Fleckvieh und Uckermärker am genauesten beschreibt. Die Resultate aus der Literatur und der vorliegenden Arbeit lassen darauf schließen, dass das Modell von Richards zumindest die Gewichtszunahmen sowohl weiblicher als auch unkastrierter männlicher Rinder am besten beschreibt.

Die Gewichtszunahmen der Mastschweine werden insgesamt durch das kubische Modell am besten beschrieben. Dieses Modell beschreibt die Gewichtszunahmen in einer rein mathematischen Form ohne biologische Theorie hinter den Zunahmen. Es handelt sich hierbei also zunächst nur um eine Funktion, die zur Anpassung verwendet werden kann und somit als Vergleichsmodell für andere Wachstumsmodelle dient. Ein Wachstumsmodell, das den Wachstumsvorgang mit einem biologischen oder physiologischen Ansatz beschreibt, sollte eine bessere Anpassung als eine rein mathematische Funktion finden. Je genauer ein solches Modell ist, desto besser können konkrete Fragestellungen mithilfe des Modells

beantwortet werden. So können mathematische Modelle dabei helfen tierische Produktionssysteme weiter zu optimieren. [26][28][29]

Überraschend war, dass das naturwissenschaftlich motivierte Modell von Parks bei den Auswertungen der Daten für keine Tierart als optimales Modell hervorging. Eine Weiterentwicklung dieses Modells im Sinne einer nicht-linearen Modellierung der Futteraufnahme könnte jedoch zu kleineren AIC-Werten führen. Das ursprüngliche Modell von Parks wurde vereinfacht, um eine Datenanpassung in Excel überhaupt erst möglich zu machen. Dennoch zeigten sich bei den Auswertungen Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Parameter des Modells, um die Abweichungsquadratsumme zu minimieren.

Die Ergebnisse der Daten der Charolaisstiere verdeutlichen die Problematik einer in Relation zum gesamten Zeitraum der Gewichtszunahme eines Stieres betrachteten sehr kurzen Periode der Datenerhebung. Aufgrund eines so kurzen Messzeitraumes ist keine Aussage über ein optimales Modell möglich.

Die Bestimmung optimaler Modellfunktionen für die Gewichtszunahme von Tieren ist nach wie vor ein aktuelles Thema. Allerdings ist es nicht immer möglich die Ergebnisse aus der Literatur mit den in dieser Arbeit präsentierten Ergebnissen zu vergleichen. So wurden entweder andere Tierarten oder Modelle verwendet oder die Methode zur Wahl des optimalen Modells stimmte nicht mit der Methode der vorliegenden Arbeit überein. In Tabelle 49 sind einige Arbeiten aufgelistet, um die große Bandbreite der untersuchten Tierarten und verschiedenen Herangehensweisen zu verdeutlichen. Diese Tabelle stellt lediglich einen kleinen Ausschnitt der gesamten Literatur dar, dennoch ist zu erkennen, dass insgesamt durch eine Vielzahl von Tierarten mit zugehörigen Rassen, sowie verschiedenen Modellen und Methoden immer noch ein Forschungsbedarf auf diesem Gebiet besteht.

Tabelle 49: Übersicht verschiedener Tierarten, Modelle und Methoden aus der Literatur

<b>Autor(en)</b>	<b>Jahr</b>	<b>Tierart (Rasse)</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Verwendete Modelle</b>	<b>Methode</b>	<b>Optimales Modell</b>
SCHINCKEL et al. [27]	2012	Hauschwein (Masthybrid)	0-60 Tage	männlich und weiblich	Gompertz, exponentielle Funktionen und andere	RSD und Bestimmtheitsmaß	Exponentielle Funktion
KÖHN et al. [13]	2007	Hauschwein (Göttinger Minischwein)	0-700 Tage	männlich und weiblich	Logistisch, Gompertz, Bertalanffy, Richards, Polynome 2.-4. Grades und andere	AIC	Polynom 3. Grades
HAFIZ et al. [10]	2014	Hausrind (Brakmas Rind)	1-12 Jahre	weiblich	Gompertz und andere	Bestimmtheitsmaß	Gompertz
DE BEHR et al. [7]	2001	Hausrind (Blaue Belgier)	0-20 Monate	männlich und weiblich	Polynome 2.-3. Grades, logistisch, Gompertz, Bertalanffy, Richards, zwei Lineare mit festem Schnittpunkt und andere	F-Test und korrigiertes Bestimmtheitsmaß	Zwei Lineare

