

Mißfeldt, Falk; Mißfeldt, Ricarda; Kuwan, Kai

Article — Published Version

## Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen

Züchtungskunde

*Suggested Citation:* Mißfeldt, Falk; Mißfeldt, Ricarda; Kuwan, Kai (2015) : Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen, Züchtungskunde, ISSN 0044-5401, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Vol. 87, Iss. 2, pp. 120-135

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/302054>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

## Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen

F. MISSFELDT<sup>1</sup>, RICARDA MISSFELDT<sup>2</sup> und K. KUWAN<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der ökonomisch optimalen Nutzungsdauer von Milchkühen. Im Unterschied zu den meisten bisherigen Untersuchungen zu diesem Thema werden in dieser Analyse die Zwangsabgänge in den einzelnen Laktationen explizit einbezogen. Über die Verwendung von Markovketten lässt sich der Aufbau einer Milchviehherde in Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungsstrategien  $S_i$  simulieren. Hierdurch wird ein Vergleich der freiwilligen Nutzungsbegrenzung sämtlicher Kühe zwischen 3 und 12 Jahren ermöglicht. Weiterhin wird zwischen konstanter Milchleistung und weiterem Zuchtfortschritt differenziert.

Die Kalkulationen zeigen in einer Situation ohne Zwangsabgänge und ohne weitere Milchleistungssteigerungen, dass bei einer 7-jährigen Nutzung der Milchkühe das Gewinnmaximum erreicht wird. Unter der Berücksichtigung der Zwangsabgänge verlängert sich die optimale Nutzungsdauer auf 12 Jahre. Eine Sensitivitätsanalyse für wichtige Einflussfaktoren wie Milch-, Färsen-, Altkuh- und Kraftfutterpreis zeigt eine hohe Stabilität der Ergebnisse.

Die Berücksichtigung weiterer Zuchtfortschritte zwischen 50 kg und 125 kg/Erstlaktierender führt zu einer geringfügigen Verkürzung der optimalen Nutzungsdauer zwischen 9 und 12 Jahren. Es zeigt sich allerdings, dass eine Veränderung der Nutzungsdauer um  $\pm 2$  Laktationen im Vergleich zum Optimum nur zu einem geringfügigen ökonomischen Nachteil führt.

Betrachtet man weiterhin eine Reduzierung der Zwangsabgänge um 10, 30 oder 50% liegt die optimale Nutzungsdauer bei ca. 10 Jahren. Auch hier führt die zusätzliche Berücksichtigung weiterer Milchleistungssteigerungen zu einer nur geringfügigen Reduzierung der Nutzungsdauer um ein Jahr. Die Schlussfolgerung für die praktische Milchviehhaltung heißt, dass es aus ökonomischer Sicht keinen Grund gibt, eine Milchkuh zu merzen, die mindestens noch eine weitere Laktation genutzt werden kann.

**Schlüsselwörter:** Optimale Nutzungsdauer, Zwangsabgänge, Deckungsbeitrag, Markovketten

### Summary

#### Economic lifetime of milk cows

This article analyses the economic lifetime of the milk cow. Unlike most previous studies covering the same subject, this analysis takes into account forced culling per lactation

<sup>1</sup> FH Kiel, FB Agrarwirtschaft in Rendsburg/Osterrönfeld, E-Mail: falk.missfeldt@fh-kiel.de

<sup>2</sup> Stud. B.sc. an der Universität zu Lübeck

<sup>3</sup> Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit), Verden

period. Using Markov chains, the age structure of a herd can be modelled as a function of different (voluntary) culling strategies. Furthermore, the study examines situations with and without milk yield increase through further breeding progress. In a situation without further milk yield improvement the decision to cull cows should be made when the average contribution margin of the respective lactation number reaches its maximum. In the case of primiparous cows with an expected milk yield increase from year to year a productive cow should be replaced if the contribution margin of the next lactation number is lower than the expected maximum average contribution margin from a replacement heifer.

The calculations show that under the assumption of a constant milk yield and an absence of compulsory culling a cow should be used for 7 years. Taking forced culling into account, the cows should be replaced after 12 years. An impact analysis of major factors like milk price, heifer price, cow price and the price of feed concentrate indicates a high stability of the results.

The simulation of a yearly milk yield increase for primiparous cows between 50 kg and 125 kg led to a marginal reduction in the calculated economic lifetime. In this case the cows should be used between 9 and 12 years. However, any deviation by +/-2 lactations from the optimum lifetime resulted in an economic disadvantage that was only marginal.

Looking at situations where forced culling is reduced by 10, 30 or 50% resp., the optimum lifetime of dairy cows is approx. 10 years. Again, accounting for a potential milk yield increase in heifers results in only a small reduction by one year. The analysis leads to the conclusion that from an economic point of view there is no reason to cull a cow that is able to produce milk for at least another lactation period.

**Keywords:** Economic lifetime, forced culling, contribution margin, Markov chains

## 1 Einleitung

Die Milchviehhaltung in Deutschland ist stärker denn je dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Parallel zu dieser Entwicklung verteuert sich die Milchproduktion in Deutschland insbesondere durch steigende Pacht- und Kaufpreise für landwirtschaftliche Flächen. Weiterhin muss erwartet werden, dass sich mit der Beendigung der Milchmengengarantieregelung der Wettbewerbsdruck für den Einzelbetrieb nochmals erhöht. Die überwiegende Anzahl der milchviehhaltenden Betriebe wird auch zukünftig die Strategie der Kostenführerschaft verfolgen müssen, um die Existenzfähigkeit der Betriebe sichern zu können.

Als eine wichtige Größe zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung wird die Verlängerung der Nutzungsdauer der Milchkühe angesehen. Diese erreicht für die Rasse Schwarzbunt der von vit (Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung) ausgewerteten Betriebe im Jahresabschluss 2013 für die gemerzten Tiere nur 2,6 Laktationen. Auch die zunehmend intensiver geführte Diskussion um Aspekte des Tierwohls muss begleitet werden durch eine ökonomische Bewertung der steigenden öffentlichen Ansprüche an die Tierhalter in Deutschland.

Für die Nutzungsdauer von Milchkühen stellen sich aus züchterischer wie aus betriebswirtschaftlicher Sicht in diesem Zusammenhang zwei Fragen, die in der folgenden Analyse näher untersucht werden sollen:

- Wo liegt unter den heutigen Bedingungen die ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen?
- Welches ökonomische Potenzial können die Betriebe bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer heben?

Bei der Analyse dieser Fragen werden im folgenden Beitrag die Zwangsabgänge bei den Milchkühen explizit berücksichtigt. Dies stellt eine Erweiterung der bisherigen methodischen Ansätze dar und dürfte der in der Praxis anzutreffenden Entscheidungssituation entsprechen.

## 2 Stand der Literatur

ZEDDIES (1971) zeigt in seinem Beitrag die grundsätzlichen Zusammenhänge und den Kalkulationsweg zur Bestimmung der ökonomisch optimalen Nutzungsdauer (OND) auf. Er kommt zu dem Ergebnis, dass auf Basis der damals gültigen Preis-Kosten-Verhältnisse die Kühe 8 Jahre genutzt werden sollten. In einem zweiten Beitrag leitet ZEDDIES (1972) anhand der Zielgröße „durchschnittlicher Gewinn je Kuh“ eine ökonomisch optimale Nutzungsdauer von 9 Jahren ab.

STEINWIDDER und GREIMEL (1999) gruppieren in ihrer Analyse die untersuchten Kühe nach maximal erreichten Laktationen. Für die ökonomische Bewertung führen sie umfangreiche Kalkulationen zu den Unterschieden in den Futterkosten durch. Für die österreichischen Verhältnisse leiten die Autoren eine OND von 10 Jahren ab. Bei Erwartung eines Zuchtfortschritts von 50 kg pro Kuh und Jahr reduziert sich die OND auf 7 Laktationen.

HARMS (2011) entwickelt für die Praxis ein EDV-basiertes Modell, das die auf größeren Betrieben oftmals täglich zu treffenden Selektionsentscheidungen unterstützen soll. HARMS bestimmt die optimale Nutzungsdauer der Ersatzkuh ex ante und orientiert sich dabei an der maximalen Milchleistung in der 5. Laktation. Allerdings muss das Jahr mit der höchsten Milchleistung nicht zwangsläufig das Jahr mit dem höchsten Durchschnittsgewinn sein, denn der Durchschnittsgewinn steigt weiter an, solange der Grenzgewinn der folgenden Laktation oberhalb des jeweils erreichten Durchschnittsgewinns liegt.

SIMIANER (2003) sieht in der Reduzierung der Zwangsabgänge einen wichtigen Ansatz zur Verlängerung der Nutzungsdauer der Milchkühe. Er analysiert die Wirkung einer 25%-igen Senkung der Zwangsabgänge in den ersten 8 Laktationen und kommt zu dem Ergebnis, dass bei einer gleichzeitigen Berücksichtigung eines Zuchtfortschritts bei den Erstkalbinnen von 84 kg/Jahr die optimale Nutzungsdauer von Milchkühen bei etwas mehr als 4 Laktationen liegt.

