



HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Wissenschaftliches Arbeiten

Prof. Dr. habil. Christian Looft

Bachelorarbeit

“Züchterische Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion“

URN-Nr.: [urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0288-9](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0288-9)

von

Bente Meijer

Menkin

10.09.2023

Inhaltsverzeichnis

“Züchterische Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion“	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
2 Literaturübersicht	3
2.1 Nachhaltigkeit	3
2.1.1 Ursprung und Definition der Nachhaltigkeit	3
2.1.2 Nachhaltigkeitsindikatoren	5
2.2 Genetik in der Milchproduktion	7
2.3 Auswirkungen der Milchleistung	11
2.4 Züchtungsmöglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit	13
2.4.1 Zucht auf Futtereffizienz	13
2.4.2 Verbesserung der Tiergesundheit	16
2.4.3 Anpassung an Klimatische Veränderungen	18
2.4.4 Reduzierung der Umweltauswirkungen	20
2.4.5 Zucht auf Persistenz	22
3 Diskussion	25
3.1 Bewertung der verschiedenen Ansätze	25
3.2 Potenzielle Herausforderungen und Grenzen	28
3.3 Mögliche zukünftige Entwicklungen	29
4 Fazit	31
5 Literaturverzeichnis	32
A Anhang	A-1
Danksagung	A-1
Eidesstattliche Erklärung	A-2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schlüsselpunkte zur Nachhaltigkeit.....	7
Abbildung 2: Gewichtung des RZG.....	10
Abbildung 3: Persistenz in der Laktation.....	24

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft ist heutzutage ein zentrales Thema, da die Bevölkerung wächst und Ressourcen für die Ernährung begrenzt sind. Laut Prognosen wird die Weltbevölkerung im Jahr 2067 fast 10,4 Billionen Menschen betragen. Das würde bedeuten, dass die für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehende Ackerfläche auf 0,15 Hektar pro Person zurückgehen wird (Britt, et al., 2018). Knapp die Hälfte, also 16,6 Millionen Hektar, der Gesamtfläche Deutschlands wurde in diesem Zuge bereits im Jahr 2020 von 262 800 landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftet. Dabei machen jedoch die tierhaltenden Betriebe mit rund 64,2 Prozent und 168 833 Betriebe mit dem Schwerpunkt auf Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung den größten Anteil aus und erwirtschafteten so rund 46 Prozent des gesamten Produktionswertes der Landwirtschaft im Jahr 2020 (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2022). Auch weiterhin wird laut der „Food and Agriculture Organization“ (FAO) die Nachfrage nach Milchprodukten und anderen tierischen Lebensmitteln steigen, denn sogar eine geringe Menge an Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs können den Ernährungszustand von Haushalten mit niedrigem Einkommen, durch die enthaltenen Mikronährstoffe wie Eisen, Zink, Vitamin A und B12, sowie Kalzium deutlich verbessern (FAO, 2011).

Um dies sicherzustellen ist eine nachhaltige Produktion sowohl bei der Erzeugung pflanzlicher, als auch tierischer Produkte erforderlich und verfolgt das Ziel, den ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedürfnissen gerecht zu werden, ohne die Chancen der nachfolgenden Generationen zu beeinträchtigen (Günther, 2012). Dabei stellen in der Milchproduktion vor allem ökologische Aspekte, wie der Klimawandel und die damit verbundenen Temperatur- und Feuchtigkeitsveränderungen für den Futtermittelanbau und die Treibhausgasemissionen, insbesondere die Methanemission, große Herausforderungen dar. Gleichzeitig müssen jedoch ökonomische Aspekte berücksichtigt werden, damit die Rentabilität erhalten bleibt und somit die wirtschaftlichen Interessen der Landwirte geschützt sind (Martin, et al., 2017). Und auch der Faktor der sozialen Nachhaltigkeit spielt eine immer größere Rolle, denn die Produktion von Lebensmitteln tierischen Ursprungs wird immer wieder in den Medien kritisch dargestellt. Dabei stellt der verantwortungsvolle Umgang mit natürlichen Ressourcen und die

Sorge um die Gesundheit und das Wohlergehen von Tieren, ein zunehmendes Thema dar und führt letztendlich zu eine sich überschneidende Matrix, durch die Nachhaltigkeitsfragen in Zukunft betrachtet werden können (Capper & Cady, 2020).

In diesem Kontext kann die Züchtung ein vielversprechendes Instrumentarium darstellen, um die Nachhaltigkeit in der Milchproduktion zu steigern. Denn unter der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsindikatoren in der Zucht, können Zuchtprogramme entwickelt werden, die möglicherweise langfristig positive Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaft und das Wohlergehen der Tiere haben.

1.2 Zielsetzung

Das Hauptziel dieser wissenschaftlichen Arbeit besteht darin, züchterische Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion zu recherchieren und zu bewerten, wobei ein besonderer Fokus auf den ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeitsindikatoren gelegt wird. Es wird in diesem Zusammenhang einen umfassenden Überblick über den bereits vorhandenen Ansätzen und Methoden in der Zucht gegeben, die zur Steigerung der Nachhaltigkeit beitragen können.

Anhand der Bearbeitung dieser Zielstellung sollen Erkenntnisse gewonnen werden, die sowohl für die wissenschaftliche Forschung als auch für die praktische Tätigkeiten relevant sind. Letztendlich sollen die Ergebnisse zur Weiterentwicklung der züchterischen Strategien bei der Förderung einer nachhaltigeren Milchproduktion beitragen und einen ersten Blick in eine nachhaltigere und effizientere Produktion von Milch ermöglichen.

2 Literaturübersicht

2.1 Nachhaltigkeit

2.1.1 Ursprung und Definition der Nachhaltigkeit

Die Begrifflichkeit der Nachhaltigkeit wurde bereits vor etwa 300 Jahren etabliert, als der sächsische Oberberghauptmann Hans Carlowitz im Jahr 1713 in Folge einer drohenden Rohstoffkrise den Grundsatz der nachhaltigen Waldnutzung beschrieb. Dabei ging es darum, dass nicht mehr Bäume gefällt werden sollten, als auch wieder nachwachsen können und somit auch für die nachfolgenden Generationen zur Verfügung stehen. (Klößner, 2019). Doch erst 1992 auf der UN-Umweltkonferenz von Rio erhielt die Nachhaltigkeit seinen Durchbruch und wurde als internationales Leitbild anerkannt. Dabei stützt sie sich durch ein internationales Handlungsprinzip auf den drei Prinzipien: der ökologischen Verträglichkeit, sozialen Gerechtigkeit und der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit. Es soll dadurch die nachhaltige Entwicklung vorantreiben, ohne auf Kosten der nächsten Generationen zu leben und verschiedene Interessengruppen im Einklang bringen (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BLE), 2023).