Tabelle 49 wird fortgesetzt

<b>Autor(en)</b>	<b>Jahr</b>	<b>Tierart (Rasse)</b>	<b>Alter</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Verwendete Modelle</b>	<b>Methode</b>	<b>Optimales Modell</b>
HAMOUDA & ATTI [11]	2011	Hausschaf (fett- schwänziges Barbarin Schaf)	0-125 Tage	ohne Angabe	logistisch, Gompertz, Bertalanffy und andere	Korrigiertes Bestimmtheitsmaß, Vergleich der Modellparameter und deren Standardabweichung	Bertalanffy
VITEZICA et al. [29]	2010	Ente (Mulardente)	12-91 Tage	männlich	Gompertz, logistisch, Richards und Weibull	AIC	Weibull
SCHINCKEL et al. [25]	2005	Ente (ohne Angabe )	1-43 Tage	ohne Angabe	Weibull und andere	AIC und RSD	Weibull
VETHARANIAM et al. [28]	2009	Hirsch (Rothirsch)	152-517 Tage	männlich und weiblich	Selbst entwickeltes Modell; Modellparameter aufgrund Literatur	Vergleich empirischer mit simulierten Daten, mittlere Abweichung und Standardabweichung	

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: VERHÄLTNIS ZWISCHEN DER AIC DIFFERENZ UND DEN WAHRSCHEINLICHKEITEN DER MODELLE 6	
ABBILDUNG 2: ZEITLICH KONSTANTE ÄNDERUNG.....	8
ABBILDUNG 3: VERLAUF EINES LINEAREN WACHSTUMS .....	8
ABBILDUNG 4: WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT EINES QUADRATISCHEN WACHSTUMS .....	9
ABBILDUNG 5: VERLAUF EINES QUADRATISCHEN WACHSTUMS .....	9
ABBILDUNG 6: WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT EINES EXPONENTIELLEN WACHSTUMS .....	10
ABBILDUNG 7: VERLAUF EINES EXPONENTIELLEN WACHSTUMS .....	10
ABBILDUNG 8: WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT EINES BESCHRÄNKTEN WACHSTUMS.....	12
ABBILDUNG 9: VERLAUF EINES BESCHRÄNKTEN WACHSTUMS.....	12
ABBILDUNG 10: WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT EINES LOGISTISCHEN WACHSTUMS .....	15
ABBILDUNG 11: VERLAUF EINES LOGISTISCHEN WACHSTUMS .....	15
ABBILDUNG 12: MODELL ZWEI LINEARE .....	23
ABBILDUNG 13: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER DATEN IN EXCEL MIT ZUGEHÖRIGER TRENDLINIE .....	25
ABBILDUNG 14: METHODE DER KLEINSTEN QUADRATE IN MS EXCEL .....	26
ABBILDUNG 15: BRANDLBRACKE .....	27
ABBILDUNG 16: BOGEN FÜR DIE WURFSTATISTIK .....	27
ABBILDUNG 17: AUSZUG DER URSPRÜNGLICHEN DATEN DER FERKEL .....	28
ABBILDUNG 18: AUSZUG DER AUFBEREITETEN DATEN DER FERKEL .....	29
ABBILDUNG 19: STIER DER RASSE FLECKVIEH .....	32
ABBILDUNG 20: STIER DER RASSE BRAUNVIEH.....	32
ABBILDUNG 21: AUSZUG DER URSPRÜNGLICHEN DATEN DER FLECKVIEH- UND BRAUNVIEHSTIERE .....	32
ABBILDUNG 22: GEWICHTSENTWICKLUNG DER FLECKVIEHSTIERE .....	33
ABBILDUNG 23: GEWICHTSENTWICKLUNG DER BRAUNVIEHSTIERE .....	33
ABBILDUNG 24: STIER DER RASSE CHAROLAIS.....	34
ABBILDUNG 25: URSPRÜNGLICHE DATEN EINES CHAROLAIS-STIERES .....	34
ABBILDUNG 26: GEWICHTSMITTELWERTE DER WELPEN UND DAS MODELL VON BERTALANFFY .....	36
ABBILDUNG 27: GEWICHTSMITTELWERTE ALLER FERKEL 2007-2013 UND DAS MODELL ZWEI LINEARE .....	49
ABBILDUNG 28: GEWICHTSMITTELWERTE DER FERKEL OHNE KÜMMERER 2007-2013 UND DAS MODELL ZWEI LINEARE .....	55
ABBILDUNG 29: GEWICHTSMITTELWERTE DER MASTSCHWEINE UND DAS KUBISCHE MODELL.....	62
ABBILDUNG 30: GEWICHTSMITTELWERTE DER FLECKVIEHSTIERE UND DAS MODELL VON RICHARDS.....	65
ABBILDUNG 31: GEWICHTSMITTELWERTE DER FLECKVIEHSTIERE BIS LEBENSTAG 420 UND DAS MODELL VON RICHARDS .....	66
ABBILDUNG 32: GEWICHTSMITTELWERTE DER BRAUNVIEHSTIERE UND DAS MODELL VON RICHARDS.....	69
ABBILDUNG 33: GEWICHTSMITTELWERTE DER BRAUNVIEHSTIERE BIS LEBENSTAG 410 UND DAS MODELL VON RICHARDS .....	70