Alle genannten Autoren mit Ausnahme von SIMIANER gehen in ihren Arbeiten von einem deterministischen Ansatz aus, d.h. sie unterstellen, dass man planmäßig eine Kuh 4 oder 5 usw. Jahre nutzen kann. Diese Vorgehensweise abstrahiert von den Zwangsabgängen, die in jeder Laktationsperiode aufgrund von Klauenerkrankungen, Fruchtbarkeitsstörungen etc. auftreten können. In der folgenden Analyse soll insbesondere der Einfluss veränderter Zwangsabgangsraten auf die OND von Milchkühen untersucht werden. Zunächst sollen jedoch die mit der OND in Zusammenhang stehenden Fragestellungen erläutert und eingeordnet werden. Dies beinhaltet einerseits eine deterministische Betrachtungsweise und andererseits eine weitere Differenzierung in „ohne Zuchtfortschritt“ und „mit Zuchtfortschritt“. Abschließend wird dann der Einfluss verringerter Zwangsabgänge mit und ohne Zuchtfortschritt untersucht.

## 3 Einordnung und Differenzierung der ökonomischen Fragestellung

### 3.1 Grundsätzliche Entscheidungssituationen und -regeln

In betriebswirtschaftlichen Zielfunktionen wird grundsätzlich ein maximaler Gewinn pro Zeiteinheit angestrebt. Dies ist i.d.R. das Jahr, kann aber bei identischer Nutzungs-

bzw. Produktionsdauer auch die Produktionsperiode sein. In dieser Analyse ist die Zielfunktion die Maximierung des Gewinns pro Laktationsperiode, da von einer gleich langen Laktationsperiode unabhängig von der Nutzungsdauer ausgegangen wird.

Die Ableitung des ökonomisch optimalen Ersatzzeitpunktes von Anlagegütern nimmt in der agrarökonomischen Literatur einen breiten Raum ein (u.a. BRANDES und ODENING, 1992).

Die grundsätzlichen Entscheidungsregeln lassen sich ohne Einschränkungen auf die Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer von Nutztieren übertragen, die mehrere Produktionsperioden genutzt werden.

Betrachtet man die Nutzungsdauer der Milchkühe, so sind in Anlehnung an ZEDDIES (1971) sowie BRANDES und ODENING (1992) zunächst zwei grundsätzliche Fragestellungen zu unterscheiden:

- a) Optimale Nutzungsdauer bei Ersatz durch eine identische Kuh
- b) Optimale Nutzungsdauer bei Ersatz durch eine Milchkuh mit anderen (verbesserten) Leistungsparametern

Der in a) postulierte „Ersatz durch eine identische Kuh“ entspricht zumindest näherungsweise einer Entscheidungssituation, in der keine weitere Milchleistungssteigerung mehr erwartet wird. Liegt dieser Fall vor, so sollte aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine Kuh so lange genutzt werden, bis der jährliche Durchschnittsgewinn der Milchkuh ein Maximum erreicht, und sodann durch genau die gleiche (= identische) Kuh ersetzt werden.

Geht man in der ökonomischen Analyse von einem bestehenden Milchviehbetrieb aus, der zudem keine Auf- und Abstockung der Milchviehherde plant, lässt sich die ökonomische Entscheidungsregel vereinfachen, da die Festkosten in dieser Entscheidungssituation konstant sind und somit keinen Einfluss auf die optimale Nutzungsdauer haben. Die ökonomische Betrachtung kann somit auf den Deckungsbeitrag reduziert werden. Unter diesen Voraussetzungen sollte eine Milchkuh so lange genutzt werden, bis der durchschnittliche Deckungsbeitrag über die Laktationsnummern ein Maximum erreicht hat.

Die Fragestellung b) dürfte zumindest für die Vergangenheit von größerer Praxisrelevanz gewesen sein als die zuvor diskutierte Entscheidungssituation. Hier muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass die neue Färsen ein höheres Leistungspotential im Vergleich zur abgehenden Altkuh hat, was unter c.p.-Bedingungen zunächst kostensenkend wirkt. Eine Kuh sollte jetzt so lange genutzt werden, wie der Gewinn dieser Kuh in der nächsten Laktationsperiode (= Grenzgewinn) größer ist als der maximale Durchschnittsgewinn einer nachfolgenden Jungkuh. Sobald also der Grenzgewinn der Altkuh gleich oder kleiner dem max. Durchschnittsgewinn der nachfolgenden Färsen ist, sollte aus ökonomischen Gründen der Ersatz erfolgen, auch wenn diese Kuh noch weiter genutzt werden könnte. Unterstellt man wiederum, dass die Anzahl der Milchkühe konstant bleiben soll, so kann auch hier durch die Reduzierung der Betrachtung auf den Deckungsbeitrag eine Vereinfachung vorgenommen werden. Eine Kuh sollte so lange genutzt werden, wie der Grenz-Deckungsbeitrag (G-DB) der Altkuh größer ist als der maximale durchschnittliche Deckungsbeitrag (D-DB) der Ersatzkuh.

Bestehen zwischen den Kühen, z.B. aufgrund der differierenden Milchleistung, Unterschiede in Bezug auf den Flächenbedarf für die Erzeugung des Grundfutters und/oder der benötigten Arbeitszeit pro Kuh, so sind die hieraus resultierenden unterschiedlichen Opportunitätskosten in der Kalkulation zu berücksichtigen. Dies gilt für beide genannten Fragestellungen.

### 3.2 Veränderung der durchschnittlichen Remontierungsrate

Eine Verlängerung der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Milchkühe führt c.p. zu einer Senkung der Produktionskosten pro kg Milch. Die aus der Nutzung der Milchkuh resultierenden Kapitalkosten pro kg Milch sind in Abhängigkeit von der Remontierungsrate (R-Rate) in Tabelle 1 dargestellt und zeigen den klassischen Verlauf einer Kosten-degression mit zunehmender Nutzungsdauer.

Allerdings geben derartige Kalkulationen nur sehr begrenzt Auskunft über die ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Einzeltieren. Einerseits wird die Entwicklung der Milchleistung in den jeweiligen Laktationsnummern nicht differenziert erfasst und andererseits wird die Altersstruktur der Herde nicht adäquat berücksichtigt, denn hinter einer identischen durchschnittlichen Nutzungsdauer können auf den Betrieben Milchviehherden mit deutlich abweichendem Altersaufbau stehen.

### 3.3 Erweiterung der Entscheidungssituation um Zwangsabgänge

Wie bereits erläutert, wird in den bisherigen Ansätzen zur Bestimmung der ökonomisch optimalen Nutzungsdauer von Milchkühen von den Zwangsabgängen in den einzelnen Laktationsnummern abstrahiert. Berücksichtigt man diese, so wird aus einem deterministischen ein stochastisches Modell, bei der die Milchkuh die nächste Laktation nur mit einer Wahrscheinlichkeit ( $w_k$ ) von  $p$  erreicht und mit  $(1 - p)$  durch eine Färse in der 1. Laktation ersetzt wird. Diese Übergangs- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten variieren aufgrund der unterschiedlichen Haltungsbedingungen und Managementqualitäten stark zwischen den Betrieben.

In Tabelle 2 sind die Zwangsabgangswahrscheinlichkeiten und die komplementären Übergangswahrscheinlichkeiten zur nächsten Laktation sowie die dazugehörigen Überlebenswahrscheinlichkeiten dargestellt. Datengrundlage sind die Daten der vit für die Rasse Schwarzbunt als Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2012. In den Zwangsabgängen sind die Abgangsursachen geringe Leistung, Unfruchtbarkeit, sonstige Krankheiten, Euterkrankheiten, Melkbarkeit, Klauen- und Gliedmaßenkrankungen sowie 50% der sonstigen Gründe zusammengefasst.

Tab. 1. Bestandsergänzungskosten in Abhängigkeit von der Remontierungsrate und der Milchleistung in Cent/kg ECM  
Replacement costs (€-Cent/kg ECM) depending on replacement rate and milk yield

Remontierungsrate (%)	8.000 kg ECM			10.000 kg ECM		
	Afa	Zinsen	Gesamt	Afa	Zinsen	Gesamt
20	2,25	0,63	2,88	1,80	0,50	2,30
25	2,81	0,63	3,44	2,25	0,50	2,75
30	3,38	0,63	4,00	2,70	0,50	3,20
35	3,94	0,63	4,56	3,15	0,50	3,65
40	4,50	0,63	5,13	3,60	0,50	4,10

Annahmen: Kosten Färse: 1.700 €/St.; Erlös Altkuh: 800 €/St.; Zinssatz: 4%,  
Berechnung der Zinsen über  $(A + RW)/2 * P/100$

Tab. 2. Zwangsabgänge und Überlebenswahrscheinlichkeiten der Rasse Holstein  
*Forced culling and survival rates of Holstein*

Laktationsnummer	Zwangsabgänge – % –	Transitions-wk – % –	Überlebens-wk – % –
1	18,33	81,67	81,67
2	24,90	75,10	61,33
3	31,43	68,57	42,05
4	36,88	63,12	26,54
5	40,78	59,22	15,72
6	42,93	57,07	8,97
7	42,97	57,03	5,12
8	40,83	59,17	3,03
9	38,47	61,53	1,86
10	34,94	65,06	1,21
11	31,65	68,35	0,83
12	28,04	71,96	0,60
13	26,07	73,93	0,44
14	27,35	72,65	0,32
15	31,94	68,06	0,22

Die Zwangsabgänge nehmen bis zur 7. Laktationsperiode zu, um anschließend zu fallen. In der 4. Spalte ist ausgewiesen, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Milchkuh die j-te-Laktationsperiode überlebt. Danach erreichen nur ca. 9% der Milchkühe die 7. Laktationsperiode. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass bis zu diesem Zeitpunkt bereits mehr als 90% der Milchkühe eines Jahrgangs zwangsweise aus der Produktion ausgeschieden sind.