Eine ökologische verträgliche Entwicklung bezieht sich auf die Erhaltung der natürlichen Ressourcen, wie Wasser, Luft und Boden die die Ökosysteme für die heutige und künftige Generationen bereitstellen (Boogaard, Oosting, Bock, & Wiskerke, 2011). Wobei beispielsweise die Bodenfruchtbarkeit durch eine Kombination aus Stilllegungsflächen, Technologie und der Einführung von agrarökologischen Systemen erhalten werden kann (Russel, 1994). Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit kann dabei theoretisch gesehen auf zwei Arten betrachtet werden. Einerseits bezieht sie sich auf die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen eines definierten Wirtschaftssystems, was bedeutet, dass die wirtschaftliche Nachhaltigkeit erst dann erreicht ist, wenn die Tätigkeit nicht auf Kosten der natürlichen Ressourcen erfolgt. Andererseits kann die wirtschaftliche Nachhaltigkeit sich auf das Wachstum eines Wirtschaftssystems konzentrieren, was bedeutet, dass eine Rendite auf das im Unternehmen investierte Kapital erzielt wird (Arvidsson Segerkvist, Hansson, Sonesson, & Gunnarsson, 2020). Obwohl es bei der sozialen Nachhaltigkeit weniger Einigkeit über die Definition gibt, bezieht sie sich im Allgemeinen darauf, die sozialen Ziele zu erreichen und somit die Ressourcen auf transparente und effiziente Weise zu nutzen und zu verteilen (Russel, 1994). Wobei auch Aspekte, die nicht direkt mit der menschlichen Gesellschaft in Verbindung

stehen, wie die Gesundheit und das Wohlergehen von Tieren, ebenfalls in dieser Säule miteinbezogen sind (Arvidsson Segerkvist, Hansson, Sonesson, & Gunnarsson, 2020).

Letztendlich ist das Konzept der Nachhaltigkeit nicht nur durch einen Weg zu erreichen, sondern stellt in der öffentlichen Debatte ein subjektives Konstrukt mit vielfältigen Interpretationsmöglichkeiten dar (Boogaard, Oosting, Bock, & Wiskerke, 2011). Für die Tierhaltung bedeutet eine nachhaltige Intensivierung zu vollziehen, die Umweltkosten der Tierhaltung (ökologische Säule) durch die Effizienzsteigerungen in der Produktion (wirtschaftliche Säule) mit sozial verträglichen Tierschutzstandards (soziale Säule) zu verringern (Balaine, Dillon, Läßle, & Lynch, 2020). Im Grundsatz wurde die Nachhaltigkeit als etwas konzipiert, das durch die Steigung der Effizienz bestehender Betriebe durch den Einsatz wissenschaftlicher und technologischer Fortschritte erreicht werden kann. In der Milchproduktion zielt sie hierbei oftmals auf Umweltthemen ab, die auch als wirtschaftliche Ineffizienzen angesehen werden. Somit ist die Verringerung der Treibhausgasemission durch die Zucht von Kühen, die weniger Methan ausstoßen ein zentrales Thema (Clay, Garnett, & Lorimer, 2020). Die Zuchtziele für die Milchkühe verlagern sich dementsprechend immer mehr dahin, sowohl Produktions- als auch Funktionsmerkmalen zu berücksichtigen. Unter den Funktionsmerkmalen zählen unter anderem die Mastitis Resistenz und Totgeburtenrate, welche im Zusammenhang mit der Gesundheit und dem Wohlergehen der Tiere stehen und somit letztendlich mit der Nachhaltigkeit. Ein Zuchtziel, welches aufgrund der Selektion auf Produktionsmerkmale (z.B. Milchleistung) zu einer Verschlechterung der funktionalen Merkmale wie gesundheits- und tierschutzrelevante Merkmale führen, steht im Konflikt mit dem Tierschutz und damit auch mit dem Begriff der nachhaltigen Zucht. Deshalb ist es von Bedeutung ein Gleichgewicht zwischen den beiden genetischen Verbesserungsmöglichkeiten zu schaffen und damit eine Steigerung der Gesamtproduktivität und -effizienz der Milchkühe voranzutreiben (Nielsen, Christensen, & Odegård, 2006).

Auch wenn die inhaltliche Ausgestaltung der Zielgrößen nur schwer zu fixieren und mit den allgemein gültigen Wertvorstellungen auszufüllen sind, werden die Indikatoren im Agenda-21-Entwicklungsprozess berücksichtigt. Es stellt in diesem Rahmen die Weiterentwicklung der konventionellen Landwirtschaft mit einer zusätzlichen Ausrichtung zum ökologischen Bereich dar. Um dem Nachhaltigkeitsanspruch und damit die Zukunftssicherung gerecht zu werden, ist es das Ziel die Schonung und Entwicklung der abiotischen und biotischen Ressourcen voranzutreiben (Lütke Entrup, 1999).

2.1.2 Nachhaltigkeitsindikatoren

Im Rahmen der Entwicklung des Agenda 21, hat die United Nations Commission for Sustainable Standards (UNCSD) Nachhaltigkeitsindikatoren ins Leben gerufen und in Kapitel 40 festgehalten. Denn „es müssen Indikatoren für nachhaltige Entwicklung entwickelt werden, um eine solide Grundlage für Entscheidungen auf allen Ebenen zu schaffen und zu einer selbstregulierenden Nachhaltigkeit integrierter Umwelt- und Entwicklungssysteme beitragen“ (Agenda 21, 1992). Indikatoren können als messbare Größe erst dann abgeleitet werden, wenn Ziele und Kriterien definiert sind. In der Regel sind Ziele definiert, die im Konflikt miteinander stehen und nicht gleichermaßen erreicht werden können, wodurch eine Unterscheidung zwischen den übergeordneten und untergeordneten Zielen aufgestellt werden muss (Gottschick, Feindt, Brammer-Lohss, & Nabel, 2003). Sie sollen das Rückgrat der Überwachung der Fortschritte bei der Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele auf lokaler, regionaler und globaler Ebene darstellen und die Zielvorgaben in ein Managementinstrument umwandeln. Es soll den Ländern dabei helfen, Umsetzungsstrategien zu entwickeln und Ressourcen entsprechend zuzuweisen, sowie eine Bilanz zur Messung einer nachhaltigen Entwicklung erstellen. Die ebenso dazu beiträgt, die Verantwortung aller beteiligten für die Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele zu gewährleisten (Schmidt-Traub, Karoubi, & J., 2015). Insgesamt haben sich alle 191 UN-Mitgliedstaaten darauf geeinigt, bis zum Jahr 2030 möglichst nahe an der Verwirklichung der 17 festgelegten Zielen mit 169 Vorgaben heranzukommen und dafür ist eine einheitliche Darstellung von Bedeutung (World Health Organization, 2023).

Auf der Grundlage des Drei-Säulen-Konzepts kann ein Nachhaltigkeitsindikator definiert werden und als messbarer Aspekt, welche für die Überwachung von Veränderungen, die für die Aufrechterhaltung des Wohlergehens von Menschen, Umwelt und Tieren, relevant sind dienen (Fiksel, Eason, & Frederickson, 2012). Anstatt den Ansatz eines „Ein-Problem-ein-Indikator-Systems“ zu verfolgen, zielen die Nachhaltigkeitsindikatoren darauf die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Ziele der Gesellschaft zu vereinen und Verbindungen zwischen ihnen zu betonen (Geniaux, Bellon, Deverre, & Powell, 2009). Aus diesem Grund wurde der Rahmen des Drivers-Pressures-State-Impact-Response (DPSIR) geschaffen und findet auch in der Europäischen Umweltagentur für die Berichterstattung über den Zustand der europäischen Umwelt in ihren Fünfjahresberichten und dessen anschließende Verwendung und Änderung einen

bedeutenden Platz (Carnohan, et al., 2022). Sie beschreibt einige kausale Ketten von Einflussgrößen, wobei die Indikatoren entsprechend der Wirkungsketten treibende Kräfte, Belastungen, Zustände, Auswirkungen oder Reaktionen erfassen. So würden die Einflussgrößen bei der Umweltbelastung durch Stickstoff daraus bestehen, dass die Stickstoff-Bilanz der Landwirtschaft als treibende Kraft, die Stickstoffemissionen pro Jahr als Belastung, der Eintrag aus der Luft in naturnahe Ökosysteme als Auswirkung und die Maßnahmen zur Verminderung der Ammoniakemissionen als Reaktion gelten (Schläpfer, 2018).