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: VERWENDETE MODELLE.....	22
TABELLE 2: ERGEBNISSE DER RGP-FUNKTION.....	26
TABELLE 3: ERGEBNISSE WELPEN GESAMTLISTE, N=18.....	35
TABELLE 4: ERGEBNISSE 3 WELPEN PRO WURF, N=9.....	36
TABELLE 5: ERGEBNISSE 4 WELPEN PRO WURF, N=11.....	37
TABELLE 6: ERGEBNISSE 5 WELPEN PRO WURF, N=11.....	38
TABELLE 7: ERGEBNISSE 7 WELPEN PRO WURF, N=10.....	38
TABELLE 8: ERGEBNISSE 8 WELPEN PRO WURF, N=12.....	39
TABELLE 9: ERGEBNISSE 9 WELPEN PRO WURF, N=10.....	40
TABELLE 10: ERGEBNISSE 10 WELPEN PRO WURF, N=16.....	40
TABELLE 11: ERGEBNISSE 11 WELPEN PRO WURF, N=10.....	41
TABELLE 12: ERGEBNISSE 12 WELPEN PRO WURF, N=9.....	42
TABELLE 13: ERGEBNISSE 13 WELPEN PRO WURF; N=10.....	42
TABELLE 14: ERGEBNISSE DES JAHRES 2007 (GESAMTLISTE), N=50.....	43
TABELLE 15: ERGEBNISSE DES JAHRES 2008 (GESAMTLISTE), N=59.....	44
TABELLE 16: ERGEBNISSE DES JAHRES 2009 (GESAMTLISTE), N=80.....	44
TABELLE 17: ERGEBNISSE DES JAHRES 2010 (GESAMTLISTE), N=89.....	45
TABELLE 18: ERGEBNISSE DES JAHRES 2011 (GESAMTLISTE), N=94.....	46
TABELLE 19: ERGEBNISSE DES JAHRES 2012 (GESAMTLISTE), N=93.....	46
TABELLE 20: ERGEBNISSE DES JAHRES 2013 (GESAMTLISTE), N=100.....	47
TABELLE 21: ERGEBNISSE DER JAHRE 2007 BIS 2013 (GESAMTLISTE), N=101.....	48
TABELLE 22: ERGEBNISSE DES JAHRES 2007 (OHNE KÜMMERER), N=50.....	49
TABELLE 23: ERGEBNISSE DES JAHRES 2008 (OHNE KÜMMERER), N=59.....	50
TABELLE 24: ERGEBNISSE DES JAHRES 2009 (OHNE KÜMMERER), N=80.....	51
TABELLE 25: ERGEBNISSE DES JAHRES 2010 (OHNE KÜMMERER), N=89.....	51
TABELLE 26: ERGEBNISSE DES JAHRES 2011 (OHNE KÜMMERER), N=94.....	52
TABELLE 27: ERGEBNISSE DES JAHRES 2012 (OHNE KÜMMERER), N=92.....	53
TABELLE 28: ERGEBNISSE DES JAHRES 2013 (OHNE KÜMMERER), N=100.....	53
TABELLE 29: ERGEBNISSE DER JAHRE 2007 BIS 2013 (OHNE KÜMMERER), N=101.....	54
TABELLE 30: ERGEBNISSE DER JAHRE 2007 BIS 2013 (GESAMTLISTE) BIS ZUM ABSETZEN, N=41.....	56
TABELLE 31: ERGEBNISSE DER JAHRE 2007 BIS 2013 (OHNE KÜMMERER) BIS ZUM ABSETZEN, N=41.....	57
TABELLE 32: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE VERSUCH 1, N=13.....	58
TABELLE 33: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE VERSUCH 2, N=13.....	58
TABELLE 34: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE VERSUCH 3, N=13.....	59
TABELLE 35: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE VERSUCH 4, N=13.....	60
TABELLE 36: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE VERSUCH 5, N=14.....	60