#### 4 Modellierung des Altersaufbaus einer Milchviehherde über Markovketten

Jede Entscheidung für oder gegen die Weiternutzung der Milchkuh hat Konsequenzen für den Entwicklungspfad des zukünftigen Altersaufbaus der Milchkuhherde. Die Entscheidungssituation und deren Konsequenzen lassen sich anhand des in Abbildung 1 dargestellten Entscheidungsbaums analysieren.

Die Kreise beschreiben den Zustand der jeweiligen Kuh im Jahr  $t$ ,  $i \in \mathbb{N}_0$  und geben die Laktationsnummer an, mit der die Kuh in die nächste Periode  $t_{i+1} = t_i + 1$  startet. Die Rechtecke (E) kennzeichnen die Entscheidungsknoten mit den Handlungsalternativen des Entscheiders.

Für jede Milchkuh, die sich zum Zeitpunkt  $t$  in der Laktation  $l$  befindet, gibt es drei mögliche Entwicklungspfade.

1. Die Milchkuh scheidet aufgrund eines Zwangsabgangs (Z) mit einer zu der jeweiligen Laktationsnummer gehörenden Wahrscheinlichkeit aus dem Bestand aus. Diese Zwangsabgangswahrscheinlichkeit nimmt wie gezeigt grundsätzlich bis zur 7. Laktationsnummer zu.

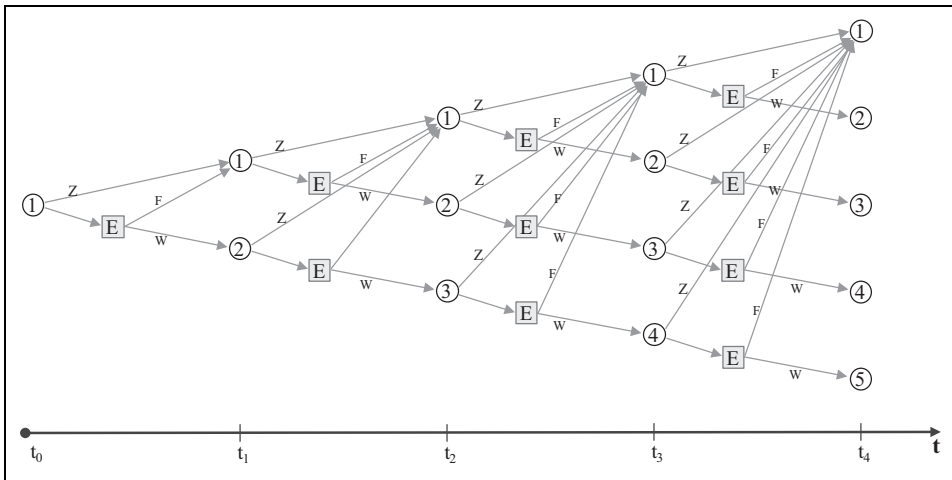


Abb. 1. Mögliche Entwicklungspfade bei Ersatz einer Milchkuh unter Berücksichtigung von Zwangsabgängen und freiwilligen Selektionsentscheidungen für  $t = 4$   
*Cow replacement and possible developments depending on the forced and voluntary culling strategies for  $t = 4$*

Für Milchkühe, die keinem Zwangsabgang unterliegen, muss der Milchkuhhalter die grundsätzliche Entscheidung treffen, ob die Milchkuh eine weitere Laktation genutzt oder durch eine Färse ersetzt werden soll. Hieraus resultieren die beiden weiteren Möglichkeiten:

2. Die Milchkuh soll zunächst eine Laktationsperiode weitergenutzt werden (W)
3. Die Milchkuh soll aus ökonomischen Überlegungen durch eine Färse ersetzt werden (F)

Von jedem erreichten Zustand zum Zeitpunkt  $t$  führen wiederum drei mögliche Entwicklungspfade zu den möglichen Zuständen in der Periode  $(t + 1)$ . Jede freiwillige Entscheidung (W) und (F) sowie jede unfreiwillige Entscheidung (Z) hat somit direkten Einfluss auf die weiteren Handlungsalternativen sowie die Entwicklungspfade über die Zeit. Aus der Darstellung des Entscheidungsbaums wird aber auch deutlich, dass sich die Anzahl der möglichen Entwicklungspfade bei Betrachten von  $t$  Zeitschritten zu  $3^t$  ergibt. Setzt man den Analysezeitraum auf 10 Jahre, so sind insgesamt 59.049 Entwicklungspfade mit den mit ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit gewichteten Deckungsbeiträgen zu untersuchen. Eine willkürliche Begrenzung des Betrachtungszeitraums auf z.B. 10 Jahre hat zudem den Nachteil, dass die weiteren möglichen Entwicklungspfade ab dem 11. Jahr von dem erreichten Zustand in  $t_{10}$  abhängig und somit nicht identisch sind.

Die Vielzahl der zu berücksichtigenden Entwicklungspfade sowie die Konsequenzen einer willkürlichen Begrenzung des Betrachtungszeitraums lassen einen ökonomischen Vergleich nur eingeschränkt machbar erscheinen. Im Folgenden soll daher ein alternatives Modell vorgestellt werden, das es ermöglicht, die betriebswirtschaftlichen Konsequenzen unterschiedlicher exogen vorgegebener Nutzungsstrategien  $S_i$  von Milchkühen einfach(er) zu vergleichen. Beispielsweise werden bei Strategie  $S_4$  die Milchkühe maximal vier Laktationen genutzt, d.h. die Tiere werden auch dann gemerzt, wenn sie noch eine oder mehrere Laktationen genutzt werden könnten.



Sei  $L_t$  eine Zufallsvariable, die die Laktationsnummer, in der sich die Milchkuh zum Zeitpunkt  $t = 0, 1, 2, \dots$  befindet, beschreibe und hier die Werte 1 bis  $l$  annehme. Das  $l$  ist davon abhängig, welche Strategie  $S_i$  gewählt wird. Die Analyse wird aufgrund der Datendichte auf 12 mögliche Strategien und Laktationen begrenzt, damit ist  $l \in \{3, 4, \dots, 12\}$ .

Die untersuchte Entwicklung lässt sich als stochastischer Prozess  $(L_t)_{t \in \mathbb{N}_0}$  mit diskretem Zustandsraum  $S = \{1, 2, \dots, l\}$  betrachten, der bereits erläutert wurde und in Abbildung 1 dargestellt ist.

Die Kreise bezeichnen die möglichen Zustände der Zufallsvariablen zu bestimmten Zeitpunkten  $t_i, i \in \mathbb{N}_0$ . Sie enthalten die jeweiligen Laktationsnummern  $j, j \in S$ . Bei einem Zeitschritt handelt es sich um ein Jahr bzw. eine Laktationsperiode.

Der betrachtete Prozess lässt sich als eine zeitdiskrete Markovkette modellieren, da die Markoveigenschaft

$$P(L_{t+1} = j_{t+1} \mid L_t = j_t, \dots, L_0 = j_0) = P(L_{t+1} = j_{t+1} \mid L_t = j_t) \quad , \forall t \in \mathbb{N}_0$$

erfüllt wird. Dies bedeutet, dass lediglich der aktuelle Zustand einen Einfluss auf den nächsten hat und alle vorhergehenden hierfür bedeutungslos sind. Man bezeichnet daher Markovketten auch als gedächtnislos. (WALDMANN und STOCKER, 2013)

Die Wahrscheinlichkeiten  $p_{ij} = P(L_{t+1} = j \mid L_t = i)$ , dass eine Kuh der  $i$ -ten Laktationsnummer in die  $j$ -te Laktation übergeht, werden als Übergangswahrscheinlichkeiten bezeichnet. So gibt beispielsweise die Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{34} = P(L_{t+1} = 4 \mid L_t = 3)$  an, dass eine Milchkuh, die sich in der 3. Laktation befindet, sich zum nächsten Zeitpunkt in der 4. Laktation befindet. Die Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{31} = P(L_{t+1} = 1 \mid L_t = 3)$  hingegen steht für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Milchkuh, die sich in der 3. Laktation befindet zum nächsten Zeitpunkt durch eine Färse in der 1. Laktation ersetzt wird (vgl. Tab. 2).