Für die Tierhaltung werden dazu nochmals Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit herangezogen, welche sich durch tierbezogene und haltungsbezogene Parameter unterscheiden lassen. In diesem Fall bewerten die tierbezogenen Indikatoren ethologische, physiologische, pathologische und leistungsorientierte Parameter. Darunter gelten unter anderem Abweichungen vom Normalverhalten, Lahmheiten und die Milchleistung. Die haltungsbezogenen Indikatoren umfassen die Haltungstechnik, das Management und die Mensch-Tier-Beziehung, wobei beispielsweise auf die Fütterung, den Stalltyp und die Besatzdichte eingegangen wird (Willen, 2004).

Um die Nachhaltigkeit in der Milchviehhaltung zu verbessern hat die Wageningen University and Research Schlüsselpunkte erarbeitet (Abbildung 1: Schlüsselpunkte zur Nachhaltigkeit), welche für die nachhaltige Entwicklung von Bedeutung sind und stellt Lösungsmöglichkeiten zur Verbesserung dar. Darunter zählt die Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen, welche sich auf den Klimawandel auswirken. Ebenfalls wird der Erhalt der Wasserqualität angestrebt und dafür werden die Betriebe zur Verantwortung gezogen dieses zu erhalten. Denn sie erfüllt wichtige Funktionen zur Trinkwasserversorgung der Kühe und ist wichtiger Bestandteil zum Wachstum der Pflanzen. Die Einführung von Messungen am Tier zur Überwachung des Wohlbefindens und der Tiergesundheit ist ebenso ein wichtiges Forschungsgebiet. Es geht darum, Bedingungen zu schaffen, die die normalen Verhaltensmuster der Tiere entsprechen und sich somit positiv auf die Tiere auswirken. Ebenso wurde in der Darstellung Bezug auf der Schaffung eines Kreislaufkonzeptes für Lebensmittel genommen, in dem die Nutzung von Biomasseressourcen optimiert wird und eine stärkere Verflechtung mittels eines Aufbaus stärkerer Milchketten, die den Marktbedürfnissen entsprechen, angestrebt (Wageningen University & Research, 2023).

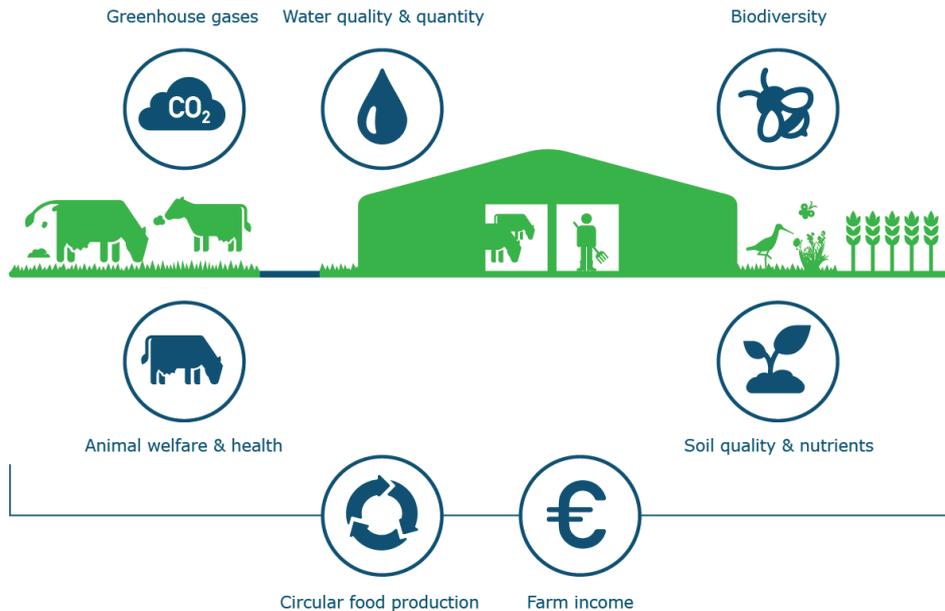


Abbildung 1: Schlüsselpunkte zur Nachhaltigkeit

Quelle: (Wageningen University & Research, 2023)

2.2 Genetik in der Milchproduktion

Seit dem Beginn der Domestizierung der Rinder, wurden durch unterschiedliche Selektionsprozesse etwa 1200 Rinderrassen gezüchtet. Diese zeichnen sich durch verschiedene Merkmale wie Milchleistung, Milchzusammensetzung, Umwelanpassung, Fellfarbe, Körpergröße, Fruchtbarkeit und allgemeine Widerstandsfähigkeiten aus. Derzeit werden aber die 95 Prozent der ertragreichsten Milchkühe in den wichtigsten Milchproduktionsregionen der Welt von nur drei Rassen gehalten. Darunter zählen: Holstein-Friesian, Jersey, Brown Swiss und ihre Kreuzungen. Die weltweite Verbreitung dieser wenigen milchtypischen Rassen ist vor allem auf ihre höhere Milchleistung und ihre Fähigkeit auf Produktionssysteme mit hohem Input zu reagieren zurückzuführen, wobei die Milchbauern durch die immer fortwährende Industrialisierung der Milchproduktion und die damit verbundene wachsende Nachfrage seitens der weltweiten Verbraucher, mit hohe Export- und Verarbeitungskapazitäten zur immer größeren Wettbewerbsfähigkeit gezwungen werden (Brito, et al., 2021). Die genetische Verbesserung der weltweiten Milchkuhpopulation ist entsprechend gut dokumentiert, wobei seit der Milchaufzeichnung in den 1970er Jahren große Fortschritte erzielt wurden (Erasmus & van Marle-Köster, 2021). Denn mit der Erfindung der künstlichen Besamung in den frühen 1900er Jahren in Dänemark, wurde eine wichtige Grundlage zur

Steigerung des Reproduktionspotenzials von Vatertieren mit genetischen Spitzenleistungen geschaffen und sorgt für eine präzise genetische Bewertung der Bullen über Hunderttausende von Töchtern (Moore & Hasler, 2017).

