



Hochschule für Agrar-, Forst- und  
Lebensmittelwissenschaften

Berner  
Fachhochschule

# Herleitung des Lebendgewichts von Milch- kühen für die Jahre 1990-2020

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

## Schlussbericht



**Autoren**

Alexander Burren

Janine Braun

Stefan Probst

Christine Flury

**Ort / Datum**

Zollikofen, August 2021

**Impressum**

**Auftraggeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern  
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Auftragnehmer:** HAFL

**Autor/Autorin:** Alexander Burren, Janine Braun, Stefan Probst und Christine Flury

**Begleitgruppe:** Regine Röhltlisberger, Daniel Bretscher, Sabine Schenker und Harald Menzi

**Hinweis:** Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>2</b>
2.1. Lebendgewicht und LBE Merkmale.....	2
2.2. Lebendgewichte und LBE Merkmale von Lely Betrieben.....	3
2.3. Schlachtgewicht und LBE Merkmale.....	5
2.4. Lebend- und Schlachtgewichte .....	5
2.4.1. Datengrundlagen .....	5
2.4.2. Modell für den Zeitraum 2002-2020 .....	6
2.4.3. Lineare Extrapolation für den Zeitraum vor 2002 .....	7
2.4.4. Vergleich Extrapolation und LG-SG Modell.....	7
2.4.5. Entwicklung des Körpergewichts.....	7
<b>3. Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>8</b>
3.1. Lebendgewicht und LBE Merkmale.....	8
3.2. Lebendgewichte und LBE Merkmale von Lely Betrieben.....	11
3.3. Schlachtgewicht und LBE Merkmale.....	15
3.4. Lebend- und Schlachtgewichte .....	16
3.4.1. Modellierung der Lebendgew. für den Zeitraum 2002-2020.....	16
3.4.2. Lineare Extrapolation für den Zeitraum vor 2002 .....	18
3.4.3. Vergleich Extrapolation und LG-SG Modell.....	23
3.4.4. Entwicklung des Körpergewichts.....	24
<b>4. Schlussfolgerungen</b> .....	<b>25</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>26</b>

# 1. Einleitung

Das nationale Treibhausgasinventar der Schweiz wird jährlich aktualisiert und bildet die Grundlage zur Beurteilung, ob die Ziele im Rahmen des Kyoto-Protokolls, des Übereinkommens von Paris sowie des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und der Klimastrategie Landwirtschaft erreicht werden (BAFU, 2020). Für die Herleitung der Treibhausgasemissionen aus der Milchviehhaltung wird für Milchkühe ein Lebendgewicht von 650 kg angenommen (FOEN 2021). Bei der Überprüfung des Treibhausgasinventars seitens der UNFCCC wurde von einem Begutachter die Frage gestellt, ob für die Herleitung der Treibhausgasemissionen von Milchkühen allfällige Veränderungen von Lebendgewichten von adulten Kühen berücksichtigt wurden (UNFCCC 2020). Bis anhin konnte das nicht gemacht werden, weil eine routinemässige Erhebung von individuellen Lebendgewichten von Milchkühen fehlt. Der Gutachterbericht der UNFCCC enthält daher eine entsprechende Empfehlung, die jährliche Daten zum Lebendgewicht von Milchkühen zu schätzen und künftig für die Berechnung der Treibhausgasemissionen zu verwenden.

Hier setzt das vorliegende Projekt an und prüft verschiedene Möglichkeiten, mit verfügbaren Daten das Lebendgewicht zu schätzen. Im Rahmen einer statistischen Auswertung sollen, basierend auf den LBE-Daten (Lineare Beschreibung und Einstufung) für die erstlaktierenden Herdebuchkühe (swissherdbook, Braunvieh Schweiz und Holstein Schweiz), die Lebendgewichte für die Jahre 1997 (Einführung LBE) bis 2019 geschätzt werden. Im Rahmen einer vorangehenden HAFL-Studie konnte bereits gezeigt werden, dass das Körpergewicht von Kühen basierend auf den LBE-Daten zuverlässig geschätzt werden kann (Cutullic et al. 2011). Seit 2008 (Braunvieh Schweiz) bzw. 2011 (swissherdbook und Holstein Schweiz) wird das Merkmal Brustumfang nicht mehr im Rahmen der LBE erhoben, weshalb die ursprünglichen Schätzgleichungen validiert und mit neuen Merkmalen ergänzt werden müssen. Die Herleitung der LBE-Daten ist jedoch nur für Herdebuchkühe möglich, weil nicht Herdebuchtiere keine LBE Ergebnisse haben. Ein anderer Ansatz ist, die Schlachtgewichte der Tiere aus der Kategorie Milchkühe heranzuziehen und das Lebendgewicht basierend auf den Schlachtgewichten zu modellieren. Dieser Ansatz kommt in Deutschland zur Anwendung und soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit für die Daten aus der Schweiz untersucht und validiert werden.

Für die Herleitung der Schätzgleichungen stehen Lebendgewichte von Milchkühen mit LBE zur Verfügung. Damit noch mehr Lebendgewichte berücksichtigt werden können, wurden Betriebe mit Milchrobotern und integrierter Waage kontaktiert (Betriebe mit einem Lely Melkroboter). Es wird erwartet, dass auf diesem Weg die Stichprobe von Kühen mit Lebendgewichten und LBE massiv erhöht werden kann.

## Forschungsfragen

- Kann das Lebendgewicht von Kühen basierend auf dem Schlachtgewicht und den neuen LBE-Merkmalen (ab 2011) geschätzt werden?
- Eignen sich die verschiedenen Schätzungen für die Vorhersage von Trends in der Entwicklung des Lebendgewichts von Kühen?
- Wie haben sich die Lebendgewichte der Schweizer Milchkühe in den Jahren 1990 bis 2019 verändert?

## 2. Material und Methoden

Um die oben aufgeführten Forschungsfragen zu beantworten, wurden verschiedene Strategien verfolgt, die wiederum auf ganz unterschiedlichen Daten beruhen. Die nachfolgenden Unterkapitel liefern eine Übersicht zu den Strategien und den verwendeten Daten.

### 2.1. Lebendgewicht und LBE Merkmale

In einem ersten Schritt wurde, analog zu Cutullic et al. 2011, der Zusammenhang zwischen Lebendgewichten und LBE - Merkmalen von 309 Milchkühen der Rassen HO/RH (Holstein/Redholstein), SF (Swissfleckvieh) und BV (Braunvieh) hergeleitet (HO und RH wurden für die Auswertung zusammengefasst). Die Lebendgewichte dieser Tiere hat Stefan Probst mit seinem Team im Rahmen eines Forschungsprojektes gesammelt ([www.milchprojekt.ch](http://www.milchprojekt.ch)). Die LBE Daten wurden von den Zuchtverbänden zur Verfügung gestellt.

Da die LBE 2008 von der Zuchtverbänden überarbeitet wurde, werden heute nicht mehr dieselben LBE Merkmale erfasst wie vor 2008. Einen Überblick über die Merkmale vor und nach der Überarbeitung liefern Tabelle 1 und Tabelle 2 (MO steht für die Rasse Montbéliard).

**Tabelle 1 LBE Merkmale nach Rasse vor 2008**

Merkmal	Einheit	Rasse				
		BV	HO	MO	SF	SI
Widerristhöhe	cm	x	x	x	x	x
Tiefe (Flankentiefe)	Noten 1-9	x	x	x	x	x
Rel. Höhe Vorhand	wird in cm erhoben und in Noten umgerechnet		x			
Kreuzbeinhöhe	cm			x	x	x
Brustumfang	cm	x	x	x	x	x
Brustlänge	cm			x	x	x
Länge (der ganzen Kuh)	Noten 1-9	x				
Brustbreite	Noten 1-9	x	x	x	x	x
Bemuskelung	Noten 1-9	x		x	x	x
Obere Linie	Noten 1-9	x				
Ausdruck	Noten 1-9			x	x	x
Beckenlänge	cm	x				
Beckenneigung	Noten 1-9	x	x	x	x	x
Beckenbreite	Noten 1-9	x	x	x	x	x
Lage Umdreher	Noten 1-9	x				
Lende	Noten 1-9		x			

**Tabelle 2 LBE Merkmale nach Rasse nach 2008**

Merkmal	Einheit	Rasse				
		BV	HO	MO	SF	SI
Flankentiefe	cm	x				
Grösse (Kreuzbeinhöhe)	wird in cm erhoben und in Noten umgerechnet ist aber auch in cm verfügbar	x	x	x	x	x
Rel. Höhe Vorhand	wird in cm erhoben und in Noten umgerechnet		x	x		
Brustbreite	Noten 1-9	x	x	x	x	x
Körpertiefe	Noten 1-9		x	x	x	x
Bemuskelung	Noten 1-9			x	x	x
Obere Linie	Noten 1-9	x				
Ausdruck	Noten 1-9			x	x	x
Beckenlänge	cm	x				
Beckenneigung	Noten 1-9	x				
Beckenneigung	wird in cm erhoben und in Noten umgerechnet		x	x	x	x
Beckenbreite	wird in cm erhoben und in Noten umgerechnet		x	x	x	x
Beckenbreite	cm	x				
Lage Umdreher	Noten 1-9	x				
Lende (1/2)	Noten 1-9		x			
Milchcharakter	Noten 1-9		x			

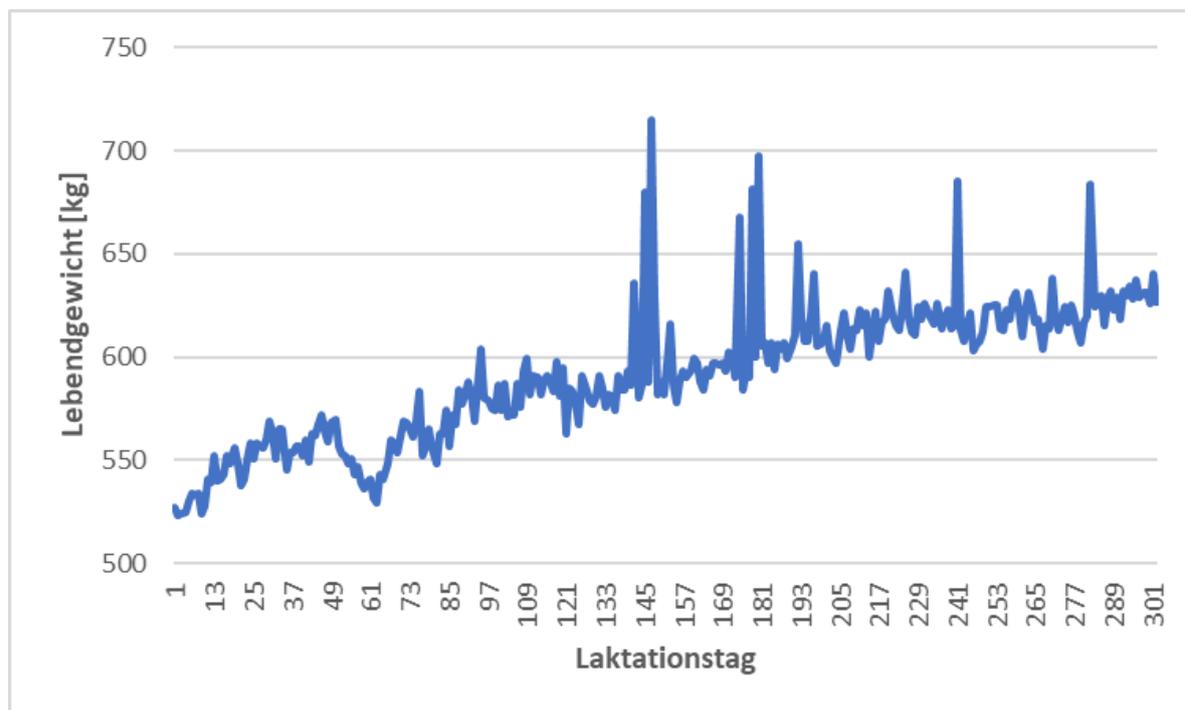
Die Umstellung der LBE war auch der Grund, weshalb die Auswertungen von Cutullic et al. 2011 wiederholt werden mussten.