Die Übergangswahrscheinlichkeiten lassen sich in der Übergangsmatrix  $P$  zusammenfassen. Da in diesem Kontext lediglich  $p_{i1}$  für  $i = 1, \dots, l$  und  $p_{j,j+1}$  für  $j = 1, \dots, l - 1$  größer null sind, vereinfacht sich die Übergangsmatrix zu

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & \dots & 0 \\ p_{21} & 0 & p_{23} & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ p_{l-1,1} & 0 & \dots & 0 & p_{l-1,l} \\ p_{l1} & 0 & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Es wird angenommen, dass alle Übergangswahrscheinlichkeiten unabhängig von der Zeit, demnach stationär sind. Es handelt sich bei dem betrachteten Prozess somit um eine homogene Markovkette.

Mit den eingeführten Notationen gilt für homogene diskrete Markovketten die Gleichung von Chapman und Kolmogorov (BEHREND, 2013)

$$p_{ik}^{(m+n)} = \sum_{j=1}^l p_{ij}^{(m)} p_{jk}^{(n)} \quad \text{mit } m, n \in \mathbb{N}_0$$

Hieraus folgt, dass sich die Übergangswahrscheinlichkeiten über  $t$  Jahre aus der  $t$ -ten Potenz der Übergangsmatrix  $P$  ergeben. (WALDMANN und STOCKER, 2013 sowie im Folgenden)

Bezeichne  $\mu^{(t)}$  die Verteilung einer Milchkuhherde in Bezug auf die Laktationsnummern zum Zeitpunkt  $t$ , d.h.  $\mu^{(t)}$  ist ein Zeilenvektor der Dimension  $l$  mit

$$\sum_{i=1}^l \mu_i^{(t)} = 1 ,$$

dessen  $i$ -te Komponente  $\mu_i^{(t)}$  den relativen Anteil an Milchkühen beschreibt, die sich in der  $i$ -ten Laktation befinden. Bei gegebener Anfangsverteilung  $\mu^{(0)}$  einer Milchkuhherde ist der Altersaufbau dieser Herde nach  $t$  Zeitschritten gegeben durch

$$\mu^{(t)} = \mu^{(0)} P^t$$

Von Interesse ist nun das asymptotische Verhalten von  $\mu^{(t)}$ . Es soll untersucht werden, ob ein Grenzwert dieser Verteilung existiert, d.h., ob  $\mu^{(t)}$  für  $t \rightarrow \infty$  gegen ein  $\mu_g$  konvergiert, und, falls dies der Fall ist, wie diese Grenzverteilungen der einzelnen Strategien  $S_i$  aussehen.

Tatsächlich nähert sich der Bestandsaufbau unabhängig von seiner Anfangsverteilung  $\mu^{(0)}$  einer Grenzverteilung  $\mu_g$ , wenn die Markovkette folgende Eigenschaften aufweist: Die Markovkette ist irreduzibel und aperiodisch und besitzt eine stationäre Verteilung  $\mu_s$ .

Die Eigenschaft der Irreduzibilität bedeutet, dass jeder Zustand von jedem anderen Zustand aus in endlich vielen Zeitschritten erreichbar ist. Die betrachtete Markovkette ist offenbar irreduzibel, da man stets von einem Zustand niedriger Laktationsnummer über die folgenden in jeden Zustand höherer Laktationsnummer und gleichzeitig von jedem beliebigen Zustand durch Merzen in den Zustand der ersten Laktation gelangen kann.

Die Periode  $d_j$  eines Zustands  $j \in S$ , ist definiert als der größte gemeinsame Teiler aller  $t \in \mathbb{N}$  mit  $p_{jj}^{(t)} > 0$ , d.h. als der größte gemeinsame Teiler aller endlichen Anzahlen von Schritten, in denen man vom Zustand  $j$  wieder zu Zustand  $j$  gelangen kann. Ist  $d_j = 1$ , so wird dieser Zustand als aperiodisch bezeichnet. Im Falle von  $d_j = 1, \forall j \in S$ , wenn also alle Zustände aperiodisch sind, heißt die Markovkette aperiodisch.

Dass diese Eigenschaft für die betrachtete Markovkette erfüllt ist, folgt direkt daraus, dass sie irreduzibel und die Übergangswahrscheinlichkeit  $p_{11} > 0$  ist.

Weiterhin implizieren die Irreduzibilität und der endliche Zustandsraum  $S$ , dass die Markovkette eine eindeutige stationäre Verteilung  $\mu_s$  besitzt. Dies ist eine Verteilung, die die Gleichung  $\mu_s = \mu_s P$  erfüllt, das heißt, sie bleibt in dem betrachteten Prozess unverändertlich.

Damit sind die drei hinreichenden Bedingungen für die Konvergenz von  $\mu^{(t)}$  für  $t \rightarrow \infty$  gegen eine Grenzverteilung  $\mu_g$  bei der betrachteten Markovkette erfüllt. Zudem gilt, dass diese Grenzverteilung gleich der stationären Verteilung ist:

$$\mu_g = \lim_{t \rightarrow \infty} \mu^{(t)} = \mu_s$$

Basierend auf diesen Modellüberlegungen lässt sich somit unter Verwendung der Zwangsabgangs- und Überlebenswahrscheinlichkeiten der Bestandsaufbau einer Milchkuhherde für die einzelnen Strategien  $S_i$  simulieren. Tabelle 3 zeigt die Grenzwerte des Bestandsaufbaus für die Strategien  $S_i$  mit  $i = 3, \dots, 12$ .

Exemplarisch sei hier auf die Strategie eingegangen, die Kühe grundsätzlich nach 10 Jahren durch eine neue Kuh zu ersetzen ( $S_{10}$ ). Unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Zwangsabgangswahrscheinlichkeiten ergibt sich folgendes Bild: während ca. 70% der Kühe eines Bestandes sich permanent in der 1.-3. Laktation befinden, sind nur 1,5% der Kühe in der 9. und 10. Laktation. Die Berechnungen zeigen deutlich, wie schwer es aufgrund der hohen Zwangsabgänge ist, den Altersaufbau einer Milchkuhherde nach oben zu entwickeln. Auch bei einer Strategie  $S_{12}$  befinden sich nur ca. 11% der Kühe in einer Laktationsnummer größer als 5.





SIECK und PIEPENBURG (2005) kommen in einer Analyse zu ähnlichen Ergebnissen. Sie analysieren die Milchleistungsentwicklung eines ganzen Jahrgangs mit dem Ergebnis, dass in der 7. Laktation die maximale Milchleistung erreicht wird. Im Unterschied zur hier gewählten Vorgehensweise beziehen die Autoren sämtliche Kühe eines Jahrgangs in die Untersuchung ein.

Die auf diese Weise ermittelten Relationen der MLLK werden für die betriebswirtschaftlichen Kalkulationen übernommen. Dabei wird die Betrachtung durch eine einfache Extrapolation der Milchleistungsentwicklung auf 12 Laktationsnummern erweitert. Hierzu wird die relative Milchleistungsentwicklung von der 8. auf die 9. Laktation (-4,7%) auf die Jahre 10 bis 12 übertragen.

## 6 Optimale Nutzungsdauer bei Ersatz durch eine „identische“ Milchkuh

### 6.1 Annahmen für die Kalkulation

Für die praktische Kalkulation müssen eine Reihe von Annahmen getroffen werden, die im Folgenden dargestellt und erläutert werden. Dabei sind die Annahmen möglichst an Werten aus der Praxis angelehnt und z.T. aufgrund einer unzureichenden Datenbasis geschätzt.

Annahmen für die Kalkulationen

1. Die Zielfunktion des Modells besteht in der Maximierung des Gewinns bzw. des um unterschiedliche Opportunitätskosten korrigierten Deckungsbeitrages.
2. Kosten und Erlöse sind Bruttowerte (incl. MwSt.), da von pauschalierenden Betrieben ausgegangen wird.
3. Die Milchleistungssteigerungen basieren auf den 305-Tage-Leistungen der ausgewerteten 9 Laktationen. Sämtliche Milchleistungen werden in kg ECM umgerechnet (s. Tab. 5, Zeile 2).
4. Die Kuhabgänge erfolgen einheitlich am Ende der jeweiligen Laktationsperiode. Dies gilt sowohl für Zwangsabgänge als auch freiwillige Selektionsentscheidungen.
5. Der Milchpreis beträgt in der Ausgangssituation 35 Cent/kg ECM + MwSt.
6. Die Kosten für die Färsen werden mit 1.700 €/Tier incl. MwSt. angenommen. Über die Entwicklung der Altkuherlöse in Abhängigkeit vom Alter der Kuh sind keine Preisstatistiken verfügbar. Die Ergebnisse einer Umfrage über die Studierenden des Fachbereichs Agrarwirtschaft der FH Kiel zu den realisierten Altkuherlösen in Abhängigkeit vom Lebensalter zeigten keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen. Als Folge hiervon können auch die jeweiligen Altkuherlöse nur geschätzt werden. Allerdings wurde der Hinweis aus der Praxis berücksichtigt, dass Milchkühe mit nur einer Kalbung i.d.R. zum Färsenpreis abgerechnet werden, während ab der zweiten Kalbung nur das Schlachtgewicht von Bedeutung ist.
7. Der Futterbedarf der Milchkuh setzt sich jeweils zusammen aus einem Erhaltungsbedarf von 14.000 MJ NEL zzgl. eines Bedarfs von 3,28 MJ/kg ECM (SPIEKERS et al., 2009) Die Grundfutterleistung beträgt unabhängig von der Milchleistung 3.510 kg ECM. Dies entspricht dem Durchschnitt der von den Rinderspezialberatungsringen in Schleswig-Holstein ausgewerteten Betrieben in den letzten 5 Jahren. (THOMSEN, 2014) Mit einer leistungsunabhängigen konstanten Grundfutterleistung benötigen die Milchkühe die gleiche Hauptfutterfläche. Die variablen Kosten für das Grundfutter betragen für Maissilage 900 €/ha (Nettoenergieertrag: 70.000 MJNEL) und für Grassilage 1.100 €/ha (Nettoenergieertrag: 60.000 MJNEL). Der verbleibende Futterbedarf wird aus Vereinfachungsgründen über den Einsatz von Kraftfutter der

Milchleistungsstufe III gedeckt. Es wird mit einer gleichbleibenden Grenzverwertung von 2 kg Milch pro zusätzlichem kg Kraftfutter gerechnet. Der Preis für Kraftfutter beträgt 25 €/dt zzgl. MwSt..