Für die Steigerung der Leistungen wurden die sogenannten Zuchtwerte (breeding values) etabliert, welche sich zunächst auf den grundlegenden Informationen der erbrachten Leistungen und ihre Abweichungsfaktoren, sowie die Abstammungsbeziehungen beruhten. Im Bereich der Milchproduktion wurde zu Beginn der Vorteil in der Töchtergeprüften Kategorisierung genutzt, da durch den weit verbreiteten KI-Einsatz der Bullen, die erforderliche Zuverlässigkeit geboten wurde, die wichtigsten Merkmale der weiblichen Nachkommen zu ermitteln. Die Zahl der erfassten Merkmale hat sich im Laufe der Zeit allmählich erhöht und ist jetzt bei 40 Merkmale in Bezug auf Milchproduktion und -zusammensetzung, Typ, Reproduktion und Gesundheit bei Milchkühen erfasst (Boichard & Brochard, 2012). Bei der genomischen Selektion werden die Zuchtwerte auf der Grundlage von Tausenden von molekularen Markern, anstelle von der Leistung der Nachkommensinformationen ermittelt. Somit können genaue Zuchtwerte für Tiere beider Geschlechter in einem frühen Lebensstadium ermittelt werden, wodurch der Generationsintervall verringert wird, ein höherer genetischer Gewinn angestrebt und geringere Kosten für das Zuchtprogramm anfallen, wenn man von einer Genauigkeit der genomischen Zuchtwerte von 0,75 ausgeht (Lillehammer, Meuwissen, & Sonesson, 2011).

Die Verfügbarkeit des dichten Panels von Einzelnukleotid-Polymorphismus-Markern (SNP) hat neue Möglichkeiten erschlossen und stellt als genetischer Marker Näherungswerte für den Nachweis von Genomregionen dar, die an einem Merkmal beteiligt sind – die quantitativen Merkmalsloci (QTL) – und können für Selektionszwecke genutzt werden. Dabei ermöglicht die SNP-Genotypisierungstechnologie die Erstellung von Profilen vieler Tiere für Tausende von Markerloci in einer einzigen Analyse und senkt damit auch die Ermittlungskosten (Bouquet & Juga, 2013). Um die GEBV (genomic breeding values) zu ermitteln, wird zunächst eine Gleichung auf Grundlage der SNP-Markern abgeleitet. Dabei wird das gesamte Genom in kleine Segmente unterteilt und deren Auswirkungen mit einer Referenzpopulation abgeglichen, in der die Tiere bereits phänotypisiert als auch genotypisiert sind. Auf dieser Weise können die Auswirkungen der einzelnen Loci, die zur genetischen Variation beitragen erfasst werden. In den nachfolgenden Generationen können die Tiere auf diesen Markern genotypisiert werden, um festzustellen, welche Chromosomensegmente sie tragen mit einer

vorhersage ihrer Auswirkungen, um dann über das gesamte Genom summiert zu werden und letztendlich den GEBV vorherzusagen (Hayes, Bowman, Chamberlain, & Goddard, 2009).

Internationale genetische Bewertungen, wie sie von Interbull durchgeführt werden, beruhen auf den Ergebnissen nationaler Bewertungen, die von zahlreichen Zentren in der ganzen Welt durchgeführt werden. Die BLUP-Methode hat sich dabei als die Standardmethode für die Schätzung von Zuchtwerten etabliert und ist jeweils auf die Bedürfnisse eines einzelnen Landes zugeschnitten. Dabei ist es von großem Interesse für Interbull, sowie den teilnehmenden Ländern, welche am Multiple Across Country Evaluations (MACE) teilnehmen, dass die nationalen Auswertungen vereinheitlicht und ein hohes Qualitätsniveau beibehalten wird (Wensch-Dorendorf, Wensch, & Swalve, 2006). Die Tatsache, dass es sowohl eine Bewertung der Tiere mit EBV als auch GEBV vorhanden ist, führt zu einer gewissen Unsicherheit für die Selektion der einzelnen Tiere. Entsprechend sind zur Vorhersage der genetischen Werte durch die best-lineare unbiased prediction (BLUP) zwei alternative Verfahren zur Kombination von Daten vorhanden. Unter Verwendung eines mehrstufigen Verfahrens, das sich auf der Selektionsindex-Theorie beruht, werden Pseudodaten für genotypisierte Individuen zusammengefasst und beim einstufigen Verfahren (SSP), welches auf einer Beziehungsmatrix basiert, sollen Stammbaum- und genomische Informationen kombiniert werden, ohne eine Verzerrung der Zuchtwerte herbeizuführen (Patry & Ducrocq, 2011).

Einige genotypisierte Individuen haben keinen eigenen Phänotyp, wodurch meistens das mehrstufige Verfahren eingesetzt wird. Dabei werden zunächst die phänotypischen Daten der Verwandten zusammengefasst, um Pseudodaten für genotypisierte Individuen zu erstellen und im Zweiten Schritt werden daraufhin, genomische Vorhersagen durch eine genomweite Methode aus Pseudodaten und Marker-Informationen berechnet. In der Rinderzucht sind Pseudodaten der männlichen Tiere, Maßzahlen für die Leistung der vorkorrigierten Töchter, die sogenannten Töchterertragsabweichungen (daughter yield deviations; DYD) (Vitezica, Aguilar, Misztal, & Legarra, 2011). Die Verwendung von DYD kann jedoch mehrere Probleme mit sich bringen. Ein Informationsverlust bei Tieren mit wenigen Nachkommen führt zu einer entsprechend geringeren Genauigkeit, was zu Heterogenität führt und sich durch unterschiedliche Informationsmengen im ursprünglichen Datensatz und Verzerrungen aufgrund von Selektion bemerkbar macht (Legarra, Aguilar, & Misztal, 2009). Dabei sollte die gemeinsame

Nutzung von Stammbaum, phänotypische und genomischen Informationen mittels der single-step Methode eine Möglichkeit darstellen, diese Probleme zu lösen und bietet einen einheitlichen Rahmen, sowie die Berechnung genauerer genomischen Auswertungen als das mehrstufige Verfahren (Aguilar, et al., 2010).

In Deutschland hat der deutsche Holstein Verband (DHV) im Jahr 1997 das sogenannte Gesamtzuchtwert (RZG) definiert und kombiniert darin seitdem allen züchterisch bedeutsamen Merkmalen entsprechend ihrer Gewichtung in den Zuchtzielen. Dabei wurde diese Gewichtung der Merkmale für die Rasse der Holstein (Schwarz- und Rotbunt) zuletzt im April 2021 angepasst (Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit), 2023). Entsprechend der stetigen Weiterentwicklung in der Zucht und auch den steigenden Anforderungen von Landwirten und Gesellschaft, hat sich der Zuchtwert im Laufe der Jahre in ihrer Zusammensetzung immer wieder verändert. Dabei geht die Gewichtung immer mehr in Richtung einer „balancierten“ Zucht, wo neben den Leistungsmerkmalen die Gesundheit und Robustheit eine immer größere Rolle spielen. Mit der Neugewichtung im April (Abbildung 2: Gewichtung des RZG), verloren die Milchleistung (RZM), Nutzungsdauer (RZN) und die Fruchtbarkeit (RZR) an Gewicht, da nun das neue Merkmal RZGesund die Tiergesundheit positiv beeinflussen soll. Somit geht die Bedeutung der Hilfsmerkmale (RZS - Zellzahl, RZR und RZN) zurück, wobei sich die Reduzierung der Gewichtsanteile durch die Einführung von RZGesund nicht negativ auswirkt. Insgesamt ermöglicht der verstärkte Fokus auf funktionale Merkmale eine züchterische Verbesserung des Tierwohls, ohne die wirtschaftliche Bedeutung für Landwirte des ohnehin leistungsstarken Holsteins zu vernachlässigen (Bundesverband Rind und Schwein, 2023).