TABELLE 37: ERGEBNISSE MASTSCHWEINE GESAMTLISTE (VERSUCHE 1-5), N=14 .....	61
TABELLE 38: ERGEBNISSE MÄNNLICHE MASTSCHWEINE, N=13 .....	62
TABELLE 39: ERGEBNISSE WEIBLICHE MASTSCHWEINE, N=14 .....	63
TABELLE 40: ERGEBNISSE FLECKVIEH GESAMT, N=485.....	64
TABELLE 41: ERGEBNISSE FLECKVIEH BIS LEBENSTAG 420, N=405 .....	65
TABELLE 42: ERGEBNISSE FLECKVIEH MIT MINDESTENS 6 MESSUNGEN, N=485 .....	66
TABELLE 43: ERGEBNISSE FLECKVIEH MIT MINDESTENS 6 MESSUNGEN UND BIS LEBENSTAG 420, N=405 .....	67
TABELLE 44: ERGEBNISSE BRAUNVIEH GESAMT, N=435.....	68
TABELLE 45: ERGEBNISSE BRAUNVIEH BIS LEBENSTAG 410, N=377 .....	69
TABELLE 46: ERGEBNISSE BRAUNVIEH MIT MINDESTENS 6 MESSUNGEN, N=434 .....	71
TABELLE 47: ERGEBNISSE BRAUNVIEH MIT MINDESTENS 6 MESSUNGEN UND BIS LEBENSTAG 410, N=376 .....	72
TABELLE 48: ERGEBNISSE CHAROLAIS, N=28 .....	73
TABELLE 49: ÜBERSICHT VERSCHIEDENER TIERARTEN, MODELLE UND METHODEN AUS DER LITERATUR.....	78

## Literaturverzeichnis

- [1] Agrarmarkt Austria Marketing GesmbH  
[www.ama-marketing.at/produktgruppen/fleisch-und-fleischwaren/schwein/lw-erzeugung/](http://www.ama-marketing.at/produktgruppen/fleisch-und-fleischwaren/schwein/lw-erzeugung/)  
besucht am 29.01.2015
- [2] AKAIKE, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), S. 716-723.
- [3] AKAIKE, H. (1981). Likelihood of a Model and Information Criteria. *Journal of Econometrics*, 16, S. 3-14.
- [4] ALATORRE-JACOME, O. et al. (2012). Techniques to Assess Fish Productivity in Aquaculture Farms and Small Fisheries: An Overview of Algebraic Methods. *Journal of Applied Sciences*, 12(9), S. 888-892. doi:10.3923/jas.2012.888.892
- [5] BERTALANFFY, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The Quarterly Review of Biology*, 32(2), S. 217-231.
- [6] BURKHART, H.E. & TOMÉ, M. (2012). *Modeling Forest Trees and Stands*. Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer
- [7] DE BEHR, V. et al. (2001). Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. *Livestock Production Science*, 71, S.121–130.
- [8] DE GRAAF, G. & PREIN, M. (2005). Fitting growth with the von Bertalanffy growth function: a comparison of three approaches of multivariate analysis of fish growth in aquaculture experiments. *Aquaculture Research*, 36, S. 100-109. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01191.x
- [9] ECK, C., GARCKE, H., & KNABNER, P. (2008). *Mathematische Modellierung*. Berlin-Heidelberg: Springer.
- [10] HAFIZ, A.W.M., IDRIS, I. & YAAKUB, H. (2014). Growth Pattern for Body Weight, Hip Height and Body Length of Brakmas Cattle. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(7), S. 952-955. doi: 10.3923/pjbs.2014.952.955
- [11] HAMOUDA, M.B. & ATTI, N. (2011). Comparison of growth curves of lamb fat tail measurements and their relationship with body weight in Babarine sheep. *Small Ruminant Research*, 95, S. 120–127. doi:10.1016/j.smallrumres.2010.10.001
- [12] HELIDONIOTIS, F. & HADDON, M. (2013). Growth models for fisheries: the effect of unbalanced sampling error on model selection, parameter estimation, and biological predictions. *Journal of Shellfish Research*, 32(1), S. 223–235. doi:10.2983/035.032.0129
- [13] KÖHN, F., SHARIFI, A.R. & SIMIANER, H. (2007). Modeling the growth of the Goettingen minipig. *Journal of Animal Science*, 85, S.84-92. doi:10.2527/jas.2006-271
- [14] KÜHLEITNER, M. (2013). Wachstumsvorgänge. In: *Skriptum zur Lehrveranstaltung Mathematik für Agrarwissenschaften*, Universität für Bodenkultur.
- [15] KÜHLEITNER, M. (2013). Mathematische Modellierung in den Life Sciences. In: *Skriptum zur Lehrveranstaltung Mathematik für Agrarwissenschaften*, Universität für Bodenkultur.
- [16] MATTHES, H. & RUDOLPH, P.E. (1999). Beschreibung des Wachstums weiblicher Rinder verschiedener Rassen. *Archiv Tierzucht*, 43(4), S.335-345.
- [17] MITSCHERLICH, E.A. (1948). *Die Ertragsgesetze*. Berlin: Akademie.
- [18] MOTULSKY, H., & CHRISTOPOULOS, A. (2003). *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: A practical guide to curve fitting*.