8. Die Opportunitätskosten betragen für Ackerland 800 €/ha, für Grünland 500 €/ha und für den Faktor Arbeit 15 €/Akh. Es wird ein Grundarbeitsbedarf je Kuh und Jahr von 40 Akh sowie ein Mehrarbeitsbedarf von 2 Akh pro 1.000 kg zusätzlicher Milchleistung angenommen.
9. Die weiteren Erlöse und Kosten u.a. für Kälber, Tierarzt, Besamung, Medikamente etc. sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

## 6.2 Ergebnisse

Für die betriebswirtschaftlich korrekte Ableitung der optimalen Nutzungsdauer ist es notwendig, als Betrachtungsebene zunächst den Grenzdeckungsbeitrag (G-DB) und nicht den durchschnittlichen Deckungsbeitrag (D-DB) zu wählen. Der in betriebswirtschaftlichen Kalkulationen verwendete Deckungsbeitrag ist in der Regel ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag pro Kuh und Jahr. Dieser Deckungsbeitrag soll die Durchschnittskuh der Milchkuhherde abbilden, für die eine durchschnittliche Nutzungsdauer aufgrund der historischen Daten angenommen wird. Eine Verlängerung oder Verkürzung der Nutzungsdauer würde c.p. den Deckungsbeitrag der Durchschnittskuh erhöhen bzw. reduzieren. Dies entspricht der Betrachtung in 3.2. Die Verwendung des D-DB hat in der praktischen Kalkulation allerdings große Vorteile und ist in den meisten Fragestellungen auch sachgerecht.

Für die hier analysierte Fragestellung ist jedoch der G-DB zu wählen, da es im Kern immer um die Frage geht, welche zusätzlichen Erlöse bringt und welche zusätzlichen Kosten verursacht die Milchkuh, falls sie eine weitere Laktationsperiode genutzt wird. Dies wird insbesondere bei der Betrachtung des Altkuherlöses deutlich. Während der Wertverlust zwischen den Kosten der Färsen und dem Altkuherlös am Ende der 1. Laktation am größten ist, fällt der Wertverlust in den folgenden Laktationen deutlich geringer aus.

Tabelle 5 zeigt die Entwicklung des G-DB (Zeilen 22+23) sowie des D-DB (Zeile 25+26) in Abhängigkeit von der Laktationsnummer. Die Berechnungen in dieser Tabelle gehen von einer „deterministischen“ Situation aus, d.h. es wird unterstellt, dass es keine Zwangsabgänge (und keine jährliche Leistungssteigerung) gibt. Es zeigt sich, dass nach der Entlohnung der fixen Faktoren Arbeit und Fläche in Höhe der Opportunitätskosten der Grenzdeckungsbeitrag in der 5. Laktation ein Maximum erreicht. Allerdings steigt der durchschnittliche Deckungsbeitrag auch nach der 5. Laktation weiter an und erreicht erst in der 9. Laktation mit 1.270 €/Kuh und Jahr bzw. unter Berücksichtigung des Zins-effektes (Zeile 26) nach sieben Jahren mit 1.105 €/Kuh sein Maximum. In einer Situation, in der es keine Zwangsabgänge und keine Leistungssteigerung gibt, sollte auf Basis der Annahmen eine Milchkuh sieben Laktationen genutzt werden, um den Gewinn des Betriebes zu maximieren. Allerdings muss angemerkt werden, dass die durchschnittlichen Deckungsbeiträge der „Nachbarlaktationen“ nahezu identisch sind. Die Differenzen zum Maximum sind der jeder Rechnung inne liegenden Ungenauigkeit zuzuordnen, so dass hier zunächst die Aussage abgeleitet werden soll, dass die Kühe unter den getätigten Prämissen zumindest 7 Jahre genutzt werden sollten und eine Nutzung bis zum 9. Jahr zu keinem nennenswerten wirtschaftlichen Nachteil führt.

Bezieht man nun die aktuellen Zwangsabgänge mit ein, so lassen sich unter Berücksichtigung der definierten Nutzungsstrategien  $S_3$  bis  $S_{12}$  die erwarteten Deckungsbeiträge  $E(DB)$  für die einzelnen Strategien berechnen. Hierzu ist es lediglich erforderlich die G-DB (Tab. 5) mit dem jeweiligen relativen Altersaufbau der Milchviehherde (Tab. 3) zu multiplizieren und die Summe zu bilden. Das Ergebnis ist der Erwartungswert des DB je Milchkuh in Abhängigkeit von  $S_i$ . Wie in Tabelle 6 zu sehen ist, verlängert sich die

Tab. 5. Ökonomisch optimale Nutzungsdauer ohne Berücksichtigung von Zwangsabgängen  
*Economic lifetime without considering forced culling of cows*

Zeile	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Laktationsnummer												
2	Milchleistung	kg/jahr	8.000	9.168	9.910	10.340	10.381	10.362	10.173	9.931	9.466	9.023	8.600
3	Wert Altkuh	€/Kuh	950	910	900	890	880	870	860	850	840	830	820
4	<b>I. Prop. Leistungen</b>												
5	Milcherlös	€/Kuh	3100	3552	3839	4006	4022	4015	3941	3848	3668	3496	3332
6	Kälbererlös	€/Kuh	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
7	Summe	€/Kuh	3199	3651	3938	4105	4121	4114	4040	3947	3767	3595	3431
8	<b>II. Prop. Spezialkosten</b>												
9	Afa Milchkuh	€/Kuh	750	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	Zinsansatz Tier	€/Kuh	68	38	36	36	36	35	35	34	34	34	33
11	V.K. Grundfutter	€/Kuh	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
12	Kraffutter	€/Kuh	601	757	856	914	919	916	891	859	797	737	681
13	Besamung, Gesundheit	€/Kuh	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
14	LKV, Beratung, Vers.	€/Kuh	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
15	Energie, Wasser, Tech.	€/Kuh	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
16	Tierverluste	€/Kuh	19	18	18	18	18	17	17	17	17	17	16
17	Sonstiges	€/Kuh	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
18	Summe prop Spezialkosten	€/Kuh	2210	1625	1693	1750	1754	1751	1725	1692	1630	1570	1513
19	<b>III. Grenzdeckungsbeitrag</b>	€/Kuh	<b>989</b>	<b>2026</b>	<b>2246</b>	<b>2356</b>	<b>2367</b>	<b>2363</b>	<b>2315</b>	<b>2254</b>	<b>2137</b>	<b>2025</b>	<b>1919</b>
20	Nutzungskosten Fläche	€/Kuh	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
21	Nutzungskosten Arbeit	€/Kuh	525	560	582	595	596	596	590	583	569	556	543
22	<b>IV. Korrigierter G-DB</b>	€/Kuh	<b>194</b>	<b>1196</b>	<b>1394</b>	<b>1491</b>	<b>1501</b>	<b>1497</b>	<b>1455</b>	<b>1402</b>	<b>1298</b>	<b>1200</b>	<b>1106</b>
23	<b>- pro kg verkaufter Milch</b>	Cent/kg	<b>2,43</b>	<b>13,05</b>	<b>14,07</b>	<b>14,42</b>	<b>14,46</b>	<b>14,45</b>	<b>14,31</b>	<b>14,11</b>	<b>13,72</b>	<b>13,3</b>	<b>12,86</b>
24	∑ DB bis zur jew. L-Nr.	€ gesamt	194	1390	2784	4275	5776	7273	8728	10130	11428	12628	13734
25	<b>V. D-DB bis zur jew. L-Nr.:</b>	€/Kuh	<b>194</b>	<b>695</b>	<b>928</b>	<b>1069</b>	<b>1155</b>	<b>1212</b>	<b>1247</b>	<b>1266</b>	<b>1270</b>	<b>1263</b>	<b>1249</b>
26	<b>D-DB als Annuität (p = 4%)</b>	€/Kuh	<b>194</b>	<b>682</b>	<b>892</b>	<b>1007</b>	<b>1066</b>	<b>1096</b>	<b>1105</b>	<b>1099</b>	<b>1080</b>	<b>1052</b>	<b>981</b>