Vier Tiere befanden sich zum Zeitpunkt der LBE in der zweiten Laktation. Alle übrigen Tiere befanden sich in der ersten Laktation. Anders als bei Cutullic et al. 2011, wo nur wenige Tage oder Wochen zwischen der LBE und LG (Lebendgewicht) Messung lagen, ist der Zeitraum zwischen der LBE und LG Messung bei den vorliegenden Daten deutlich grösser (Monate bis Jahre). Da aber in den Modellen alle wichtigen zeitlichen Einflussvariablen wie „Alter der Kuh bei LG“, „Trächtigkeitstag“ und „Laktationsstadium“ berücksichtigt wurden, konnte diesem Umstand Rechnung getragen werden.

Gearbeitet wurde mit linearen Modellen, wobei jedes Tier nur einmal berücksichtigt wurde. Wenn bei einem Tier mehrere LBE Ergebnisse vorlagen, wurde jeweils die erste Beurteilung verwendet. Im Kapitel 3.1 werden in der Tabelle 7 sämtliche Modelle inkl. Merkmale zusammengefasst. Deshalb wird an dieser Stelle auf die Auflistung aller Modellgleichungen verzichtet.

## 2.2. Lebendgewichte und LBE Merkmale von Lely Betrieben

Zur Validierung des Modells m1g aus Kapitel 2.1, wurden Lebendgewichte und LBE Merkmale von Milchkühen von Betrieben mit Lely Melkroboter und integrierter Waage verwendet. Problematisch bei den Lebendgewichten von Lely Melkrobotern ist, dass diese täglich starken Schwankungen unterworfen sind. Wenn man ein Liniendiagramm vom Gewicht einer Kuh für eine Laktation zeichnet, äussert sich dies in einem starken "Flackern". (Abbildung 1).

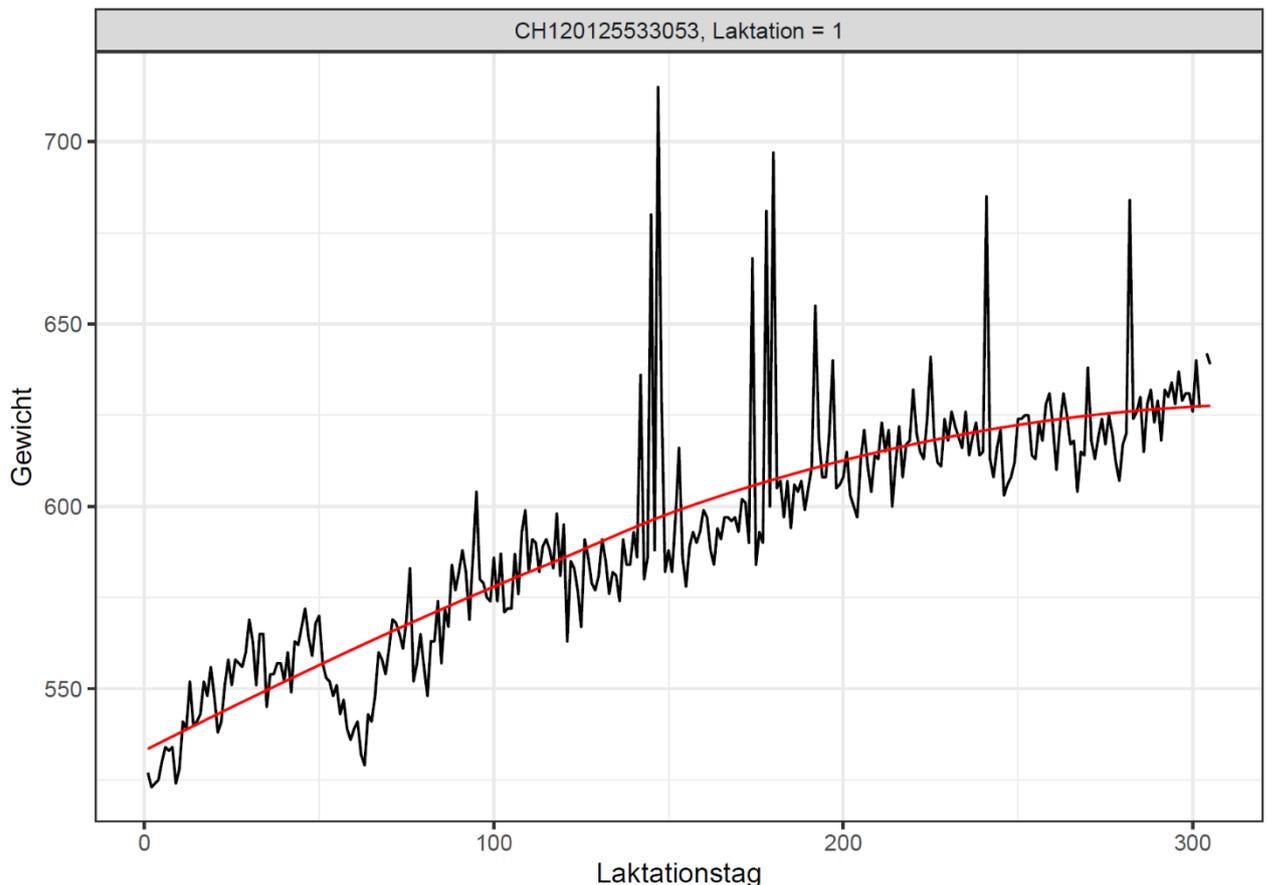


**Abbildung 1 Entwicklung Lebendgewicht einer Milchkuh im Lely Melkroboter ohne Korrektur**

Nebst dem „Flackern“ gabs bei den Lely Daten auch Probleme mit fehlenden Daten (an einem oder mehreren Tagen fehlen Lebendgewichte). Mögliche Gründe für das „Flackern“ und die Lücken sind:

- a) Waage ist mit Kot oder Futter verunreinigt
- b) Waage funktioniert nicht korrekt
- c) Die Kuh geht manchmal vor und manchmal nach dem Fressen zum Melken

Wie dem auch sei. Für die Gründe interessieren wir uns nicht weiter, weil wir diese ohnehin nicht genau bestimmen bzw. kontrollieren können. Damit wir mit den Gewichten der Lely Roboter arbeiten konnten, wurde einerseits mit einer polynomialen Regression eine Glättung vorgenommen und andererseits wurden fehlende Werte imputiert. Damit resultiert für jede Kuh ein stabiler Gewichtsverlauf ohne Unterbrüche (Abbildung 2, rote Linie). Die Werte der roten Linien werden als fitted Gewicht bezeichnet.



**Abbildung 2 Entwicklung Lebendgewicht einer Milchkuh im Lely Melkroboter mit Korrektur**

Imputiert wurden immer nur Werte zwischen zwei bestehenden Gewichten. Am Anfang und am Ende der Laktation wurden keine Gewichte imputiert. Nicht jede Kuh ist während der ganzen Laktation auf dem Betrieb. Kühe kommen oder verlassen während einer laufenden Laktation den Betrieb. Das führt zu nicht kompletten Gewichtskurven.

Für die Validierung von Modell m1g aus Kap. 2.1, standen Lebendgewichte von total 816 Milchkuhen zur Verfügung. Davon hatten 735 ein LBE Ergebnis. Für diese 735 Tiere wurde das fitted Gewicht vom Tag der LBE Beurteilung berücksichtigt. Für 484 Tiere konnte für den Tag der LBE kein gefittetes Gewicht hergeleitet werden. Dadurch reduzierte sich der Datensatz auf 251 Tiere. Wie bereits im Kap. 2.1 erwähnt, könnte man natürlich auch Gewichte verwenden, die vor bzw. nach der LBE Beurteilung gemessen wurden. Da die Lely Daten aber ausschliesslich zu Validierungszwecken verwendet werden sollen, wurde auf die Verwendung von zusätzlichen Gewichten verzichtet.

## 2.3. Schlachtgewicht und LBE Merkmale

Als alternativer Ansatz wurde der Zusammenhang zwischen Schlachtgewicht und LBE Merkmalen untersucht. Möglich war dies, weil 203 Milchkühe aus dem Hohenrain Projekt bereits geschlachtet wurden und auch LBE Ergebnisse haben. Nach der Plausibilisierung blieben 150 Beobachtungen für die Analysen übrig.

Bei den Schlachtleistungsmerkmalen fehlt die Info zur Laktationsnummer weshalb wichtige Kovariablen nicht berechnet werden können. Eventuell könnte man die Datengrundlage noch etwas verbessern, wenn man einen Weg finden würde, die fehlenden Angaben bei den Zuchtverbänden zu bestellen. Erste Ergebnisse machten jedoch deutlich, dass die Modellqualität hier sehr schlecht ist und dieser Weg deshalb nicht zielführend ist. Es scheint also nicht sinnvoll, hier mehr Zeit zu investieren.

Gearbeitet wurde auch hier wiederum mit einem linearen Modell. Die Modellzusammensetzung geht aus der Tabelle 11 im Kapitel 3.3 hervor.

Wie in Kap. 2.2 war auch hier die Idee, die Lely Daten zur Validierung zu verwenden. Leider wurden bis anhin nur gerade 21 Tiere davon geschlachtet, weshalb eine Validierung wenig aussagekräftig wäre. Deshalb wurde auf eine Validierung verzichtet.

## 2.4. Lebend- und Schlachtgewichte

Im Rahmen des Projektes wurde deutlich, dass die in den Kap. 2.1 bis 2.3 beschriebenen Strategien zwar interessant sind für die Herleitung der Lebendgewichte von 1990 bis 2019, aber aufgrund von Veränderungen in der LBE und der vergleichsweise aufwändigen Beschaffung der Daten im Hinblick auf das jährliche Fortschreiben einer Zeitreihe nicht zielführend sind. Deshalb wurde in einem weiteren Schritt der Zusammenhang zwischen Lebend- und Schlachtgewichten von Tieren, die an öffentlichen Märkten gehandelt wurden, untersucht.

### 2.4.1. Datengrundlagen

Die Proviande hat zu dem Zweck, Lebend- und Schlachtgewichte von total 116'105 Kühen der öffentlichen Märkte aus den Jahren 2017 -2020 zur Verfügung gestellt (Tabelle 3, File1).

**Tabelle 3 Datensätze Proviande**

Dateiname	Beschreibung
File1	Lebendgewichte von 116'105 Kühen aus den Jahren 2017-2020 (öffentliche Märkte)
File2	81'556 Tiere mit LG und SG am selben Tag (2'103 Tiere mit unbekannter Nutzungsart)
File2_beef	1'125 Mutterkühe mit LG und SG am selben Tag
File2_dairy	78'328 Milchkühe mit LG und SG am selben Tag
File3	34'549 Tiere gingen zuerst noch in die Mast
File4	Schlachtleistungsmerkmale von 2'309'914 Tieren aus den Jahren 2002-2020 (Datenbank Proviande)
File5	File4 ohne Tiere die im File2 vorkommen → 2'186'390 (85'596 Tiere mit unbekannter Nutzungsart)
File5_beef	File4 ohne Mutterkühe die im File2 vorkommen → 66'638
File5_dairy	File4 ohne Milchkühe die im File2 vorkommen → 2'034'156

Dabei gilt es zwischen Tieren zu unterscheiden, die entweder am Tag der LG-Messung auch gleich geschlachtet wurden (Tag-LG = Tag-SG → file2, n=81'556) oder von Tieren die zuerst

noch in die Ausmast gingen und erst später geschlachtet wurden (file3, n=34'549). Für die vorliegende Auswertung waren nur Tiere aus file2 relevant. Tiere in file3 wurden nicht berücksichtigt.