Die Weiterentwicklung des RZG in 25 Jahren

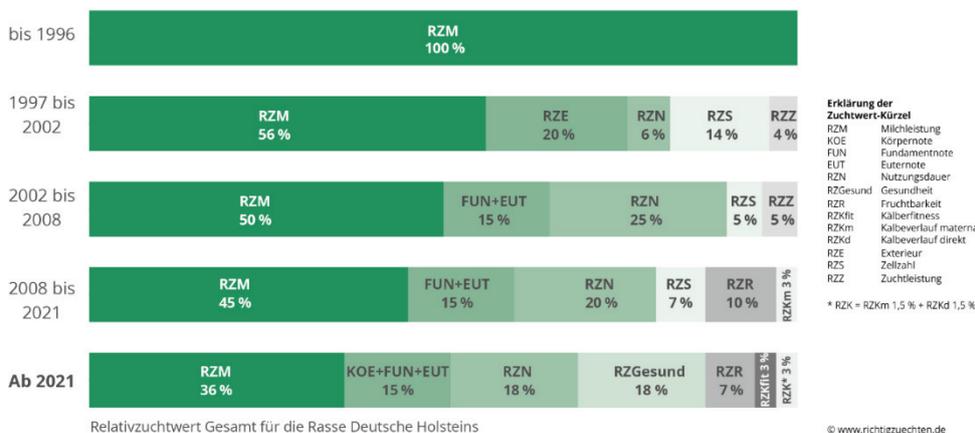


Abbildung 2: Gewichtung des RZG

Quelle: (Bundesverband Rind und Schwein, 2023)

Bei der länderübergreifenden genomischen Bewertung von Milchkühen stehen 2 Arten von Informationen über die Bullen als abhängige Variablen für die Schätzung der SNP-Effekte und anschließend der Vorhersage des direct genomic value (DGV) zur Verfügung: die MACE EBV und die separaten nationalen Nachweise (EBV) des jeweiligen Landes. Bei den nationalen Nachweisen handelt es sich um EBV, die sich aus genetischen Bewertungen innerhalb eines Landes ergeben und durch das nationale genetische Bewertungssystem jedes Landes berechnet werden. Die MACE EBV wird mit den nationalen EBV mehrerer Länder in einer Multitrait-Analyse ermittelt, welche regelmäßig vom Interbull Centre durchgeführt und veröffentlicht werden (Sallam, Benhajali, Savoia, de Koning, & Strandberg, 2022).

2.3 Auswirkungen der Milchleistung

Während des größten Teils des 20. Jahrhunderts bestand das Ziel der Tierzucht darin, die Produktion zu steigern und die Effizienz zu erhöhen, um so die Nachfrage nach tierischen Produkten zu niedrigen Kosten zu sättigen. Unter diesen Umständen ist es nicht verwunderlich, dass das Hauptziel der letzten Jahre darin bestand eine Verbesserung der Produktionseffizienz zu erreichen, wobei sich die genetische Selektion auf die Steigerung der Milchleistung beruhte. Somit konnte die Nutzung der Ressourcen unter sonst gleichen Bedingungen optimiert werden, den Gewinn der Betriebe gesteigert werden und die Kosten für die Gebraucher so niedrig wie möglich gehalten werden. In vielen Ländern konnte sich die Leistung pro Kuh in den letzten Jahren mehr als verdoppeln, wobei die durchschnittliche Produktion der Betriebe pro Kuh heutzutage bei über 10 000 Kilogramm Milch liegt und in Einzelfällen sogar doppelt so hoch sein kann (Oltenu & Algers, 2005).

Dieser Anstieg der Milchleistung kann die Emissionen von Methangas durch Kühe, die zum Klimawandel beitragen, positiv beeinflussen. Denn durch die Steigerung der Produktion pro Kuh konnte die Methanemissionen pro Kilogramm erzeugter Milch deutlich reduziert werden (Chesnais, et al., 2016). Diese Auswirkung der höheren Milchleistung auf die Treibhausgasemissionen, wird schlichtweg dadurch erzeugt, dass weniger Kühe mit einer höheren Leistung die feste Herdenleistung aufrechterhalten können. Somit führt eine Verbesserung der Milchleistung um 1 Prozent, zu einer Verringerung der THG-Emissionen um 4,8 Tonnen CO₂ und zeigt, dass die Herdenleistung unter dieser Methode in der Zucht als Zielmerkmal erhalten bleiben muss (Wall, Simm, &

Moran, 2010). Außerdem führt die geringere Anzahl an Tiere bei gleichbleibender Milchmenge, zu Einsparungen bei Futterkosten, reduziert den Verbrauch natürlicher Ressourcen und verringert somit den ökologischen Fußabdruck der Milchproduktion insgesamt (Connor, 2015).

Der Anstieg der Milchleistung der letzten Jahre bringt aber auch einige Probleme mit sich, denn durch die ungünstige genetische Korrelation zwischen der Milchleistung und den Gesundheitsmerkmalen, kommt es zu einer abnehmenden Fruchtbarkeit, zunehmende Bein- und Stoffwechselproblemen und eine geringere Lebenserwartung der Tiere. Und geht dementsprechend auch mit einer Verschlechterung des Wohlbefindens der Kühe einher. Die Verbesserung des Tierschutzes steht heutzutage in der Öffentlichkeit immer mehr im Mittelpunkt. Denn guter Tierschutz wirkt als Indikator für nachhaltige Systeme, gute Produktqualität und kann letztendlich auch wirtschaftlich von Vorteil sein (Oltenacu & Algers, 2005). Mastitis und Klauenkrankheiten stellen in diesem Zusammenhang die häufigsten Gründe für den Abgang mit steigender Inzidenz dar. Krankheitsfälle sind verbunden mit vielen Kostenfaktoren in der Milchproduktion, die vor allem durch Milchverluste, Behandlungskosten, verlängerte Ausfallzeiten und ein erhöhtes Risiko des Abgangs oder Verendens von Tieren verursacht werden (Schneider, Segelke, Tetens, Thaller, & Bennewitz, 2023). Im Grunde besteht die Tierproduktion aus einem klassischen Input-Output-System, welches auf dem Hauptsatz der Energieerhaltung beruht und besagt, dass Energie in Form von Output (Produktion, Verluste) die gleiche Menge an Energieinput (Nahrungsaufnahme) erfordert. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass ein Tier aus einer Population, die genetisch auf erhöhte Produktion selektiert wurde, dieses Potential nur in einer Umgebung realisieren kann, in der die Ressourcen ausreichend zur Verfügung stehen. In der Praxis wurden Nutztiere aber häufig genetisch auf ein höheres Produktionsniveau, jedoch mit gleichzeitig geringerem Energieeinsatz (z.B. durch die verbesserte Futtereffizienz) gezüchtet, wodurch eine Imbalance der biologischen Bedürfnisse entstanden ist und folglich unbeabsichtigt zu weniger robusten Tieren geführt hat (Rauw & Gomez-Raya, 2015).

Die durchschnittliche Lebensdauer der Milchkühe befindet sich heutzutage bei 2,5 bis 3,3 Laktationen. Dabei ist bekannt, dass die Milchleistung in den ersten Laktationen ansteigt, bevor sie zwischen der fünften und achten Laktation ein Höchstniveau erreicht. Somit geht ein großer Teil der hochproduktiven Lebenszeit verloren. Dies könnte durch die Langlebigkeit vermieden werden, wobei auch ein Umweltnutzen

durch den aufgeschobenen Ersatz gegeben ist, der mit einer geringeren Anzahl und somit geringeren Emissionen von Färsen, die aufgezogen werden müssen, verbunden ist (Grandl, et al., 2016).