Tab. 6. Erwartungswert des Deckungsbeitrags (€/Kuh) in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$ <sup>1)</sup>  
*Expected values of the gross margins depending on the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie Lakt.-Nr.	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{11}$	$S_{12}$
1	80	68	62	59	58	57	56	56	56	56
2	402	343	314	298	291	286	284	282	281	280
3	352	300	274	261	254	250	248	247	246	245
4		220	201	192	186	184	182	181	180	180
5			128	122	118	117	116	115	115	114
6				72	70	69	68	68	68	68
7					39	38	38	38	38	37
8						21	21	21	21	21
9							11	11	11	11
10								6	6	6
11									4	4
12										2
E (DB) <sup>2)</sup>	834	931	979	1004	1016	1022	1024	1025	1026	1026

<sup>1)</sup> G-DB in € je Kuh nach Entlohnung von Fläche und Arbeit \* Anteil in der Laktationsnummer

<sup>2)</sup> Erwartungswert des Deckungsbeitrages über alle Laktationsperioden

optimale wirtschaftliche Nutzungsdauer auf 12 Jahre und erreicht damit das Ende des hier gewählten Betrachtungszeitraums. An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Milchleistungen der Jahre 10–12 durch Extrapolation der MLLK (Tab. 4) ermittelt wurden und nicht direkt aus der statistischen Analyse. Der vergleichsweise geringe Anstieg der erwarteten Deckungsbeiträge ist auf die nur geringe Veränderung des Altersaufbaus mit zunehmenden  $S_i$  zurückzuführen. Dies wiederum ist auf die bereits aufgezeigten kleinen Überlebenswahrscheinlichkeiten der Milchkühe in den hohen Laktationsnummern zurückzuführen.

Die Berücksichtigung der ZAW führt somit zu einer deutlichen Erhöhung der OND und lässt sich beispielhaft anhand der folgenden Überlegung nachvollziehen. Wenn nur ca. 9% der Milchkühe überhaupt die 7. Laktation (= OND bei deterministischer Betrachtung) erreichen, dann macht es sie trotz des kommenden Leistungsabfalls so wertvoll, dass sie auch aus ökonomischer Sicht weitergenutzt werden sollten. Würde man diese Kühe jetzt ersetzen, so bestünde schon eine 39%-ige Wahrscheinlichkeit, dass die Milchkühe bis zum Ende der 2. Laktation aus der Milchproduktion ausscheiden müssten und dies ist mit entsprechend hohen Kosten verbunden.

### 6.3 Sensitivitätsanalyse

Da die Ergebnisse der Analyse wesentlich bestimmt werden durch die der Kalkulation zugrunde liegenden Annahmen, soll deren Stabilität in Form einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden der Milchpreis, der Färsenpreis, die Erlöse für die Schlachtkühe und stellvertretend für die Futterkosten die Kraffutterpreise variiert.



Tabelle 7 zeigt, dass die hier gewählte Variation der Preise und Kosten zwar einen Einfluss auf die Höhe des wirtschaftlichen Ergebnisses haben, die OND der Milchkuh jedoch sehr stabil im Bereich von 10 bis 12 Laktationen liegt. Allerdings bewegt sich der ökonomische Vorteil bei einer Nutzung von 12 gegenüber 7 Laktationen in allen Varianten in einem Bereich von 12–15 €/Kuh und Laktation.

### 7 Optimale Nutzungsdauer bei Ersatz durch eine Milchkuh mit verbesserten Leistungsparametern

Die bisherige Analyse basierte auf der Annahme, dass die nachfolgende Kuh die gleiche Milchleistungsentwicklung aufweist wie die Altkuh bzw. dass kein züchterischer Fortschritt in der Praxis realisiert wird. Allerdings kann die Realisierung weiterer züchterischer Fortschritte einen mehr oder minder großen Einfluss auf die OND von Milchkühen haben. Der züchterische Fortschritt wird in dieser Analyse als Milchleistungssteigerung der Erstlaktierenden ausgewiesen. Die weitere Milchmengenentwicklung unterliegt dann wieder der Milchleistungs-Lebenskurve (MLLK).

Bei der Modellierung des Zuchtfortschritts ist zu beachten, dass sich die Milchleistungsrelationen zwischen den einzelnen Laktationsnummern jedes Jahr verändern.

Im Folgenden wird daher der Einfluss des Zuchtfortschritts nach 12 Jahren in Form einer Zeitpunktaufnahme analysiert. Der Betrachtungszeitpunkt von 12 Jahren wurde gewählt, da nach dieser Zeit jede hier betrachtete Laktationsnummer vom Zuchtfortschritt beeinflusst bzw. der züchterische Fortschritt zumindest einmal am Ende der Alterskette (12. Laktation) angekommen ist.

Tab. 7. Einfluss geänderter Parameter auf die Deckungsbeiträge (€/Kuh) in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$   
*Influence of the variation of different variables on the gross margin depending on the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenzsituation	Milchpreis <sup>1)</sup>	Färsenpreis <sup>2)</sup>	Altkuhpreis <sup>3)</sup>	Kraftfuttermittelpreis <sup>4)</sup>
$S_3$	834	1325	705	668	748
$S_4$	931	1434	821	794	841
$S_5$	979	1489	879	856	888
$S_6$	1004	1516	909	888	912
$S_7$	1016	1530	923	904	924
$S_8$	1022	1536	931	912	929
$S_9$	1024	1539	934	916	932
$S_{10}$	1025	1540	935	917	933
$S_{11}$	1026	1540	936	918	933
$S_{12}$	1026	1540	936	918	933

1) Veränderung des Milchpreises um + 5 Cent/kg ECM + MwSt.

2) Veränderung des Färsenpreises um + 300 €/St.

3) Altkuhpreis am Ende der 1. Laktation 500 €, danach entsprechend Tabelle 5

4) Veränderung des Kraftfuttermittelpreises um + 3 €/dt + MwSt.

Der züchterische Fortschritt auf die jeweiligen Milchleistungen lässt sich vergleichend für die 12 betrachteten Laktationen wie folgt modellieren:

$$\Delta ZF_i = (13 - l) \times \Delta MM \times LF_l$$

$$\text{mit: } LF_l = \frac{RML_l}{RML_1}$$

$\Delta ZF_1$	=	Züchterischer Fortschritt in der Laktationsnummer 1
$l$	=	Laktationsnummer $l$
$\Delta MM$	=	Jährlicher Milchleistungsanstieg der Erstlaktierenden
$LF_1$	=	Faktor zur Abbildung der Milchleistungs-Lebenskurve in den einzelnen Laktationen
$RML_l$	=	Relative Milchleistungsentwicklung in Laktation $l$
$RML_1$	=	Relative Milchleistungsentwicklung in Laktation 1

Durch diesen Ansatz wird sichergestellt, dass sich in der ökonomischen Betrachtung die Milchleistungsunterschiede zwischen den einzelnen Laktationen durch die Anzahl der realisierten Zuchtfortschritte und dem Einfluss der Milchleistungs-Lebenskurve unterscheiden.

Indirekt wird hiermit unterstellt, dass bei einer weiteren Milchleistungssteigerung die MLLK weiterhin den in Tabelle 3 ausgewiesenen relativen Verlauf nimmt.

Für die Untersuchung wurden mit 50, 75, 100 und 125 kg ECM/Kuh und Jahr vier verschiedene Niveaus des züchterischen Fortschritts simuliert.

Tabelle 8 zeigt die durchschnittliche Milchleistung je Kuh in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$  und dem Umfang des angenommenen züchterischen Fortschritts.

Aus der Analyse der Tabelle ist zunächst festzuhalten, dass

- mit steigendem Zuchtfortschritt die max. Durchschnittsleistung bei kürzeren Nutzungsstrategien erreicht wird
- in keiner Variante die max. Durchschnittsleistung bei einer Nutzungsstrategie  $< S_8$  erreicht wird
- die Strategie  $S_3$  in allen Fällen zur geringsten durchschnittlichen Milchleistung führt
- die durchschnittlichen Milchleistungen zwischen den Strategien  $S_8$  bis  $S_{12}$  sich für einen gegebenen Zuchtfortschritt nur geringfügig unterscheiden

Einige dieser Ergebnisse mögen zunächst überraschend sein, sind jedoch vor folgendem Hintergrund durchaus plausibel. Nach der Milchleistungs-Lebenskurve erreichen die Milchkühe in der 5. Laktation ihre maximale ECM-Leistung. In Relation zu diesem Maximum beträgt die Milchleistung in den ersten vier Laktationen 77, 88, 95 und 99%. Eine Leistungssteigerung wird diesen Abstand nicht aufholen können. Die Erstkalbinnen sind beispielsweise den Kühen in der 5. Laktation vier jährliche Zuchtfortschritte voraus, die Kühe in der 5. Laktation profitieren aber immer noch von dem deutlich Anstieg der Milchleistungslebenskurve. Dies führt insgesamt dazu, dass die maximalen Milchleistungen bei hohen Nutzungsstrategien  $S_i$  erreicht werden. Die geringe Differenz in den Milchleistungen bei hohen  $S_i$  ist wiederum auf die geringe Altersklassenbesetzung in diesen Gruppen zurückzuführen (vgl. Tab. 3).