- [19] NÖBAUER, W., & TIMISCHL, W. (1979). *Mathematische Modelle in der Biologie: Eine Einführung für Biologen, Mathematiker, Mediziner und Pharmazeuten*. Braunschweig-Wiesbaden: Vieweg.
- [20] NOWAK, W.G. (2013). Grundgedanken der mathematischen Modellbildung. In: *Skriptum zur Lehrveranstaltung Mathematische Modellierung in den Agrarwissenschaften*, Universität für Bodenkultur.
- [21] NOWAK, W.G. (2013). Mathematische Modellierung der Gewichtszunahme von Tieren. In: *Skriptum zur Lehrveranstaltung Mathematische Modellierung in den Agrarwissenschaften*, Universität für Bodenkultur.
- [22] PARKS, J.R. (1982). *A theory of feeding and growth*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer.
- [23] RICHARDS, F.J. (1959). A Flexible Growth Function For Empirical Use. *Journal of Experimental Botany*, 10(29), S. 290- 300.
- [24] ROTH, F.X. (2008). *Schweinefütterung*. In KIRCHGESSNER, M., ROTH, F.X., SCHWARZ, F.J., STANGL, G.I. (2008). *Tierernährung*. Frankfurt am Main: DLG.
- [25] SCHINCKEL, A.P., ADEOLA, O. & EINSTEIN, M.E. (2005). Evaluation of Alternative Nonlinear Mixed Effects Models of Duck Growth. *Poultry Science*, 84, S. 256–264.
- [26] SCHINCKEL, A.P. & CRAIG, B.A. (2002). Evaluation of Alternative Nonlinear Mixed Effects Models of Swine Production. *The Professional Animal Scientist*, 18(3), S. 219-226.
- [27] SCHINCKEL, A.P. et al. (2004). Analysis of Pig Growth from Birth to Sixty Days of Age. *The Professional Animal Scientist*, 20, S. 79-86.
- [28] VETHARANIAM, I. et al (2009). A model of growth, pregnancy and lactation in the red deer. *Journal of Agricultural Science*, 147, S. 253–272. doi:10.1017/S0021859609008533
- [29] VITEZICA, Z.G. et al. (2010). Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. *Poultry Science*, 89, S. 1778–1784. doi:10.3382/ps.2009-00581
- [30] Zentrale Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Rinderzüchter  
<http://zar.at/Rinderzucht-in-Oesterreich/Rinderrassen.html> besucht am 30.01.2014

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel "Vergleich von Gewichtszunahme-Modellen bei Tieren mit Hilfe des Informationskriteriums von Akaike" selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Wien, den 21. April 2015

---

*Unterschrift*