## 2.4.2. Modell für den Zeitraum 2002-2020

Basierend auf file2 wurde mit linearen Modellen der Zusammenhang zwischen dem Lebendgewicht (Zielvariable) und den Ko- und Faktorvariablen Schlachtgewicht (SG), Fleischigkeit, Fettabdeckung, Jahr und Monat der Schlachtung sowie Alter vom Tier untersucht.

In einem zweiten Schritt wurde das folgende Modell von oben verwendet, um, basierend auf den Schlachtleitungsmerkmalen der Jahre 2002-2020, die Lebendgewichte für diesen Zeitraum zu schätzen:

### Formel 1

$$y_{ijklm} = \mu + \text{Schlachtgewicht}_i + \text{Fleischigkeit}_j + \text{Fettabdeckung}_k + \text{Alter}_l + \text{Alter}^2_m + \text{residual effect}_{ijklm} (\text{random})$$

Bei diesem Modell gab es noch keine Trennung zwischen Milch- und Mutterkühen. Auf Wunsch vom BAFU, wurde nachträglich die Info zur Nutzungsart bei der Identitas AG angefordert, damit eine Trennung zwischen Milch- und Mutterkühen möglich ist. Basierend auf diesen Informationen wurden die files 2 und 5 beef und dairy erstellt und für die Modelle verwendet (Tabelle 3). Da es auch Tiere mit unbekannter Nutzungsart gibt, gilt: File2\_beef + File2\_dairy ≠ File2 (dasselbe gilt für File5).

Aus Tabelle 4 und Tabelle 5 geht hervor, dass an den öffentlichen Märkten deutlich mehr Milch- als Mutterkühe gehandelt werden. Gemäss Proviande werden fast 90% der Grossvieherschlachtungen klassifiziert. Tabelle 5 unterstreicht, dass es sich bei den klassifizierten Tieren grossmehrheitlich um Milchkühe handelt.

**Tabelle 4 Anzahl Tiere nach Nutzungsart in file2**

Nutzungsart	Schlachtjahr			
	2017	2018	2019	2020
Beef	136	314	366	309
Dairy	12427	22625	23550	19726
NA	269	538	688	608

**Tabelle 5 Anzahl Tiere nach Nutzungsart in file5**

Nutzungsart	Schlachtjahr																			
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Beef	156	1036	1227	1333	1763	2122	2249	3241	3566	3961	4017	4757	5288	5108	4935	4987	5337	5791	5764	
Dairy	55037	92943	101392	109142	112614	106756	81508	128681	128671	128094	128792	128790	125944	123331	122954	102147	89250	86501	81609	
NA	933	2054	2304	2531	2966	3440	3160	4783	5134	5149	5452	5994	6141	6128	6011	5739	5734	6086	5857	

### 2.4.3. Lineare Extrapolation für den Zeitraum vor 2002

In einem letzten Schritt wurde für die Lebendgewichte im Zeitraum 1990-2001 eine lineare Extrapolation durchgeführt. Zur Validierung dieser extrapolierten Werte wurde jeweils die mittlere Schlachtausbeute (SG/LG) pro Jahr berechnet. Die mittleren SG's dazu stammen für die Jahre 1995-2000 von Daniel Erdin und für den Zeitraum 1990-1994 aus dem Archiv der Proviande (Tabelle 6). Diese Validierung konnte nur beim Modell über alle Nutzungsarten verwendet werden, da für den Zeitraum 1990-2000 keine mittleren Schlachtgewichte für Mutterkühe vorliegen.

**Tabelle 6 Quelle der mittleren Lebend- und Schlachtgewichte (Milch- und Mutterkühe)**

Jahr	SG	LG	lower	upper	SG/LG
1990	283.00	624.2656	615.4862	632.864	0.45
1991	279.00	626.0435	617.6565	634.243	0.45
1992	278.00	627.8214	619.8444	635.6359	0.44
1993	281.00	629.5993	621.983	637.0381	0.45
1994	280.00	631.3772	624.155	638.4183	0.44
1995	277.73	633.1551	626.3447	639.8201	0.44
1996	277.58	634.933	628.5117	641.2294	0.44
1997	278.72	636.7109	630.6689	642.6527	0.44
1998	278.91	638.4888	632.8147	644.0789	0.44
1999	279.64	640.2667	634.9496	645.5168	0.44
2000	280.02	642.0445	637.1101	646.9753	0.44
2001		643.8224	639.2683	648.3764	
2002	288.97	643.5717	643.3308	643.8793	0.45
2003	287.65	639.8867	639.6446	640.1789	0.45
2004	293.22	648.6799	648.4502	648.9642	0.45
2005	298.46	657.6592	657.4305	657.942	0.45
2006	297.24	656.0229	655.7919	656.3025	0.45
2007	298.84	659.1113	658.8741	659.3869	0.45
2008	301.52	663.3157	663.068	663.5969	0.45
2009	296.99	657.5537	657.3272	657.8359	0.45
2010	298.92	659.5845	659.359	659.8618	0.45
2011	299.68	660.6755	660.4616	660.9437	0.45
2012	302.53	663.8823	663.6746	664.1459	0.46
2013	300.15	659.5021	659.2988	659.774	0.46
2014	299.72	659.3222	659.1171	659.5902	0.45
2015	301.69	664.1864	663.9813	664.4471	0.45
2016	305.28	669.6592	669.4541	669.914	0.46
2017	307.03	672.5607	672.3694	672.806	0.46
2018	307.09	672.3224	672.1382	672.5719	0.46
2019	311.39	678.8702	678.6821	679.1257	0.46
2020	314.51	683.8661	683.6744	684.1182	0.46

### 2.4.4. Vergleich Extrapolation und LG-SG Modell

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der linearen Extrapolation mit den Werten vom LG-SG Modell (Formel 1, Seite 6) verglichen. Da für den Zeitraum 1990-2001 jeweils nur das mittlere Schlachtgewicht bekannt ist, konnten für die Berechnung vom Lebendgewicht die anderen Ko- und Faktorvariablen (Fleischigkeit, Fettdeckung und Alter) nicht berücksichtigt werden.

Weiter ist auch eine Aufteilung in Milch- und Mutterkühe mit dem LG-SG Modell nicht möglich, da diese Unterscheidung bei Schlachtgewichten aus den Archiven der Proviande und Agristat nicht gemacht wurde.

### 2.4.5. Entwicklung des Körpergewichts

Im Rahmen des Projektes wurde die Frage aufgeworfen, in welchem Alter eine Kuh ausgewachsen ist und ihr Endgewicht erreicht hat. Um diese Frage zu beantworten, wurde File5\_Dairy aus der Tabelle 3 und das folgende Modell verwendet.

$$\text{Lebendgewicht}_{ijklm} = \mu + \text{Alter}_i + \text{Alter}_j^2 + \text{Alter}_k^3 + \text{Alter}_l^4 + \text{Alter}_m^5 + \text{residual effect}_{ijklm} (\text{random})$$

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Lebendgewicht und LBE Merkmale

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse aller verwendeter Modelle aufgeführt. Daraus geht hervor was passiert, wenn Ko- und Faktorvariablen hinzugefügt bzw. weggelassen, Interaktionen berücksichtigt oder Transformationen vorgenommen werden. Die kleinen Buchstaben am Ende der Ko- und Faktorvariablen haben folgende Bedeutung:

z = z-Transformation

f = Faktor Variable

c = cosinus Transformation

s = sinus Transformation

Bei Alter\_LG.1, Alter\_LG.2 und Alter\_LG.3 wird der lineare, quadratische und kubische Zusammenhang betrachtet.

Bei der Modellauswahl interessieren wir uns primär für das adjusted  $R^2$ , welches im Vergleich zum  $R^2$  für die Anzahl Variablen im Modell korrigiert wird. Aus der Tabelle 7 geht hervor, dass das adjusted  $R^2$  vom Modell m1 bis hin zu Modell m1g kontinuierlich ansteigt. Die adjusted  $R^2$  der Modelle m1g bis m1i sind dann ziemlich ähnlich und Modell m1j weist dann wieder ein tieferes adjusted  $R^2$  auf. Bei den letzten drei Modellen wird durch die höheren adjusted  $R^2$  deutlich, dass das Merkmal Brustumfang zur Modellierung des Körpergewichts wichtig ist. Da der Brustumfang in der aktuellen LBE nicht mehr erhoben wird, sind die Modelle m1c.B bis m1j.B aber keine Option.

Die Auswirkungen der Modellannahmen auf die adjusted  $R^2$  ist in der Abbildung 3 für die 8 Modelle ohne Brustumfang und die 3 Modelle mit dem Merkmal Brustumfang zusammengefasst dargestellt. Die roten Modelle kommen, wie oben erläutert, nicht mehr für die Herleitung von Lebendgewichten in Frage. Wir können zwischen den Modellen m1g, m1h und m1i wählen. Für die weiteren Arbeiten wurde das Modell m1g verwendet.