Die genetische Theorie legt nahe, dass der genetische Fortschritt an einem bestimmten Punkt stagnieren könnte, durch die Erschöpfung der genetischen Variabilität oder durch die Entwicklung antagonistischer genetischer Beziehungen zwischen dem Selektionsziel und den Komponenten der Fitness. Trotz dieser Überlegungen ist in den letzten Jahren nur wenig Variation verloren gegangen und die derzeitigen Raten des genetischen Zuwachses sind in der Zukunft nachhaltig tragbar, denn die Selektion auf bestimmte Merkmale kann auch die genetische Varianz erhöhen, wenn die Häufigkeit des günstigsten Allels gering ist. Dieser rätselhafte „Aufstieg und Fall“ von Genen, die sich auf wirtschaftliche Merkmale auswirken, ist einer dieser Mechanismen, durch den diese Variation erhalten wird (Weller, Ezra, & Ron, 2017).

2.4 Züchtungsmöglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit

2.4.1 Zucht auf Futtereffizienz

Trotz der erheblichen Fortschritte der Effizienz in der Milchproduktion der letzten Jahre, bleiben die steigenden Futterkosten eine erhebliche Bedrohung für die Rentabilität der Landwirte. Dabei wird auch immer mehr Wert darauf gelegt die negativen Auswirkungen der Milchproduktion auf die Umwelt zu verringern. Daher wird nach Möglichkeiten gesucht, die Treibhausgasemissionen (THG) und die Nährstoffverluste an die Umwelt im Zusammenhang mit der Rinderproduktion zu reduzieren. Die Verbesserung der Futtereffizienz bietet dabei eine der Möglichkeiten, diese beiden Probleme zu lösen und zur Nachhaltigkeit in der Milchwirtschaft beizutragen. Im Allgemeinen beruht das Prinzip der Futtereffizienz auf die Fähigkeit eines Tieres, die maximale Menge an Milch, Fleisch oder anderen Produkten unter Verwendung einer minimalen Menge an Futter zu produzieren (Connor, 2015).

Die Steigerung der Produktivität der letzten Jahre hat bereits dazu geführt, dass ein größerer Prozentsatz der gesamten Futteraufnahme für die Milchproduktion verwendet wird, statt für die Versorgung der Kühe. Dementsprechend verbraucht eine Elitekuh mit einer Milchleistung von 10 000 Kilogramm je Kuh und Jahr, derzeit mehr als 3-mal so viel Futterenergie für die Milch als für die Erhaltung (VandeHaar, et al., 2016). Da es keine allgemeingültige Definition der Futtereffizienz gibt, können verschiedene

Methoden in Betracht gezogen werden. So wird der Bruttowirkungsgrad als ein häufiges Maß für die Effizienz von laktierenden Milchkühen verwendet und mit dem Verhältnis von Milchleistung oder Milchtrockenmasse (MLKS; kg Fett und Eiweiß) pro Einheit Futteraufnahme ausgedrückt. Andere Studien wiederum verwenden die Nettowirkungsgrade, welche das Verhältnis zwischen Milchenergie und Gesamtenergiezufuhr darstellen, wobei die erforderliche Energie zur Aufrechterhaltung, das Körpergewicht und andere Energieverwendungen berücksichtigt werden (Prendiville, Pierce, & Buckley, 2009).

Die Restfutteraufnahme (RFI) ist aufgrund ihrer Breite an Informationen in der Forschung eines der beliebtesten Messgrößen. Sie stellt die Differenz zwischen der tatsächlichen und der prognostizierten Futteraufnahme während eines Messzeitraums dar (Andreini, Augenstein, Fales, Sainz, & Oltjen, 2020). Zur Berechnung wird die RFI in Kombination mit dem Erhaltungsbedarf und anhand von Exterieur Merkmalen vorhergesagt, der entweder aus einem genomischen oder aus einem Stammbaum geschätzten Zuchtwert (EBV) für das Körpergewicht (BW) berechnet wird (Pryce, et al., 2015). Dementsprechend wird die prognostizierte Futteraufnahme auf Grundlage der Energiesenke berechnet und bezieht den Produktions- und Erhaltungsbedarf der Tiere mit ein (Lu, et al., 2015). Kühe, die die Bruttoenergie des Futters effizienter in Nettoenergie umwandeln oder einen geringeren Erhaltungsbedarf haben, als aufgrund des Körpergewichts erwartet, verbrauchen entsprechend weniger Futter und haben einen negativen RFI. Das resultiert daraus, dass diese Kühe die Nährstoffe besser verdauen und verstoffwechseln und letztendlich insgesamt eine höhere Effizienz und Rentabilität aufweisen, sofern sie außerdem gesund und fruchtbar sind. Die genomische Technologien helfen diese Tiere für Selektionsprogramme zu identifizieren, wobei die Rationsplanung und das Management nicht außer Acht genommen werden dürfen, um die Möglichkeiten der Effizienz auszuschöpfen (VandeHaar, et al., 2016). Ebenso ist die Verwendung des RFI aus Gründen der unterschiedlichen Interpretierbarkeit, Unterschiede in der Häufigkeit der Aufzeigung der verschiedenen Merkmale, die den RFI beeinflussen und den potenziellen Unterschieden in der genetischen bzw. nichtgenetischen Beziehungen zwischen der Trockenmasseaufnahme (DMI) und den Futtereffizienzmerkmalen immer wieder problematisch. So wird bei der Regressionsanalyse, die zur Ableitung des RFI verwendet wird, davon ausgegangen, dass alle Daten ohne Messfehler aufgezeichnet werden, obwohl während den verschiedenen

Laktationsperioden unterschiede auftreten. Dadurch können die Schätzungen stark verzerrt sein, selbst bei großen Datenmengen (Lu, et al., 2015).

Je mehr Futter eine Kuh frisst, desto geringer wird der Anteil der Erhaltungsfütterung an der gesamten Futtermittelaufnahme und steigert somit die Effizienz. Somit wäre eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Futtereffizienz, den Erhaltungsbedarf durch die Auswahl kleinerer Kühe zu senken. Denn im Allgemeinen hat die Körpergröße von Milchkühen in den letzten Jahren mit dem gleichzeitigen Anstieg der Milchleistung pro Kuh zugenommen, sodass die meisten Spitzenvererber in der AI-Industrie noch größer als der Rassendurchschnitt sind (VandeHaar, et al., 2016). Dabei ist in einer Studie bewiesen, dass beim Vergleich kleinere Kühe 15,4 Prozent (88 Tage) länger produktiv waren als die größeren. Wobei auch davon ausgegangen wird, dass die Kühe in der großen Linie höhere Kosten für den Unterhalt benötigen und daher die kleinere Linie effizientere Milchproduzenten darstellen (Hansen, 2000).