Die aus ökonomischer Sicht entscheidungsrelevanten Deckungsbeiträge in Tabelle 9 zeigen ein entsprechendes Bild. Die Berücksichtigung des Zuchtfortschritts führt nicht zu

Tab. 8. Erwartungswert der durchschnittlichen Milchleistung (kg ECM/Kuh) nach 12 Jahren in Abhängigkeit vom Zuchtfortschritt und der Nutzungsstrategie  $S_i$   
*Expected milk yield (kg ECM/cow) after 12 years depending on the milk increase per lactation period and the voluntary culling strategy  $S_i$*

	Referenz-situation	JZF <sup>1)</sup> 50 kg	JZF <sup>1)</sup> 75 kg	JZF <sup>1)</sup> 100 kg	JZF <sup>1)</sup> 125 kg
$S_3$	8874	9908	10425	10942	11459
$S_4$	9091	10172	10713	11254	11794
$S_5$	9201	10301	10851	11400	11950
$S_6$	9256	10363	10916	11469	12022
$S_7$	9281	10388	10942	11495	12049
$S_8$	9291	10397	10950	11503	12057
$S_9$	9292	10397	10950	11502	12055
$S_{10}$	9291	10394	10946	11498	12050
$S_{11}$	9288	10391	10942	11493	12044
$S_{12}$	9286	10387	10938	11488	12039

<sup>1)</sup> Jährlicher Zuchtfortschritt der Erstlaktierenden in kg ECM

Tab. 9. Erwartungswert des Deckungsbeitrages (€/Kuh) nach 12 Jahren in Abhängigkeit vom Zuchtfortschritt und der Nutzungsstrategie  $S_i$   
*Expected values of the gross margins (€/cow) after 12 years depending on the milk increase per lactation period and the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenz-situation	JZF <sup>1)</sup> 50 kg	JZF <sup>1)</sup> 75 kg	JZF <sup>1)</sup> 100 kg	JZF <sup>1)</sup> 125 kg
$S_3$	834	1065	1181	1296	1412
$S_4$	931	1173	1294	1415	1536
$S_5$	979	1225	1348	1471	1594
$S_6$	1004	1252	1375	1499	1623
$S_7$	1016	1264	1388	1512	1635
$S_8$	1022	1269	1393	1517	1641
$S_9$	1024	1272	1395	1519	1642
$S_{10}$	1025	1272	1396	1519	1643
$S_{11}$	1026	1272	1396	1519	1642
$S_{12}$	1026	1272	1395	1518	1641

<sup>1)</sup> Jährlicher Zuchtfortschritt der Erstlaktierenden in kg ECM

einer signifikanten Reduzierung der OND. Für eine angenommene jährliche Milchleistungssteigerung von 125 kg/Jahr errechnet sich eine optimale Nutzungsdauer von 10 Jahren. Vereinfachend lässt sich aus dem Verlauf der Deckungsbeiträge die Aussage ableiten,



10% steigt bei gleichzeitigem Rückgang der Kuhzahl in der 1. Laktation um 6,2%. Auffällig ist, dass auch bei hohen  $S_i$  nur die Gruppen bis zur 3. Laktation Anteile an die höheren Laktationsklassen abgeben.

Die Verschiebung der Altersstruktur infolge reduzierter Zwangsabgänge führt zu einer Veränderung der Herdenleistung (Tab. 11). Erwartungsgemäß steigt die Herdenleistung mit der Höhe der Reduzierungen der Zwangsabgänge an. Der größte Anstieg der Herdenleistung wird bei einer

- 10%-igen Reduzierung der ZWA in  $S_8/S_9$  mit 54 kg
- 30%-igen Reduzierung der ZWA in  $S_8$  mit 162 kg
- 50%-igen Reduzierung der ZWA in  $S_8$  mit 267 kg erreicht.

Die Strategien  $S_3$  bis  $S_5$  profitieren bzgl. der Herdenleistung unterproportional von den verringerten unfreiwilligen Abgängen.

Die OND verändert sich unter Berücksichtigung der verringerten Zwangsabgänge kaum und ist über alle Varianten in einem Bereich von etwa 10 Laktationen anzusiedeln (Tab. 12).

Allerdings weist diese Tabelle auch die deutliche Zunahme der Deckungsbeiträge bei einer Reduzierung der ZWA aus. So führt eine 30%-ige Verringerung der ZWA für die Strategie  $S_{10}$  zu einem zusätzlichen Deckungsbeitrag von 92 € pro Kuh und Jahr. Aus ökonomischer Sicht dürften die Maßnahmen zur Reduzierung der ZWA somit jährlich max. diesem Betrag von 92 € entsprechen, um ökonomisch noch vertretbar zu sein. Bezogen auf Investitionsmaßnahmen mit 10 Jahren Nutzungsdauer, 3% Zinsen und 2% jährlichen Reparaturkosten errechnet sich eine maximale Investitionssumme von 665 €/Kuhplatz.

Tab. 11. Erwartungswert der durchschnittlichen Milchleistung (kg ECM/Kuh) in Abhängigkeit der Nutzungsstrategie  $S_i$  und von der Reduzierung der Zwangsabgänge (ohne Zuchtfortschritt)  
*Expected milk yield after 12 years depending on the reduction of the forced culling and the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenzsituation <sup>1)</sup>	ZWA <sup>2)</sup> -10%	ZWA <sup>2)</sup> -30%	ZWA <sup>2)</sup> -50%
$S_3$	8874	8891	8923	8954
$S_4$	9091	9119	9176	9229
$S_5$	9201	9240	9316	9390
$S_6$	9256	9304	9397	9487
$S_7$	9281	9333	9436	9537
$S_8$	9291	9345	9453	9558
$S_9$	9292	9347	9454	9555
$S_{10}$	9291	9344	9446	9537
$S_{11}$	9288	9340	9435	9513
$S_{12}$	9286	9335	9423	9485

<sup>1)</sup> vgl. Tab. 8, Spalte 2

<sup>2)</sup> Zwangsabgänge

Tab. 12. Erwartungswert der Deckungsbeiträge (€/Kuh) in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$  und dem Umfang der Reduzierung der Zwangsabgänge (ohne Zuchtfortschritt)  
*Expected values of the gross margins after 12 years depending on the reduction of the forced culling rates and the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenz- situation <sup>1)</sup>	ZWA <sup>2)</sup> -10%	ZWA <sup>2)</sup> -30%	ZWA <sup>2)</sup> -50%
$S_3$	834	844	864	884
$S_4$	931	946	976	1004
$S_5$	979	999	1037	1074
$S_6$	1004	1027	1073	1116
$S_7$	1016	1042	1092	1141
$S_8$	1022	1049	1103	1155
$S_9$	1024	1052	1108	1161
$S_{10}$	1025	1053	1109	1162
$S_{11}$	1026	1054	1109	1160
$S_{12}$	1026	1054	1108	1157

<sup>1)</sup> vgl. Tab. 6.

<sup>2)</sup> Zwangsabgänge

## 8.2 Situation mit Zuchtfortschritt

In einer letzten Variante soll untersucht werden, ob die Reduzierung der ZAW einhergehend mit Milchleistungssteigerungen im Vergleich zu den bisherigen Varianten zu einer Verkürzung der OND führt. Stellvertretend für die Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten wird hier lediglich ein Zuchtfortschritt von 75 kg ECM je Erstlaktierender und Jahr analysiert.

Insgesamt verzeichnen die Herdenleistungen gegenüber der Variante ohne Reduzierung der ZAW (aber mit Zuchtfortschritt) eine deutliche Erhöhung (Tab. 13). Das erreichbare Maximum steigt bei einer

- 10%-igen Red. der ZWA von 10950 kg ( $S_8$ ) auf 11020 kg in  $S_8$
- 30%-igen Red. der ZWA von 10950 kg ( $S_8$ ) auf 11156 kg in  $S_8$
- 50%-igen Red. der ZWA von 10950 kg ( $S_8$ ) auf 11283 kg in  $S_8$

Das Maximum wird somit kaum oder nur geringfügig früher erreicht als in der Referenzsituation ohne Reduzierung der Zwangsabgänge, aber unter Berücksichtigung des Zuchtfortschritts (Tab. 9).

Ein nahezu identisches Bild zeigt sich bei der Bestimmung der OND (Tab. 14). Die Herdendeckungsbeiträge erreichen ihr Maximum und damit die OND bei Nutzungsstrategien von  $S_9$  bzw.  $S_{10}$ . Die simultane Berücksichtigung von Zuchtfortschritt und Reduzierung der Zwangsabgänge führt somit aus ökonomischer Sicht nicht zu einer Verkürzung der optimalen Nutzungsdauer.