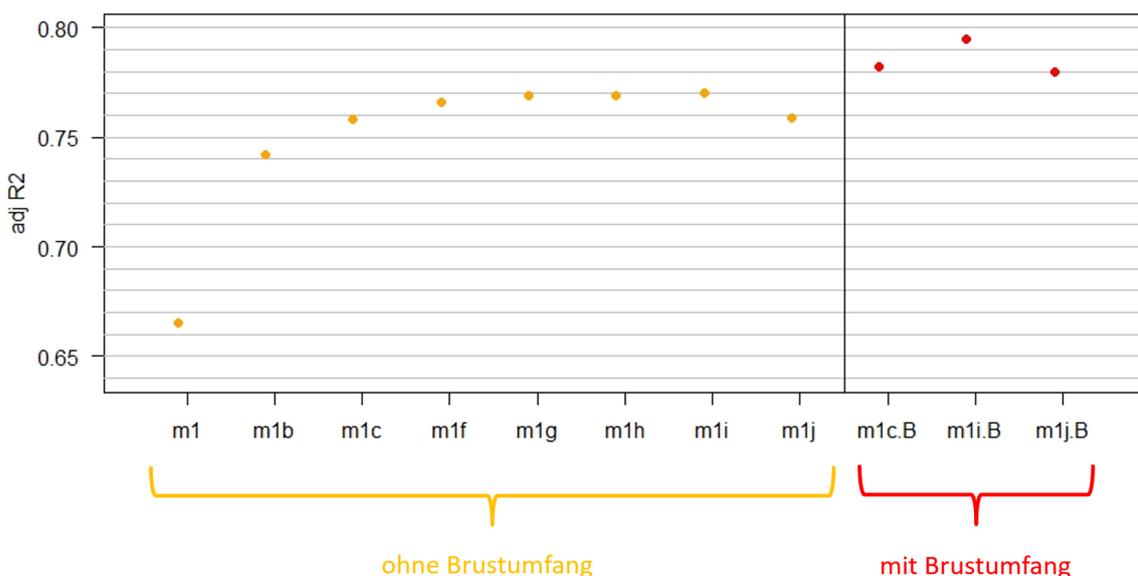


Abbildung 3 Adjusted  $R^2$  zu den Modellen Lebendgewicht und LBE Merkmale

Tabelle 7 Modellergebnisse Lebendgewicht und LBE Merkmale

	Dependent variable:										
	m1	m1b	m1c	m1f	m1g	m1h	m1i	m1j	m1c.B	m1i.B	m1j.B
Kreuzbeinhoehe.z	37.023***	32.376***	35.145***	35.153***	19.317*	16.751*	16.030	33.583***	29.116***	13.987	28.605***
Brustbreite.z	17.612***	17.468***	14.995***	14.905***	15.023***	15.382***	15.606***	15.132***	12.258*	14.762**	11.986*
Flankeniefe.z	5.698	2.645	2.928					2.816	1.959		1.995
Flankeniefe.f3				4.248	1.278	-1.519	-0.216			-0.484	
Flankeniefe.f4				-5.418	-8.979	-11.609	-10.503			-20.273	
Flankeniefe.f5				19.755	16.336	13.779	14.474			9.595	
Flankeniefe.f6				2.648	-1.814	-4.955	-3.355			-10.714	
Flankeniefe.f7				16.891	12.986	12.375	12.238			2.735	
Flankeniefe.f8				18.986	22.208	22.071	21.071			-40.809	
Flankeniefe.f9				5.940	-4.015	-5.763	-6.126				
Beckenmeigung.z	-12.194***	-7.746**	-6.907*	-7.005*	-7.239**	-7.074*	-6.927*	-6.647*	-6.416	-6.042	-6.214
RasseSF	0.081	4.639	4.282	5.631	0.916	1.382	0.926	2.636	7.140	7.079	6.031
Monat_LG.z	7.741*										
Monat_LG.f10		-21.825*	-10.007	-7.846	-16.775	-16.127	-18.646	-12.353	-0.911	-18.989	-2.517
Monat_LG.f11		17.075*	5.961	9.880	-2.575	-2.340	-1.678	6.950	25.360	14.269	24.845
Monat_LG.f12		10.842	16.747	17.852	-0.389	0.059	-0.181	18.198	32.323	13.154	32.787
Laktationsstadium_LG.z	1.710	-0.312									
Laktationsstadium_LG.f1			-12.297	-39.814	-7.892	-32.904	-35.742	-19.560	40.426	-8.517	34.622
Laktationsstadium_LG.f2			91.954*	136.932**	132.142**	144.788**	158.825**	106.263*	65.308	93.281	70.025
Trächtigkeitstsg_LG.z	11.190	11.650	10.942					10.958	9.604		9.928
Alter_LG.z	23.861***										
Trächtigkeitstsg_LG.f1			172.631	172.631	139.568	134.319	128.303			237.413	
Trächtigkeitstsg_LG.f2			-86.952	-86.952	-62.148	-60.322	-60.322			-142.342	
Alter_LG.f1		709.873***	701.470***	718.920***	729.945***	725.612***	725.590***	700.989***	681.309***	713.866***	684.511***
Alter_LG.f2		-251.847***	-258.167***	-261.207***	-265.611***	-263.494***	-264.810***	-261.844***	-216.175***	-204.125***	-222.890***
Kalbmonat_LG.s					6.959	6.959	7.651	67.367		7.239	22.884
Geburtsmonat.c					-4.988	-4.988	-5.204			-6.662	
Geburtsmonat.s					-4.064	-4.064	-3.305			-6.581	
Brustumfang.z									13.688*	10.910	13.769*
RasseSF:Monat_LG.f10			-7.506	-7.821	-1.823	-3.322	-1.901	-4.332	-6.541	-4.715	-4.658
RasseSF:Monat_LG.f11			29.873	33.781	47.550*	44.944*	42.025*	26.384	16.577	36.698	16.220
RasseSF:Monat_LG.f12			-22.934	-24.219	-11.230	-13.982	-13.024	-22.720	-31.100	-23.079	-31.108
Kreuzbeinhoehe.z:Monat_LG.f10					15.924	16.623	15.366			11.195	
Kreuzbeinhoehe.z:Monat_LG.f11					23.461*	23.304*	23.245*			30.647*	
Kreuzbeinhoehe.z:Monat_LG.f12					26.236*	27.036*	28.175*			32.785	
Constant	514.174***	623.854***	621.892***	611.773***	623.535***	625.759***	624.896***	622.474***	608.507***	626.891***	609.165***
Observations	231	231	231	231	231	231	231	231	148	148	148
R <sup>2</sup>	0.678	0.756	0.774	0.789	0.795	0.799	0.800	0.777	0.807	0.837	0.807
Adjusted R <sup>2</sup>	0.665	0.742	0.758	0.766	0.769	0.769	0.770	0.759	0.782	0.795	0.780
Residual Std. Error	44.583 (df = 221)	39.088 (df = 218)	37.898 (df = 214)	37.248 (df = 207)	36.968 (df = 204)	36.956 (df = 201)	36.906 (df = 200)	37.751 (df = 213)	39.109 (df = 130)	37.909 (df = 117)	39.233 (df = 129)
F Statistic	51.624*** (df = 9; 221)	56.159*** (df = 12; 218)	45.925*** (df = 16; 214)	33.706*** (df = 23; 207)	30.505*** (df = 26; 204)	27.476*** (df = 29; 201)	26.683*** (df = 30; 200)	43.719*** (df = 17; 213)	31.997*** (df = 17; 130)	20.010*** (df = 30; 117)	30.039*** (df = 18; 129)

Note: \* p<0.05; \*\* p<0.01; \*\*\* p<0.001

Im Rahmen des Projektes wurde auch immer wieder die Wichtigkeit der Rasse im Modell diskutiert. Schauen wir uns dazu Modell m1g mit und ohne Rasse an (Tabelle 8). Beim Vergleich wird deutlich, dass sich das adjusted R<sup>2</sup> ohne Rasse nur sehr wenig abnimmt und folglich die Rasse keine zentrale Rolle in dem Modell spielt. Diese Erkenntnis stimmt mit den Folgerungen von Cutullic et al. (2011) überein.

**Tabelle 8 Modellergebnisse Modell m1g mit und ohne Rasse**

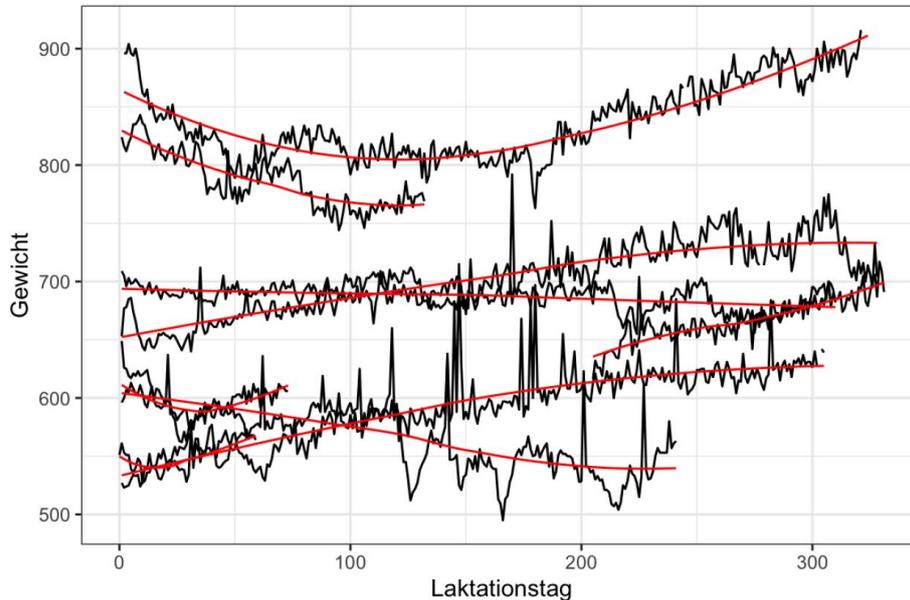
	<i>Dependent variable:</i>	
	Gewicht	
	(1)	(2)
Kreuzbeinhöhe.z	19.317*	18.561*
Brustbreite.z	15.023***	16.686***
Flankentiefe.f3	1.278	2.863
Flankentiefe.f4	-8.979	-5.772
Flankentiefe.f5	16.336	15.769
Flankentiefe.f6	-1.814	-1.494
Flankentiefe.f7	12.986	14.881
Flankentiefe.f8	22.208	21.078
Flankentiefe.f9	-4.015	-4.825
Beckenneigung.z	-7.239**	-6.199*
RasseSF	0.916	
Monat_LG.f10	-16.775	-18.707*
Monat_LG.f11	-2.575	14.668
Monat_LG.f12	-0.389	-6.785
Laktationsstadium_LG.1	-7.892	-16.592
Laktationsstadium_LG.2	132.142**	135.851**
Traechtigkeitstag_LG.1	139.568	181.585*
Traechtigkeitstag_LG.2	-81.875	-55.494
Alter_LG.1	729.943***	715.133***
Alter_LG.2	-265.611***	-283.462***
RasseSF:Monat_LG.f10	-1.823	
RasseSF:Monat_LG.f11	47.550*	
RasseSF:Monat_LG.f12	-11.230	
Kreuzbeinhöhe.z:Monat_LG.f10	15.924	16.650
Kreuzbeinhöhe.z:Monat_LG.f11	23.461*	9.447
Kreuzbeinhöhe.z:Monat_LG.f12	26.236*	28.673*
Constant	623.535***	624.546***
Observations	231	231
R <sup>2</sup>	0.795	0.784
Adjusted R <sup>2</sup>	0.769	0.761
Residual Std. Error	36.968 (df = 204)	37.612 (df = 208)
F Statistic	30.505*** (df = 26; 204)	34.332*** (df = 22; 208)

Note:

\* p<0.05; \*\* p<0.01; \*\*\* p<0.001

### 3.2. Lebendgewichte und LBE Merkmale von Lely Betrieben

Damit die Gewichte der Lely Roboter für die Validierung verwendet werden konnten, musste vorgängig eine Glättung und Imputierung durchgeführt werden (Abbildung 4).



**Abbildung 4 Gewichtscurven Lely Tiere (Rohdaten und korrigiert)**

Für die Validierung wurde Modell m1g aus Kapitel 3.1 verwendet (natürlich könnte man auch die Modelle m1h oder m1i verwenden, weil diese fast denselben Anteil Varianz erklären). Modell m1g setzt sich wie folgt zusammen:

#### Modell m1g

$$\begin{aligned} \text{Gewicht} = & \mu + \text{Kreuzbeinhöhe.z} + \text{Brustbreite.z} + \text{Flankentiefe.f} + \text{Beckenneigung.z} + \\ & \text{Rasse} + \text{Monat\_LG.f} + \text{Laktationsstadium\_LG.1} + \text{Laktationsstadium\_LG.2} + \\ & \text{Trachtigkeitstag\_LG.1} + \text{Trachtigkeitstag\_LG.2} + \text{Alter\_LG.1} + \text{Alter\_LG.2} + \\ & \text{Monat\_LG.f} \times \text{Rasse} + \text{Monat\_LG.f} \times \text{Kreuzbeinhöhe.z} + \text{Rest} \end{aligned}$$

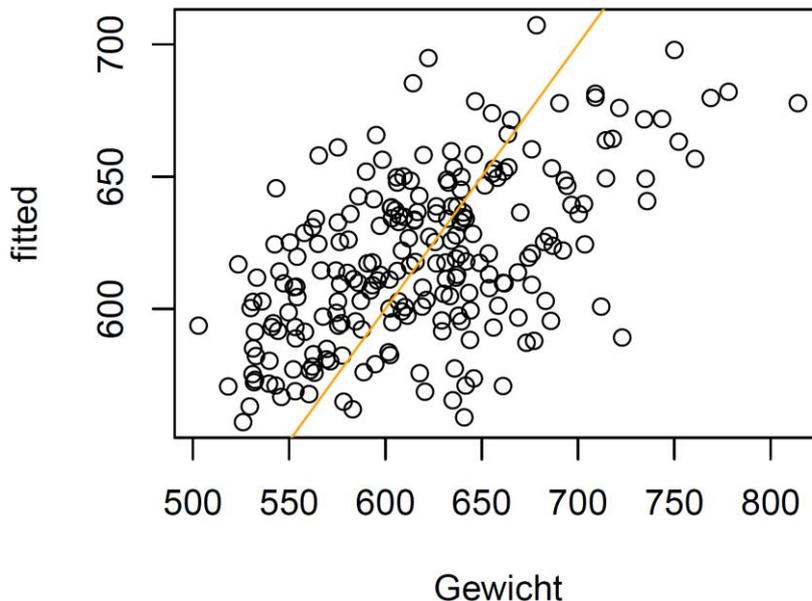
Für die sogenannte out of data Validation wird ein Datensatz mit denselben Ko- und Faktorvariablen benötigt. Weiter müssen im Validierungsdatsatz auch alle Faktorstufen mit jenen vom Modell m1g übereinstimmen. Der erste Punkt ist bei den Lely Tieren erfüllt, der zweite jedoch nicht. Die Lely Tiere weisen beim Faktor Monat\_LG.f andere Faktorstufen auf. Damit die Validierung möglich ist, muss der Faktor Monat\_LG.f aus dem Modell m1g entfernt werden.