Die Kreuzungszucht in der Milchwirtschaft ist von aktuellem Interesse und hat bereits gezeigt, dass dadurch die Milchbestandteile, die Fruchtbarkeit und die produktive Lebensdauer verbessert werden können. Hinsichtlich der Futtereffizienz gibt es gespaltene Meinungen. Denn einige Studien stellten fest, dass sich Kreuzungen in Bezug auf die Futtermittelverwertung nicht von reinrassigen Holsteins unterscheiden, während andere eine höhere Effizienz der Kreuzungen aufgewiesen haben (Olson, Cassell, & Hanigan, 2010). Um mittels des Heterosis erwünschte Merkmale einer anderen Rasse einzubringen, wurden bereits mehrere Rassen als Vätertiere für Holstein-Kühe eingesetzt. Auch wenn bereits einige Studien über die Unterschiede zwischen reinrassigen und gekreuzten Milchkühen hinsichtlich der Körperreserven festgestellt wurden, liegen nur wenige detaillierte Informationen über die Auswirkungen der Kreuzung auf die Effizienz der Energienutzung in der Laktation vor (Xue, Yan, Ferris, & Mayne, 2011). Beispielsweise weist die Rasse der Jersey-Kühe, obwohl sie im Vergleich zu Holstein tendenziell eine geringere Größe und gleiche Leistung haben, eine höhere tägliche Aufnahme von 2,4 bis 5,4 Prozent mehr Trockenmasse pro 100 Kilogramm Lebendgewicht in der gesamten Laktation auf. Dies ist zwar kein Maß für die Effizienz an sich, jedoch müssen Kühe (in diesem Fall Jerseys-Kühe), die für die Weidehaltung geeignet sind, eine hohe Futtermittelaufnahme pro Einheit Körpergewicht erreichen. Denn in solchen Systemen müssen die Kühe ihren Energiebedarf auf der Weide im Verhältnis zu ihrem genetischen Potenzial für die Milchproduktion decken, wobei die höhere Aufnahme pro Einheit Körpergewicht bei Jersey durch das höhere Gewicht ihres Magen-Darm-Trakts im

Vergleich zu den Holstein erklärt werden kann (Prendiville, Pierce, & Buckley, 2009) und somit Potential zur Ausschöpfung der Futtereffizienz besteht.

2.4.2 Verbesserung der Tiergesundheit

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts gibt es eine sinkende durchschnittliche produktive Lebensphase einer Kuh in der Herde und veranlasst weltweit zunehmend zur Sorge. Ohne menschliches Handeln ist eine Milchkuh biologisch gesehen zu einer Lebensdauer von bis zu 20 Jahren fähig. Jedoch liegt der momentane Durchschnitt bei 4,5 bis 5,5 Jahren bzw. 2,5 und 3,5 Laktationen. Die Verlängerung der Lebensdauer von Milchkühen ist somit eine der möglichen Optionen, um zu einer nachhaltigeren Milcherzeugung beizutragen, sowohl aus wirtschaftlicher, ökologischer als auch sozialer Sicht (Schuster, Barkema, de Vries, Kelton, & Orsel, 2020). Die Langlebigkeit ist jedoch ein komplexes Merkmal und wird von vielen Faktoren beeinflusst, wie die internen Faktoren (Laktation, Gesundheit, Exterieur-Merkmale und Reproduktionsleistung) und den externen Faktoren (Milchpreis, Ernährung, Management, Futterkosten und Ersatzfärsen). Deshalb ist es eine schwierige Aufgabe Langlebigkeitsmerkmale bei Milchkühen zu züchten, aber von großer Bedeutung, um den Nutzungswert zu steigern (Hu, Mu, Ma, Wang, & Ma, 2021).

Aus diesem Grund sind Fruchtbarkeits- und Gesundheitsmerkmale in Milchviehzuchtprogrammen zunehmend von Bedeutung. Denn kranke Kühe sind weniger rentabel als gesunde, da sie weniger produzieren, weniger fruchtbar sind und höhere Arbeits- und Tierarztkosten verursachen. Es ist ebenso wahrscheinlicher, dass sie auf dem Betrieb sterben, was zu Einnahmeverlusten beim Rindfleischverkauf führt und Entsorgungskosten verursacht (Cole & VanRaden, 2018). Die Merkmale sind im Allgemeinen schwer zu erfassen und wenig vererbbar ($<0,10$), was die genetische Verbesserung der Krankheitsresistenz und Fruchtbarkeit behindert (Bastin, Théron, Lainé, & Gengler, 2016). Dies ist auf einer Kombination geringer Heritabilität und begrenzter Verfügbarkeit von Phänotypen zurückzuführen. Eine zunehmende Verfügbarkeit von dichten molekularen Marker Daten, welche bereits bei der Geburt verfügbar sind, könnte es aber ermöglichen, schneller Fortschritte zu erzielen, insbesondere bei gering vererbbaaren Merkmalen (Parker Gaddis, Cole, Clay, & Maltecca, 2014).

Zoetis Genetics hat ein Maßstab zur genetischen und genomischen Bewertung für Milchkühe entwickelt, um das genetische Risiko für 6 Gesundheitsereignissen bei

Milchkühen abzuschätzen. Sie umfassen genomisch verbesserte genetische Vorhersagen für Nachgeburtverhalten, Stoffwechselerkrankungen, Ketose, Labmagenverlagerung, Mastitis und Lahmheit. Die Verringerung des Auftretens dieser gesundheitlichen Beeinträchtigungen trägt zur Verbesserung der Rentabilität bei. Die wirtschaftlichen Auswirkungen liegen schätzungsweise bei 203 Dollar für einen Fall von Ketose und 438 Dollar für einen Fall von verlagertem Labmagen (McNeel, Reiter, Weigel, Osterstock, & Di Croce, 2017). Trotz dessen stehen wir vor einer großen Herausforderung, effektive Selektionsprogramme für diese Merkmale zu etablieren. Denn es können nur bedeutende Fortschritte erzielt werden, wenn die Zuchtunternehmen bereit sind, ihre Nachkommensprüfung auf Herden zu konzentrieren, in denen das Auftreten von Gesundheitsstörungen routinemäßig aufgezeichnet wird (Zwald, Weigel, Chang, Welper, & Clay, 2004). Die Verfügbarkeit von Inzidenzdaten für häufige Erkrankungen ist nämlich von großer Bedeutung für die Berichterstattung zur Vaterschaftsbewertung und deren Einbeziehung in genetische Selektionsprogramme. Denn nur so können ausgehend von einem Multiple-Trait-Modell zur genetischen Bewertung, die individuelle Wahrscheinlichkeit für jede Krankheit unter den Nachkommen eines bestimmten Vaters errechnet werden (Zwald, Weigel, Chang, Welper, & Clay, 2004).

Je länger die Kuh in der Herde verbleibt, desto größer ist der genetische Abstand zwischen ihr und den genetisch verbesserten Färsen. Die Keulung wirkt sich daher auf den genetischen Rückstand in der Herde aus. Ein größerer genetischer Rückstand bedeutet höhere Opportunitätskosten für verpasste Leistung, da der genetische Wert der durchschnittlichen Kuh in der Herde nicht so hoch ist wie der von jüngeren Tieren. Jedoch bedeutet eine längere Lebensdauer auch geringere jährliche Ersetzungskosten für Kühe, da die Kosten für die Anschaffung einer Färse in der Regel wesentlich höher sind als der Schlachtpreis der Kuh (de Vries, 2017). Andererseits könnte eine Verlängerung der produktiven Lebensdauer von Milchkühen den ökologischen Fußabdruck verringern, da weniger Färsen aufgezogen werden müssen. Ebenso ist eine kurze Nutzungsdauer Indikator, für viele Abgänge zu Beginn der Laktation und oft ein Zeichen für ein vermindertes Wohlbefinden. Eine längere produktive Lebensspanne könnte auch das Bedenken der Öffentlichkeit gegenüber der Milchproduktion zerstreuen, obwohl eine längere produktive Lebensspanne für gesunde nicht unbedingt profitabler ist und abhängig von mehreren Opportunitätskosten (de Vries, 2020).