Tab. 13. Erwartungswert der durchschnittlichen Milchleistung (kg ECM/Kuh) nach 12 Jahren bei einem Zuchtfortschritt von 75 kg je Erstlaktierender und in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$  und dem Umfang der Reduzierung der Zwangsabgänge  
*Expected milk yield (kg ECM/cow) after 12 years if the milk yield increases by 75 kg/cow and lactation depending on the reduction of the forced culling rates and the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenz-situation <sup>1)</sup>	ZWA <sup>2)</sup> -10%	ZWA <sup>2)</sup> -30%	ZWA <sup>2)</sup> -50%
$S_3$	10425	10452	10503	10552
$S_4$	10713	10755	10837	10915
$S_5$	10851	10905	11011	11112
$S_6$	10916	10979	11103	11221
$S_7$	10942	11010	11143	11270
$S_8$	10950	11020	11156	11283
$S_9$	10950	11018	11149	11267
$S_{10}$	10946	11012	11134	11235
$S_{11}$	10942	11005	11116	11196
$S_{12}$	10938	10998	11097	11153

1) Tab. 8, Spalte 4

2) Zwangsabgänge

Tab. 14. Erwartungswert der Deckungsbeiträge (€/Kuh) nach 12 Jahren bei einer jährlichen Milchleistungssteigerung von 75/kg/Erstlaktierender und in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$  und dem Umfang der Reduzierung der Zwangsabgänge (ohne Zuchtfortschritt)  
*Expected values of the gross margins (€/cow) after 12 years if the milk yield increases by 75 kg/cow and lactation depending on the reduction of the forced culling rates and the voluntary culling strategy  $S_i$*

Strategie $S_i$	Referenz Situation <sup>1)</sup>	ZWA <sup>2)</sup> -10%	ZWA <sup>2)</sup> -30%	ZWA <sup>2)</sup> -50%
$S_3$	1181	1193	1218	1241
$S_4$	1294	1312	1348	1381
$S_5$	1348	1372	1416	1459
$S_6$	1375	1402	1454	1504
$S_7$	1388	1417	1474	1528
$S_8$	1393	1424	1484	1540
$S_9$	1395	1426	1487	1544
$S_{10}$	1396	1427	1487	1542
$S_{11}$	1396	1426	1485	1537
$S_{12}$	1395	1425	1483	1530

1) Tab. 9, Spalte 4

2) Zwangsabgänge

Tab. 15. Durchschnittliche Nutzungsdauer der Milchkühe in Laktationen in Abhängigkeit von der Nutzungsstrategie  $S_i$  und dem Umfang der Reduzierung der Zwangsabgänge  
*Average lifetime of cows (lactation numbers/cow) depending on the voluntary culling strategies  $S_i$  and the reduction of the forced culling rates*

Strategie $S_i$	Ohne Red. der ZWA <sup>1)</sup>	ZWA <sup>2)</sup> -10%	ZWA <sup>2)</sup> -30%	ZWA <sup>2)</sup> -50%
$S_3$	2,43	2,48	2,59	2,70
$S_4$	2,85	2,95	3,15	3,37
$S_5$	3,12	3,26	3,57	3,92
$S_6$	3,27	3,45	3,87	4,36
$S_7$	3,36	3,58	4,07	4,70
$S_8$	3,41	3,65	4,22	4,97
$S_9$	3,44	3,70	4,32	5,18
$S_{10}$	3,46	3,73	4,40	5,35
$S_{11}$	3,48	3,75	4,46	5,49
$S_{12}$	3,48	3,76	4,50	5,61
∅	3,23	3,43	3,92	4,57

<sup>1)</sup> ohne Reduzierung der Zwangsabgänge

<sup>2)</sup> Zwangsabgänge

## 9 Auswirkungen auf die durchschnittliche Nutzungsdauer

Die Umsetzung der diskutierten Nutzungsstrategien hat sowohl unter Berücksichtigung der aktuellen Zwangsabgänge als auch bei einer Reduzierung der ZWA Einfluss auf die durchschnittliche Nutzungsdauer (DND) der Milchkühe. Die DND lässt sich berechnen, indem die ZWA am Ende jeder Laktationsnummer mit der jeweiligen Laktationsnummer multipliziert und diese dann über sämtliche Laktationen addiert werden. Es wird somit indirekt unterstellt, dass der ZWA immer am Ende einer Laktation erfolgt. Hierdurch werden die in Tabelle 15 dargestellten DND tendenziell überschätzt.

Auf Basis der Modellkalkulationen lässt sich die DND bei einer Nutzungsstrategie  $S_9$  gegenüber  $S_3$  um eine Laktation steigern. Die Reduzierung der Zwangsabgänge führt erwartungsgemäß bei jeder Nutzungsstrategie  $S_i$  zu einer Erhöhung der DND. Eine 10%ige Reduzierung der Zwangsabgangswahrscheinlichkeiten führt zu einer Erhöhung der DND um 0,2 Laktationen, wobei die höheren Nutzungsstrategien stärker profitieren. So ließe sich bei einer 10%igen Reduzierung der ZWA und einer Nutzungsstrategie  $S_9$  die DND auf 3,7 Laktationen steigern. Insgesamt zeigt Tabelle 15 die Bedeutung, die den höheren Nutzungsstrategien bei der Verfolgung des Ziels zukommt, die DND der Milchkühe zu erhöhen.

## 10 Diskussion

Die Frage nach der OND von Milchkühen ist zunächst eine einzelbetriebliche bzw. eine tierindividuelle Entscheidung. Auf betrieblicher Ebene sollten in diese Entscheidung u.a.



die betriebsspezifischen Zwangsabgänge, die Entwicklung der Gesundheitskosten, aber auch die tierindividuelle Prognose bzgl. der zukünftigen Leistungsentwicklung einfließen.

Im vorliegenden Beitrag wurde hingegen versucht, für die bei vit erfasste Population „Schwarzbunt“ einen Rahmen für die aus betriebswirtschaftlicher Sicht möglichst anzustrebende Nutzungsdauer abzuleiten. Die ermittelte OND liegt in allen gerechneten Varianten einschl. der Reduzierung der Zwangsabgänge mit 9–12 Jahren oberhalb der bislang in der Literatur vorgestellten Ergebnisse.

Neben den Zwangsabgängen hat auch die abgeleitete Milchleistungs-Lebenskurve einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse. Aufgrund begrenzter Ressourcen konnte nur der Jahrgang „Geburtsjahr 2000“ systematisch ausgewertet werden.

Für die Milchviehhalter kann aus dieser Untersuchung die pauschale Empfehlung abgeleitet werden, Milchkühe grundsätzlich solange wie möglich zu nutzen. Es gibt aus betriebswirtschaftlicher Sicht keinen Grund, durchschnittliche Milchkühe freiwillig vorzeitig zu merzen. Allerdings sind die Unterschiede bei den Deckungsbeiträgen der Strategien  $S_7$  bis  $S_{12}$  in der Regel sehr gering, so dass mindestens eine 7-jährige Nutzung der Milchkühe anzustreben ist.

Die vorliegende Analyse zeigt aber auch die Bedeutung der Berücksichtigung der Zwangsabgänge. So sollten diese zukünftig auch in ähnlichen Fragestellungen wie z.B. dem wirtschaftlichen Vergleich von Rassen zur Milchproduktion berücksichtigt werden.

## Literatur

- BEHRENDTS, E., (2013): Markovketten und stochastische Differentialgleichungen. Vom Zufallsspaziergang zur Black-Scholes-Formel. Springer Spektrum.
- BRANDES, W. und M. ODENING, (1992): Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft. Ulmer Verlag.
- HARMS, J., (2011): Kalkulationsschema zur Bestimmung des optimalen Ersatzzeitpunktes zuchtuntauglicher Milchkühe. [http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA\\_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Betriebswirtschaft/Oekonomie\\_Tierproduktion/index.jsp?&artikel=,3504](http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Betriebswirtschaft/Oekonomie_Tierproduktion/index.jsp?&artikel=,3504) vom 11. März 2011.
- SIECK, G. und J. PIEPENBURG, (2005): Niedrige Zellzahlen und lange Nutzungsdauer – ein Widerspruch? In: Bauernblatt vom 19.10.2005, S. 36–37.
- SIMIANER, H., (2003): Zur optimalen Nutzungsdauer von Milchkühen aus biologischer und ökonomischer Sicht. In: Verbesserung der Nutzungsdauer in der Milchviehhaltung. Praxisinformation Tierische Erzeugung, Grünland und Futterwirtschaft **34**, 5–20. LK Hannover.
- SPIEKERS, H.; H. NUSSBAUM und V. POTTHAST, (2009): Erfolgreiche Milchviehfütterung. DLG-Verlag.
- STEINWIDDER, A. und M. GREIMEL, (1999): Ökonomische Bewertung der Nutzungsdauer bei Milchkühen. Die Bodenkultur **50**, 235–249.
- THOMSEN, J. (2014): Ergebnisse der Vollkostenrechnung der Rinderspezialberatungsringe in Schleswig-Holstein. Auswertungsjahr 2012/2013. Unveröffentlichte Ergebnisse.
- WALDMANN, K.-H. und Ulrike M. STOCKER, (2013): Stochastische Modelle. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Verlag.
- ZEDDIES, J., (1972): Zur Bestimmung der optimalen wirtschaftlichen Nutzungsdauer von landwirtschaftlichen Nutztieren. Agrarwirtschaft **7**–17.
- ZEDDIES, J., (1971): Ökonomische Entscheidungshilfen für die Selektion in Milchviehherden. Züchtungskunde **44**, 149.