In einem zweiten Schritt wurde dann das komplette Modell m1g auch noch für die Lely Daten verwendet. Wir haben für die Validierung mit den vier Modellen/Datensätzen in Tabelle 9 gearbeitet.

**Tabelle 9 Modellbeschreibung**

Modell	Daten Lebendgewichte	Beschreibung
m1g	Hohenrain Projekt	Modell aus Tabelle 7 (Lebendgewicht wird basierend auf LBE Merkmalen modelliert). Dieses Modell soll mit Lely-Daten validiert werden.
m2	Hohenrain Projekt	Modell m1g ohne den Faktor Monat_LG.f.
m3	Lely	Validierung von Modell m1g aus Zeile 1 mit Lely Daten ohne den Faktor Monat_LG.f
m1g_Lely	Lely	Modell m1g mit Lely Daten

Die Ergebnisse zu diesen vier Modellen finden wir in der Tabelle 10. Wir interessieren uns primär wieder für den Vergleich vom adjusted  $R^2$ . Wenn wir für die Validierung bei Modell m1g den Faktor Monat\_LG.f rauswerfen (Modell m2), sinkt das adjusted  $R^2$  von 76.9% auf 73.8% (Tabelle 10). Wenn wir Modell m2 zum predicten vom Gewicht mit den Lely Daten verwenden (Modell m3), erreichen wir mit 29.5% nur ein tiefes adjusted  $R^2$ . Obwohl wir also mit den Daten des Hohenrain Projekts ein relativ hohes adjusted  $R^2$  erzielen, hält dieses der out of data Validation mit den Lely Daten (Modell m3) nicht Stand. Modell m1g scheint also nur für die Daten des Hohenrain Projekts gut zu passen, lässt sich aber nicht „verallgemeinern“. Deutlich wird das tiefe adjusted  $R^2$  von Modell m3 auch, wenn man in einem Plot fitted values vs Gewicht (Zielvariable) darstellt (Abbildung 5).



**Abbildung 5 Fitted values vs Gewicht vom Modell m3 aus Tabelle 9**

Aus Neugierde habe ich dann noch Modell m1g mit den Lely Daten gefittet (Modell m1g\_ley). Damit steigt zwar das adjusted  $R^2$  wieder auf 55.4% an (Tabelle 10). Das hat aber nichts mehr mit der Validierung zu tun. Dieser Punkt zeigt auf, dass es auch bei den Lely Tieren einen rel. hohen linearen Zusammenhang zwischen dem Lebendgewicht und den LBE Merkmalen gibt. Dieser scheint aber nicht derselbe zu sein, wie bei den Tieren aus dem HAFL-Projekt von Stefan Probst.

Tabelle 10 Fixe Effekte und p-Werte der Modelle m1g, m2, m3 und m1g\_Lely zu Tabelle 9

<i>Predictors</i>	Modell m1g		Modell m2		Modell m3		Modell m1g_Lely	
	<i>Estimates</i>	<i>p</i>	<i>Estimates</i>	<i>p</i>	<i>Estimates</i>	<i>p</i>	<i>Estimates</i>	<i>p</i>
(Intercept)	623.54	<0.001	613.76	<0.001	352.61	<0.001	605.69	<0.001
Kreuzbeinhoehe.z	19.32	0.020	37.89	<0.001			11.40	0.229
Brustbreite.z	15.02	<0.001	16.96	<0.001			30.51	<0.001
Flankentiefe.f [3]	1.28	0.950	6.47	0.758			36.00	0.167
Flankentiefe.f [4]	-8.98	0.623	1.48	0.938			26.68	0.271
Flankentiefe.f [5]	16.34	0.364	24.16	0.197			35.02	0.142
Flankentiefe.f [6]	-1.81	0.919	4.77	0.797			29.88	0.208
Flankentiefe.f [7]	12.99	0.490	23.84	0.229			23.37	0.339
Flankentiefe.f [8]	22.21	0.374	19.77	0.447			61.01	0.094
Flankentiefe.f [9]	-4.02	0.903	5.45	0.873			13.75	0.713
Beckenneigung.z	-7.24	0.008	-7.99	0.004			-4.46	0.135
Rasse [SF]	0.92	0.943	-1.75	0.803			9.08	0.735
Monat_LG.f [10]	-16.77	0.173					-14.44	0.349
Monat_LG.f [11]	-2.57	0.809					-48.16	0.228
Monat_LG.f [12]	-0.39	0.978					-8.56	0.643
Laktationsstadium_LG.1	-7.89	0.928	-38.18	0.669			19.71	0.770
Laktationsstadium_LG.2	132.14	0.004	150.15	0.002			-48.85	0.289
Trachtigkeitstag_LG.1	139.57	0.132	221.91	0.017			49.59	0.389
Trachtigkeitstag_LG.2	-81.88	0.111	24.14	0.622			33.16	0.458
Alter_LG.1	729.94	<0.001	691.66	<0.001			209.09	<0.001
Alter_LG.2	-265.61	<0.001	-300.24	<0.001			-32.71	0.452
Rasse [SF] * Monat_LG.f [10]	-1.82	0.917					-8.37	0.809
Rasse [SF] * Monat_LG.f [11]	47.55	0.016					-41.50	0.490
Rasse [SF] * Monat_LG.f [12]	-11.23	0.601					-62.23	0.292
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [10]	15.92	0.105					5.57	0.690
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [11]	23.46	0.037						
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [12]	26.24	0.036					8.97	0.583

Gewicht.pred	0.43	<0.001		
Monat_LG.f [2]			-27.54	<b>0.048</b>
Monat_LG.f [3]			6.54	0.755
Monat_LG.f [5]			-14.83	0.200
Monat_LG.f [6]			-63.04	<b>&lt;0.001</b>
Monat_LG.f [7]			-12.73	0.283
Monat_LG.f [8]			-24.43	0.117
Monat_LG.f [9]			-23.02	0.093
Rasse [SF] * Monat_LG.f [5]			39.28	0.268
Rasse [SF] * Monat_LG.f [6]			-35.63	0.463
Rasse [SF] * Monat_LG.f [7]			-83.53	<b>0.041</b>
Rasse [SF] * Monat_LG.f [8]			-17.36	0.753
Rasse [SF] * Monat_LG.f [9]			-29.27	0.590
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [2]			15.22	0.336
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [3]			25.85	0.203
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [5]			-0.47	0.966
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [6]			-9.96	0.571
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [7]			3.61	0.758
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [8]			6.92	0.698
Kreuzbeinhoehe.z * Monat_LG.f [9]			17.68	0.208

---

Observations	231	231	227	227
--------------	-----	-----	-----	-----

$R^2$ / $R^2$ adjusted	0.795 / 0.769	0.758 / 0.738	0.298 / 0.295	0.641 / 0.554
------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

### 3.3. Schlachtgewicht und LBE Merkmale

Obwohl wichtige Ko- und Faktorvariablen im Modell für das Schlachtgewicht und die LBE Merkmale fehlen, macht das sehr tiefe adjusted  $R^2$  von 16.6% deutlich, dass die Modellierung des Schlachtgewichts basierend auf LBE Merkmalen kein einfaches Vorhaben ist (Tabelle 11).

Dieser Ansatz scheint ungeeignet, um die vorliegenden Forschungsfragen zu beantworten. Eine frühe Vorhersage des Schlachtgewichts basierend auf den LBE-Ergebnissen in der ersten Laktation wird deshalb als nicht zielführend beurteilt.

**Tabelle 11 Ergebnisse zum Modell Schlachtgewicht und LBE Merkmale**

	<i>Dependent variable:</i>
	Schlachtgewicht
Kreuzbeinhöhe.z	14.434**
Brustbreite.z	14.651***
Flankentiefe.z	-6.171
Beckenneigung.z	-0.743
RasseSF	4.214
Monat_SG.z	2.911
Alter_SG.z	-0.417
Constant	297.056***
Observations	150
$R^2$	0.205
Adjusted $R^2$	0.166
Residual Std. Error	42.586 (df = 142)
F Statistic	5.232*** (df = 7; 142)
<i>Note:</i>	* $p < 0.05$ ; ** $p < 0.01$ ; *** $p < 0.001$

### 3.4. Lebend- und Schlachtgewichte

#### 3.4.1. Modellierung der Lebendgew. für den Zeitraum 2002-2020

In der Tabelle 12 sind Ergebnisse für die sechs Modelle zwischen Lebend- und Schlachtgewichten dargestellt. Diese beinhalten sowohl die Daten von Milch- als auch Mutterkühen (File2; n=81'556). In der Tabelle 13 und der Tabelle 14 finden wir die Modellergebnisse getrennt nach Milch- und Mutterkühen. Diese Auftrennung führt bei den Milchkühen (File2\_dairy; n=78'328) zu einem höheren adjusted R<sup>2</sup> (Tabelle 13). Weiter geht aus allen drei Tabellen hervor, dass der grösste Teil der Varianz vom Lebendgewicht durch das Schlachtgewicht erklärt wird. Das ist auch der Grund dafür, weshalb alle sechs Modelle gezeigt werden und nicht nur jeweils Modell 3. Jahr, Monat, Fleischigkeit, Fettabdeckung und Alter spielen im Vergleich zum Schlachtgewicht nur eine kleine Rolle.

Für die Berechnung der mittleren Lebendgewichte 2002-2020 wurden bei allen drei Varianten (Milch- und Mutterkuh, Milchkuh, Mutterkuh) jeweils Modell 3 verwendet. Eine Trennung in Milch- und Mutterkühe scheint sinnvoll und kann mit den Informationen der Identitas AG problemlos gemacht werden (Abbildung 7, Tabelle 16).

Für die Berechnung von künftigen mittleren Lebendgewichten wird allerdings vorgeschlagen, Modell 6 zu verwenden. Das adjusted R<sup>2</sup> ist da zwar etwas tiefer, aber dann braucht man für die Berechnung des Lebendgewichts nur das mittlere Schlachtgewicht. Wenn man es noch etwas exakter haben möchte, könnte man natürlich auch eines der ersten 5 Modelle verwenden. Dann benötigt man aber zur Berechnung des mittleren Lebendgewichtes nicht nur das mittlere Schlachtgewicht, sondern auch alle anderen Ko- und Faktorvariablen. Diese Infos zu erhalten dürfte, wenn man nur an Mittelwerten interessiert ist, vergleichsweise aufwändig sein.

**Tabelle 12 Ergebnisse Modelle Lebend- und Schlachtgewichte bei Milch- und Mutterkühen**

	Dependent variable:						
	(1)	(2)	(3)	LG	(4)	(5)	(6)
SG	1.892***	1.891***	1.895***		1.753***	1.452***	1.475***
SG_Jahr2018	0.241						
SG_Jahr2019	-1.700***						
SG_Jahr2020	-0.712*						
SG_Monat2	-0.018	-0.146					
SG_Monat3	-1.023	-1.048					
SG_Monat4	-8.700***	-8.843***					
SG_Monat5	-14.050***	-14.129***					
SG_Monat6	-12.130***	-12.129***					
SG_Monat7	-10.742***	-10.504***					
SG_Monat8	-14.559***	-14.394***					
SG_Monat9	-17.374***	-17.231***					
SG_Monat10	-13.206***	-12.971***					
SG_Monat11	-3.729***	-3.555***					
SG_Monat12	0.330	0.535					
SG_Fleischigkeit2X	5.263***	5.281***	4.962***		5.311***		
SG_Fleischigkeit3X	12.020***	12.035***	11.202***		10.122***		
SG_FleischigkeitA	-8.340***	-8.370***	-8.730***		-11.573***		
SG_FleischigkeitC	-122.031***	-121.954***	-121.744***		-122.851***		
SG_FleischigkeitH	-72.832***	-72.785***	-72.819***		-77.579***		
SG_FleischigkeitT	-30.815***	-30.815***	-31.197***		-37.163***		
SG_FleischigkeitT-	-17.418***	-17.437***	-17.771***		-22.677***		
SG_FleischigkeitT+	-48.181***	-48.187***	-48.442***		-53.989***		
SG_Fett2	-11.273***	-11.265***	-10.523***				
SG_Fett3	-21.410***	-21.321***	-20.354***				
SG_Fett4	-31.996***	-31.922***	-30.931***				
SG_Fett5	-49.251***	-49.205***	-48.924***				
SG_Alter.1	2392.496***	2394.232***	2356.657***		2782.720***	2525.681***	
SG_Alter.2	-1729.300***	-1732.352***	-1721.630***		-1955.218***	-2405.073***	
Constant	136.394***	136.004***	126.330***		161.730***	230.085***	222.601***
Observations	81556	81556	81556		81556	81556	81556
R <sup>2</sup>	0.863	0.863	0.856		0.846	0.801	0.776
Adjusted R <sup>2</sup>	0.863	0.862	0.856		0.846	0.801	0.776
Residual Std. Error	28.915 (df = 81526)	28.925 (df = 81529)	29.604 (df = 81540)		30.569 (df = 81544)	34.813 (df = 81552)	36.876 (df = 81554)
F Statistic	17650.500*** (df = 29; 81526)	19671.190*** (df = 26; 81529)	32304.290*** (df = 15; 81540)		40854.890*** (df = 11; 81544)	109273.500*** (df = 3; 81552)	283294.700*** (df = 1; 81554)

Note:

\*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001

Tabelle 13 Ergebnisse Modelle Lebend- und Schlachtgewichte bei Milchkühen

	Dependent variable:					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SG	1.891***	1.890***	1.893***	1.748***	1.483***	1.505***
SG_Jahr2018	0.260					
SG_Jahr2019	-1.519***					
SG_Jahr2020	-0.589					
SG_Monat2	-0.014	-0.130				
SG_Monat3	-1.281*	-1.304*				
SG_Monat4	-8.815***	-8.952***				
SG_Monat5	-14.209***	-14.280***				
SG_Monat6	-12.194***	-12.188***				
SG_Monat7	-10.608***	-10.400***				
SG_Monat8	-14.296***	-14.155***				
SG_Monat9	-17.121***	-16.999***				
SG_Monat10	-13.217***	-13.013***				
SG_Monat11	-3.729***	-3.581***				
SG_Monat12	0.384	0.564				
SG_Fleischigkeit2X	5.293***	5.310***	4.995***	5.273***		
SG_Fleischigkeit3X	12.084***	12.097***	11.269***	10.043***		
SG_FleischigkeitA	-8.308***	-8.333***	-8.698***	-11.445***		
SG_FleischigkeitC	-93.683***	-93.591***	-92.780***	-96.004***		
SG_FleischigkeitH	-66.751***	-66.693***	-66.550***	-70.065***		
SG_FleischigkeitT	-30.593***	-30.587***	-30.972***	-36.596***		
SG_FleischigkeitT-	-17.348***	-17.363***	-17.696***	-22.383***		
SG_FleischigkeitT+	-46.717***	-46.707***	-46.955***	-51.868***		
SG_Fett2	-11.173***	-11.164***	-10.425***			
SG_Fett3	-21.227***	-21.143***	-20.191***			
SG_Fett4	-31.913***	-31.841***	-30.870***			
SG_Fett5	-46.296***	-46.282***	-45.970***			
SG_Alter.1	2444.817***	2446.454***	2412.097***	2834.641***	2719.337***	
SG_Alter.2	-1600.932***	-1603.305***	-1596.300***	-1821.222***	-2118.133***	
Constant	136.492***	136.190***	126.642***	163.061***	221.900***	214.896***
Observations	78328	78328	78328	78328	78328	78328
R <sup>2</sup>	0.863	0.863	0.856	0.847	0.813	0.788
Adjusted R <sup>2</sup>	0.863	0.863	0.856	0.847	0.813	0.788
Residual Std. Error	28.601 (df = 78298)	28.610 (df = 78301)	29.283 (df = 78312)	30.208 (df = 78316)	33.361 (df = 78324)	35.547 (df = 78326)
F Statistic	16994.120*** (df = 29; 78298)	18942.150*** (df = 26; 78301)	31102.940*** (df = 15; 78312)	39424.810*** (df = 11; 78316)	113820.200*** (df = 3; 78324)	291416.100*** (df = 1; 78326)

Note:

\*p&lt;0.05; \*\*p&lt;0.01; \*\*\*p&lt;0.001

Tabelle 14 Ergebnisse Modelle Lebend- und Schlachtgewichte bei Mutterkühen

	Dependent variable:					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SG	1.732***	1.732***	1.740***	1.697***	1.464***	1.471***
SG_Jahr2018	-2.767					
SG_Jahr2019	-5.779					
SG_Jahr2020	-2.628					
SG_Monat2	0.480	0.494				
SG_Monat3	2.006	1.491				
SG_Monat4	-5.225	-5.832				
SG_Monat5	-12.540*	-12.847*				
SG_Monat6	-13.088**	-13.078**				
SG_Monat7	-12.817**	-11.936**				
SG_Monat8	-14.145***	-13.287**				
SG_Monat9	-17.647***	-16.561***				
SG_Monat10	-10.741*	-9.818*				
SG_Monat11	3.263	3.804				
SG_Monat12	-5.160	-4.751				
SG_Fleischigkeit2X	53.595	51.374	40.188	39.286		
SG_Fleischigkeit3X	66.139*	68.639*	76.774*	75.201*		
SG_FleischigkeitA	2.204	2.122	-1.987	-6.238		
SG_FleischigkeitC	-68.163***	-67.837***	-69.714***	-76.391***		
SG_FleischigkeitH	-32.023*	-31.624*	-33.839*	-43.776**		
SG_FleischigkeitT	-1.598	-1.251	-2.763	-12.280		
SG_FleischigkeitT-	-7.067	-5.844	-5.845	-13.748		
SG_FleischigkeitT+	-16.334	-16.000	-17.515	-27.910		
SG_Fett2	-4.020	-3.658	-3.592			
SG_Fett3	-15.988***	-15.471***	-16.049***			
SG_Fett4	-20.802***	-20.154***	-20.364***			
SG_Fett5	-35.017***	-34.233***	-35.283***			
SG_Alter.1	220.111***	220.840***	223.318***	262.017***	244.043***	
SG_Alter.2	-101.226**	-101.346**	-93.870**	-93.040**	-56.663	
Constant	127.362***	122.600***	114.540***	124.173***	161.081***	158.235***
Observations	1125	1125	1125	1125	1125	1125
R <sup>2</sup>	0.924	0.924	0.920	0.915	0.889	0.884
Adjusted R <sup>2</sup>	0.922	0.922	0.919	0.914	0.889	0.884
Residual Std. Error	30.172 (df = 1095)	30.185 (df = 1098)	30.789 (df = 1109)	31.728 (df = 1113)	36.087 (df = 1121)	36.817 (df = 1123)
F Statistic	459.588*** (df = 29; 1095)	512.043*** (df = 26; 1098)	849.464*** (df = 15; 1109)	1084.554*** (df = 11; 1113)	2987.324*** (df = 3; 1121)	8563.719*** (df = 1; 1123)

Note:

\*p&lt;0.05; \*\*p&lt;0.01; \*\*\*p&lt;0.001

### 3.4.2. Lineare Extrapolation für den Zeitraum vor 2002

Auf den folgenden Seiten sind einerseits die Ergebnisse der Modellierung der Lebendgewichte für 2002-2020 sowie die Extrapolation zurück bis 1990 über alle Kühe sowie getrennt nach Milch- und Mutterkühen dargestellt (Abbildung 6, Abbildung 7, Tabelle 15, Tabelle 16).

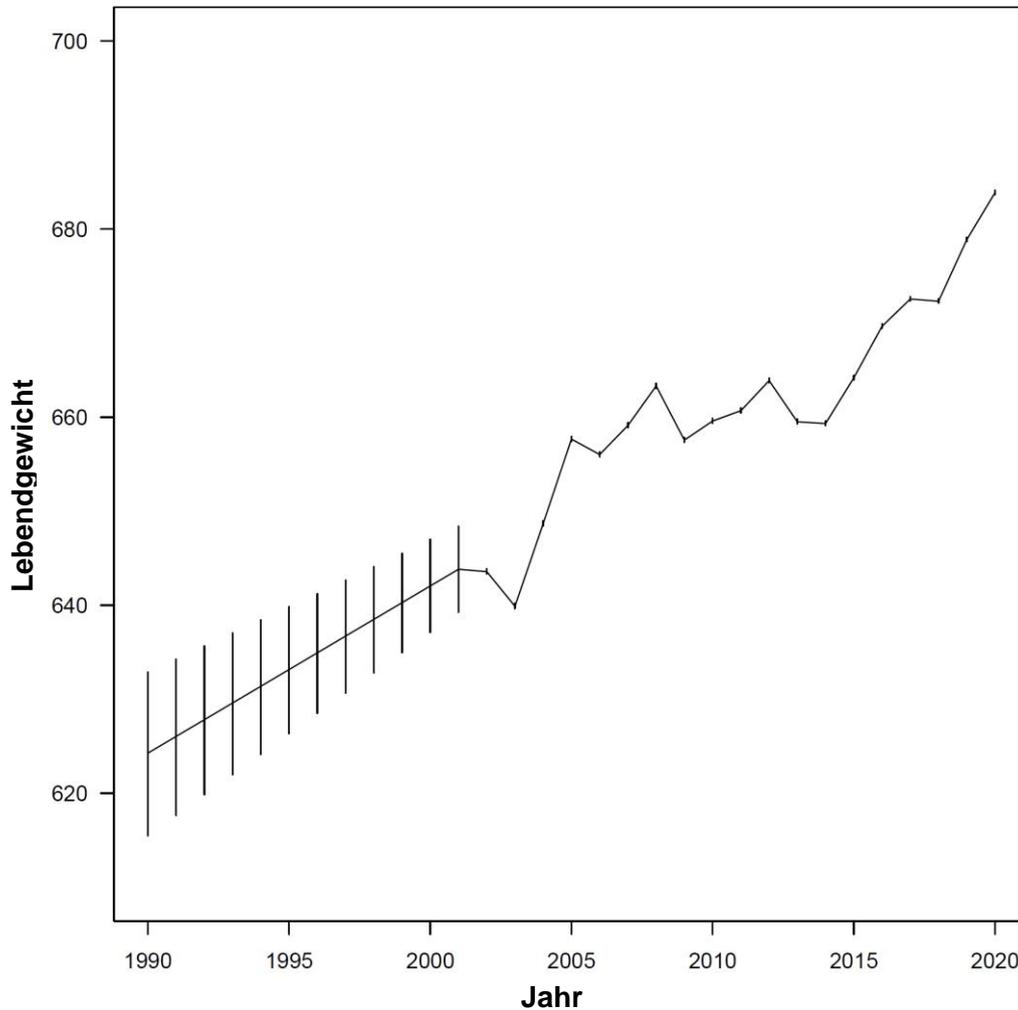


Abbildung 6 Modellierte Lebendgewichte für den Zeitraum 2002-2020 und daraus extrapolierte Lebendgewichte für den Zeitraum 1990-2001 (Milch- und Mutterkühe)

**Tabelle 15 Daten zur Abbildung 6**

<b>Jahr</b>	<b>LG</b>	<b>lower</b>	<b>upper</b>
1990	624.2656	615.4862	632.864
1991	626.0435	617.6565	634.243
1992	627.8214	619.8444	635.6359
1993	629.5993	621.983	637.0381
1994	631.3772	624.155	638.4183
1995	633.1551	626.3447	639.8201
1996	634.933	628.5117	641.2294
1997	636.7109	630.6689	642.6527
1998	638.4888	632.8147	644.0789
1999	640.2667	634.9496	645.5168
2000	642.0445	637.1101	646.9753
2001	643.8224	639.2683	648.3764
2002	643.5717	643.3308	643.8793
2003	639.8867	639.6446	640.1789
2004	648.6799	648.4502	648.9642
2005	657.6592	657.4305	657.942
2006	656.0229	655.7919	656.3025
2007	659.1113	658.8741	659.3869
2008	663.3157	663.068	663.5969
2009	657.5537	657.3272	657.8359
2010	659.5845	659.359	659.8618
2011	660.6755	660.4616	660.9437
2012	663.8823	663.6746	664.1459
2013	659.5021	659.2988	659.774
2014	659.3222	659.1171	659.5902
2015	664.1864	663.9813	664.4471
2016	669.6592	669.4541	669.914
2017	672.5607	672.3694	672.806
2018	672.3224	672.1382	672.5719
2019	678.8702	678.6821	679.1257
2020	683.8661	683.6744	684.1182

Die unterschiedlichen Kurvenverläufe bei den Milch- und Mutterkühen, dürften primär auf die Veränderungen bei den Zuchtstrategien zurückzuführen sein. In den 90er Jahren waren Zweinutzungsrasen (Milch- und Fleischproduktion) bei den Milchrindern viel häufiger, als das heute noch der Fall ist. In den vergangenen Jahren 20 Jahren wurde bei viele CH-Milchviehrassen die Milchleistung, auf Kosten der Fleischleistung, gesteigert. Es fand eine Spezialisierung statt. Wer Milch produzieren wollte konzentrierte sich auf die Milchproduktion und entfernte sich von der Zweinutzungs Kuh. Die Fleischproduzenten tauschten dagegen Milch- gegen Mutterkühe. Die Spezialisierung dürfte auch der Grund dafür sein, weshalb ab 2010 die Mutterkühe im Mittel etwas schwerer sind als die Milchkühe.

Weshalb dies in den 90er Jahren gerade umgekehrt ist, kann hier nicht beantwortet werden. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass die Unterschiede nur klein und die Vertrauensintervalle rel. gross sind. Ebenfalls unklar ist, wodurch die Schwankungen verursacht werden.

Der Anstieg vom Lebendgewicht in den vergangenen 20 Jahren wird auf die Veränderung der Widerristhöhe zurückgeführt. Kühe wurden immer grösser.

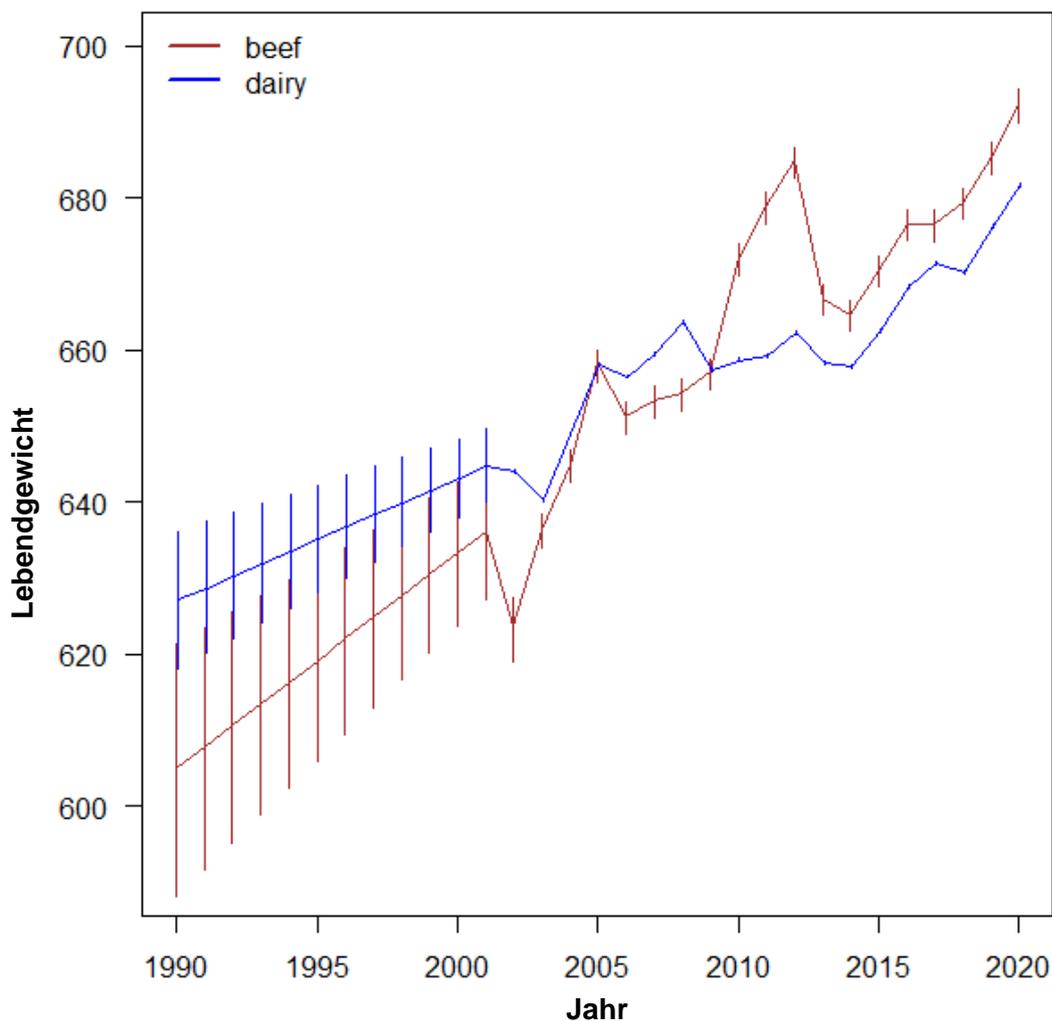
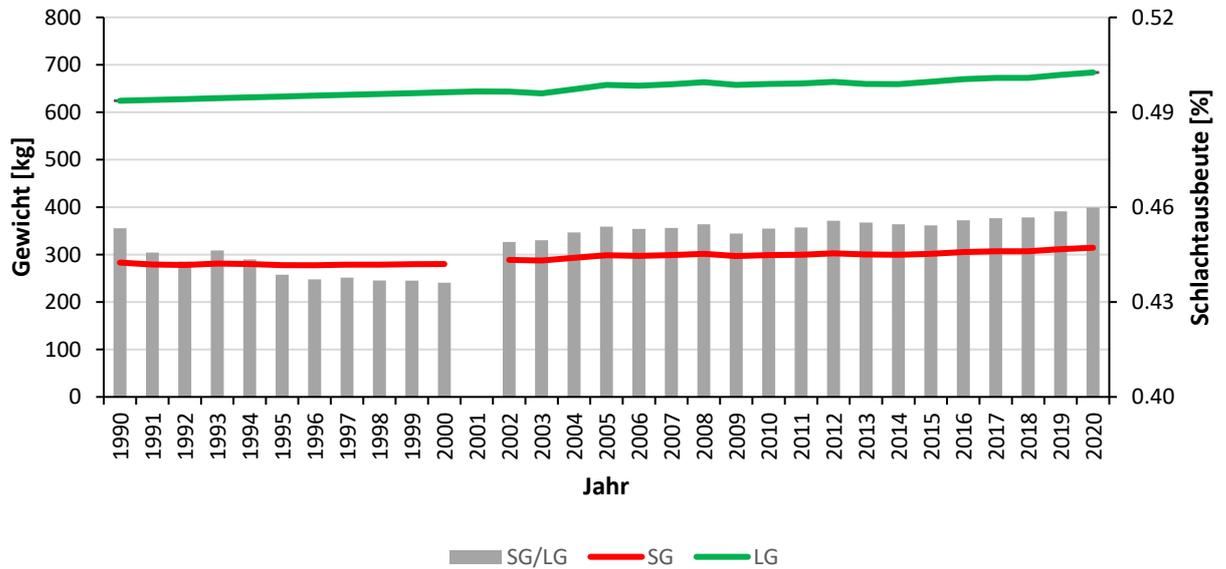


Abbildung 7 Modellierte Lebendgewichte für den Zeitraum 2002-2020 und daraus extrapolierte Lebendgewichte für den Zeitraum 1990-2001 (getrennt nach Milch- und Mutterkühen)

Tabelle 16 Daten zur Abbildung 7

Jahr	dairy			beef		
	LG	lower	upper	LG	lower	upper
1990	627.0	618.0	636.1	605.2	588.9	621.2
1991	628.6	620.0	637.3	608.1	592.4	623.3
1992	630.2	622.0	638.4	610.9	595.9	625.5
1993	631.8	624.0	639.6	613.7	599.5	627.7
1994	633.4	626.0	640.9	616.6	603.0	629.7
1995	635.0	628.0	642.1	619.4	606.6	631.9
1996	636.6	630.0	643.3	622.2	610.1	634.1
1997	638.2	632.0	644.5	625.1	613.7	636.2
1998	639.8	634.0	645.7	627.9	617.2	638.4
1999	641.5	635.9	646.9	630.7	620.7	640.6
2000	643.1	637.9	648.2	633.5	624.2	642.8
2001	644.7	639.9	649.4	636.4	627.6	644.9
2002	643.9	643.7	644.2	623.7	619.1	628.1
2003	640.2	639.9	640.5	636.7	634.1	638.6
2004	648.9	648.7	649.2	645.2	642.7	647.4
2005	657.9	657.6	658.2	658.3	655.5	660.5
2006	656.4	656.2	656.7	651.4	648.9	653.6
2007	659.4	659.1	659.6	653.6	651.1	655.7
2008	663.6	663.4	663.9	654.5	651.7	656.6
2009	657.2	657.0	657.5	657.2	654.7	659.3
2010	658.6	658.4	658.8	672.1	669.6	674.3
2011	659.2	658.9	659.4	679.0	676.6	681.1
2012	662.2	662.0	662.5	684.9	682.6	687.0
2013	658.2	658.0	658.4	666.8	664.7	668.7
2014	657.7	657.5	658.0	664.8	662.7	666.7
2015	662.4	662.2	662.6	670.6	668.3	672.6
2016	668.2	668.0	668.4	676.7	674.5	678.6
2017	671.2	671.0	671.5	676.7	674.6	678.6
2018	670.1	669.8	670.3	679.4	677.4	681.4
2019	676.2	676.0	676.5	685.5	683.3	687.3
2020	681.5	681.3	681.8	692.3	690.2	693.9

Wie im Kap. 2.4 mit der Tabelle 6 bereits erläutert wurde, dient Abbildung 8 zur Validierung der extrapolierten Werte. Extrapoliert wurde die grüne Linie für den Zeitraum 1990-2001. Für diesen Zeitraum konnten die mittleren Schlachtgewichte aus dem Archiv von Daniel Erdin und der Proviande verwendet werden, um die Schlachtausbeute zu berechnen. Da für den Zeitraum 1990-2001 die ermittelten Schlachtausbeuten im plausiblen Bereich liegen, ist davon auszugehen, dass die Extrapolation funktioniert hat.



**Abbildung 8 Entwicklung von Lebend-/Schlachtgewicht und Schlachtausbeute von 1990-2020 für Milch- und Mutterkühe**

### 3.4.3. Vergleich Extrapolation und LG-SG Modell

Wie bereits im Kapitel 2.4.4 erwähnt wurde, ist beim LG-SG Modell eine Trennung zwischen Milch- und Mutterkühen nicht möglich. Der vorliegende Vergleich basiert deshalb auf Milch- und Mutterkühen. Natürlich war der Anteil Mutterkühe vor 2000 sehr klein, weshalb die Zahlen primär auf Milchkühen beruhen dürften.

Die Unterschiede zwischen der Extrapolation und dem LG-SG Modell sind sehr klein (Abbildung 9). Der grösste Unterschied findet sich im Jahr 1990 mit 15.8kg und der kleinste im Jahr 1995 mit 0.9kg. Es scheint also keine Rolle zu spielen, welche der beiden Varianten man verwendet. Für die Variante mit der Extrapolation sprechen folgende Punkte:

- Hier können wir auch 95% Vertrauensintervalle berechnen (siehe Whiskers in Abbildung 9). Bei der Variante mit dem LG-SG Modell ist das nicht möglich, weil wir nur einen einzigen Wert pro Jahr haben.
- Im Jahr 2001 fehlt die Info zum mittleren Schlachtgewicht. Bei der Extrapolation ist das kein Problem, beim LG-SG Modell dagegen schon.

Es wird empfohlen die Extrapolation zu verwenden.

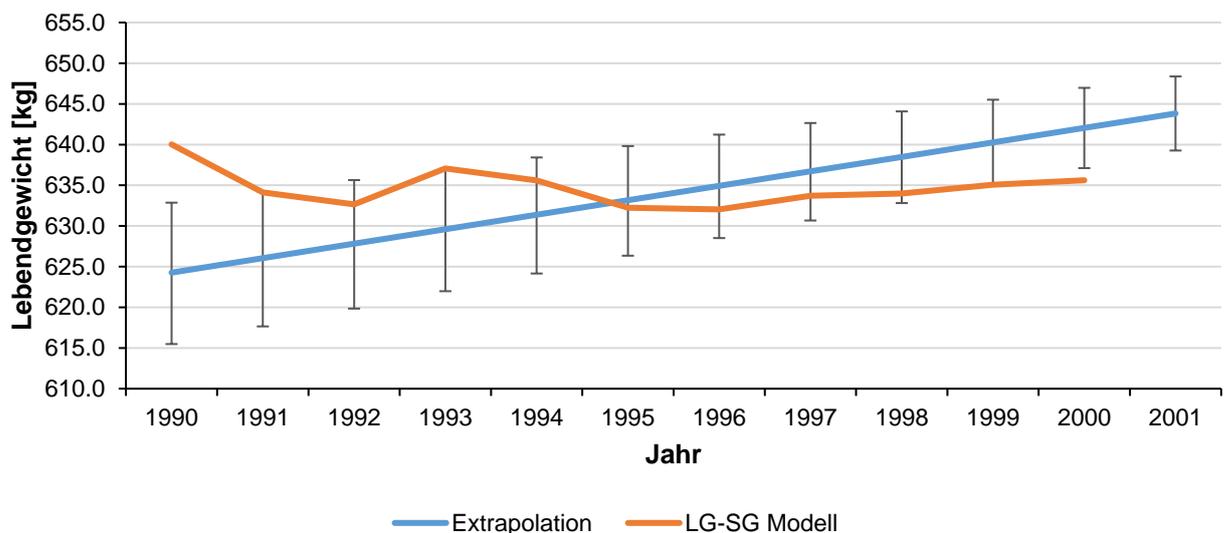


Abbildung 9 Vergleich Extrapolation und LG-SG Modell

### 3.4.4. Entwicklung des Körpergewichts

Kühe legen bis zum Alter von ca. 2000 Tagen (~5.5 Jahren) an Körpergewicht zu und verlieren dann mit zunehmendem Alter wieder an Gewicht (Abbildung 10, Tabelle 17).

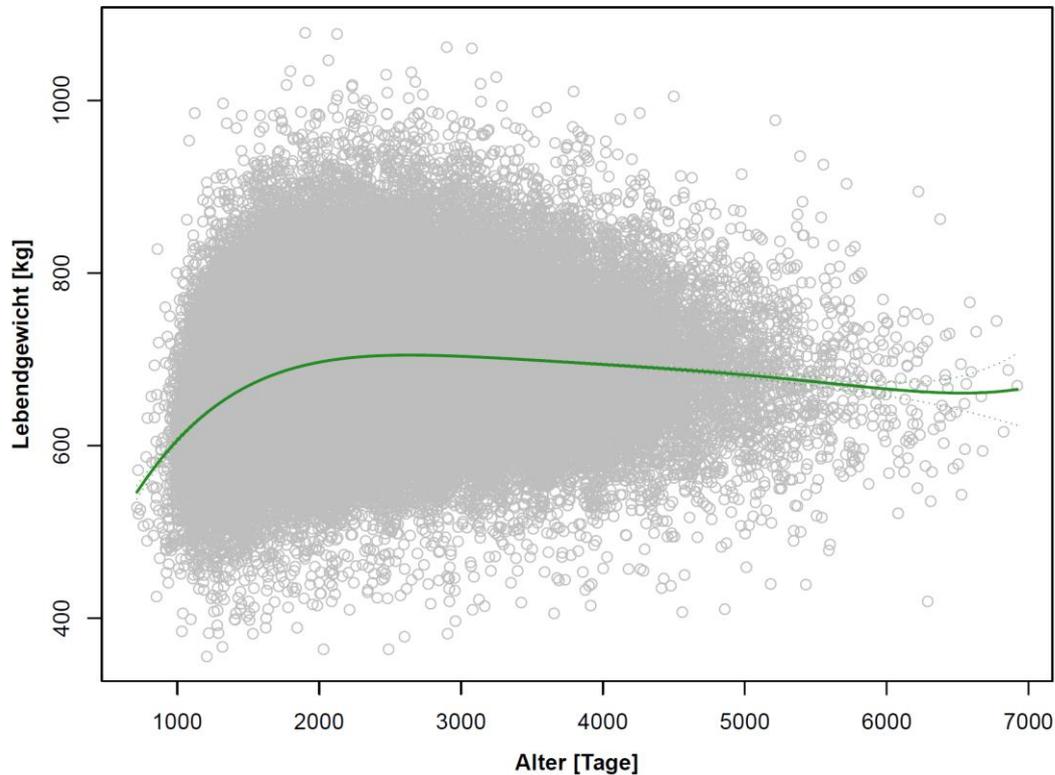


Abbildung 10 Zusammenhang von Lebendgewicht und Alter

Tabelle 17 Mittleres Lebendgewicht nach Alter

Alter [Tage]	Mittleres Lebendgewicht [kg]	95% Unsicherheit
600	514.95	[504.28;525.19]
700	542.08	[533.97;549.88]
800	566.18	[560.07;572.03]
900	587.49	[583.00;591.79]
1000	606.26	[603.08;609.34]
1100	622.70	[620.50;624.84]
1200	637.03	[635.50;638.55]
1300	649.44	[648.28;650.56]
1400	660.12	[659.15;661.09]
1500	669.23	[668.32;670.16]
1600	676.94	[676.05;677.86]
1700	683.40	[682.52;684.30]
1800	688.75	[687.89;689.61]
1900	693.11	[692.29;693.94]
2000	696.60	[695.81;697.40]

## 4. Schlussfolgerungen

- LBE Merkmale können zur Schätzung von Lebendgewichten verwendet werden. Es scheint aber schwierig ein allgemein gültiges Modell dafür zu finden.
- Der Zusammenhang zwischen Schlachtgewichten und LBE Merkmalen lässt sich nur schwer modellieren.
- Lebendgewichte von Lely Robotern haben grosses Potential. Auch wenn die Lely Daten im vorliegenden Bericht nicht des Rätsels Lösung waren, könnten sich künftig viele weitere Forschungsfragen damit beantworten lassen.
- Basierend auf Schlachtgewichtsdaten, kann die Entwicklung der mittleren Lebendkuhgewichte für die ganze Schweizer Kuhpopulation hergeleitet werden. Aufgrund der Daten zur Nutzungsart der Identitas AG ist die Trennung zwischen Milch- und Mutterkühen möglich.
- Dank dem linearen Zusammenhang zwischen LG und SG ist eine Extrapolation des LG's für den Zeitraum 1990-2001 möglich.

## Literatur

- BAFU. 2020. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikator-karten/daten/treibhausgasinventar.html>; abgerufen am 20.2.2020
- Cutullic E, Bigler A, Schnyder U, Flury C, 2011. Breeding values for production efficiency in the Swiss dairy breeding programs. Book of abstracts of the 62nd Annual Meeting of the European Association for Animal Production. Stavanger, Norway, August 29th – September 2nd 2011. Wageningen Acad. Publ.
- FOEN 2021: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2019: National Inventory Report and reporting tables (CRF). Submission of April 2021 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern. [www.climate reporting.ch](http://www.climate reporting.ch)
- Graves S, Piepho HP, Selzer L & Dorai-Raj S (2019). multcompView: Visualizations of Paired Comparisons. Version 0.1-8: <https://CRAN.R-project.org/package=multcompView>
- Kassambara A (2020). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>.
- Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB (2017). "lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models." *Journal of Statistical Software*, \*82\*(13), 1-26. doi: 10.18637/jss.v082.i13 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>).
- Lüdecke D (2018). "sjmisc: Data and Variable Transformation Functions." *Journal of Open Source Software*, 3(26), 754. doi: 10.21105/joss.00754.
- Lüdecke D (2021a). sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science. R package version 2.8.9, <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>.
- Lüdecke D (2021b). sjlabelled: Labelled Data Utility Functions (Version 1.1.8). doi: 10.5281/zenodo.1249215, <https://CRAN.R-project.org/package=sjlabelled>.
- Russell L (2020). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.4.8. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- UNFCCC 2020: Report on the individual review of the annual submission of Switzerland submitted in 2019. FCCC/ARR/2019/CHE, 09.04.2020.
- Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Golemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). "Welcome to the tidyverse." *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. doi: 10.21105/joss.01686.