2.4.3 Anpassung an Klimatische Veränderungen

Der Klimawandel wirkt sich sowohl direkt (z.B. durch Hitzestress und exotische Krankheiten), als auch indirekt (z.B. durch die Wasser- und Futterqualität) auf die Milchviehhaltung aus. Dabei sind nicht nur die Produktionssysteme von Wiederkäuern vom Klimawandel betroffen, sondern tragen selbst auch einen wesentlichen Anteil zum Klimawandel bei. Der verstärkte Wettbewerb um Wasser, Energie und Land aufgrund der Urbanisierung und des Bevölkerungswachstums, wird eine weitere Anpassungsfähigkeit der Milchkühe fordern (Berry D. P., 2018). Hitzestress ist nicht nur auf heiße Klimazonen beschränkt, sondern tritt auch als Hitzeepisoden in den gemäßigten Klimazonen, als saisonale Sommerhitze in den subtropischen Klimazonen und über längere Zeiträume in den tropischen Klimazonen auf (Berman, Horovitz, Kaim, & Gacitua, 2016). Milchkühe reagieren auf verschiedenster Weise auf Hitzestress, unter anderem durch eine geringere Futteraufnahme, geringere Milchleistung und -qualität und eine beeinträchtigte Fruchtbarkeitsleistung. Zusammengenommen erhöhen diese Reaktionen die Managementkosten und führen zu erheblichen Einkommensverlusten (Nguyen, Bowman, Haile-Mariam, Pryce, & Hayes, 2016).

Laktierende Kühe bevorzugen Umgebungstemperaturen innerhalb der thermoneutralen Zone zwischen 5 und 25°C, welcher als Bereich minimaler Wärmeproduktion bei normaler Rektaltemperatur gilt. Da die Umgebungstemperatur stark mit der Luftfeuchtigkeit verbunden ist, sollte das Ausmaß gemeinsam betrachtet werden und somit stellt die Temperature-Humidity-Index (THI) häufig die Auswirkungen des Hitzestresses auf Milchkühen dar (Gauly, et al., 2013). Der Beginn des Hitzestresses bei Kühen liegt etwa bei 72 THI, was 22°C und eine Luftfeuchtigkeit von 100 Prozent entspricht, mit einem Rückgang der Milchproduktion um etwa 0,2 Kilogramm je Einheit des THI. Somit ist die Selektion auf Hitzestress möglich und könnte besonders effektiv sein für Umgebungen mit einem hohen THI. Da die genetische Korrelation zwischen der Produktion und Hitzetoleranz bei -0,3 liegt, führt eine Selektion auf Produktion ohne Berücksichtigung der Hitzetoleranz zu einer abnehmenden Hitzetoleranz. Jedoch ist die Korrelation so gering, dass eine kombinierte Selektion der Merkmale möglich ist (Ravagnolo & Misztal, 2020).

Moderne Hochleistungsmilchkühe sind anfälliger für die schädlichen Auswirkungen von Hitzestress, da sie aufgrund der Milchproduktion eine sehr hohe Stoffwechselrate haben. *Bos Indicus*-Tiere (im Bereich des indischen Kontinentes domestiziertes

Hausrind) besitzen dahingegen eine bessere Fähigkeit, ihre Körpertemperatur zu regulieren, da sie seit Tausende Jahren unter hohen Temperaturen in Indien einer natürlichen Selektion unterworfen waren. Entsprechend besteht in tropischen Regionen die Alternative zur Bewältigung von Hitzestress in Milchproduktionssystemen, die Verwendung von Kreuzungen oder synthetischen Rassen, die einen Teil der Genetik von *Bos Indicus* enthalten, wie zum Beispiel die Rasse Girolando, die aus einer Kreuzung von Gir- und Holsteintieren hervorgegangen ist (Otto, et al., 2019). Jedoch findet die Kreuzung von Milchvieh bisher nur wenig Erfolg, im Vergleich zur Nutzung für Fleischrinder, wo bereits verschiedenste Rassen zur Kreuzung für heiße Klimazonen verwendet werden. Denn in der Milchproduktion ist es so, dass ihre Kreuzungen in der Regel viel weniger Milch produzieren als reine Holsteins. Eine Alternative ist entsprechend, die Tiere innerhalb einer Rasse zu selektieren durch die Schätzung genetischer Komponenten, welche für die Hitzeresistenz erforderlich sind (Ravagnolo & Misztal, 2020). Die Zucht auf Resiliente Kühe ist eine Möglichkeit dem Hitzestress entgegenzuwirken. Denn sie werden durch Umweltstörungen wie Krankheitserreger oder Hitzewellen nur minimal in ihrer Funktion beeinträchtigt oder erholen sich schnell. Eine Strategie zur Verbesserung der Resilienz ist mittels genetischer Selektion in Zuchtprogrammen. Der Vorteil besteht darin, dass sie im Gegensatz zu Managementverbesserungen kumulierbar ist und sich auf allen nachfolgenden Nutztieren auswirkt (Berghof, Poppe, & Mulder, 2019). Allgemein besitzen hitzetolerante Tiere die Fähigkeit, ihre Körpertemperatur unter wechselnden Klimabedingungen aufrecht zu erhalten. So werden verschiedene Merkmale, die mit Hitzestress zusammenhängen, wie die Fähigkeit eine stabile Körpertemperatur zu erreichen, in die Auswahl mit einbezogen (Gauly & Ammer, 2020). Dabei ist die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur, durch unter anderem die Fähigkeit zu schwitzen, der Fellstruktur und Farbe vererbbar. In einer Studie in Florida mit Kühen, die zu mehr als 70 Prozent als weiß oder zu mehr als 70 Prozent als schwarz charakterisiert wurden, wiesen weiße Kühe eine etwas niedrigere Körpertemperatur und eine höhere Milchleistung auf, unabhängig davon, ob sie im Schatten oder ohne Schatten standen. Jedoch ist der Nutzen in Hinsicht auf die Selektion für Fellfarbe unklar, denn diese wäre vom größten Nutzen, wenn die Kühe einer starken Strahlung ausgesetzt wären, wie zum Beispiel auf der Weide (West, 2003).

Neben den direkten Auswirkungen des Hitzestresses werden die Kühe aber auch zusätzlichen Belastungen durch die zukünftigen Veränderungen in der Ernährung ausgesetzt sein, insbesondere bei steigenden Milchleistungen. Denn es entstehen

zunehmend Unsicherheiten in der Versorgung, aufgrund der globalen Niederschlagsveränderungen und der allgemeinen Verschlechterung des Wasserkreislaufs (Henry, Eckard, & Beauchemin, 2018). Eine Möglichkeit dieser Herausforderung entgegenzuwirken, ist die Futtereffizienz, wodurch die Menge an Trockenmasseaufnahme in Hinsicht auf der Produktion gemindert wird und somit gleichzeitig die Futterkosten und Umweltauswirkungen der Produktion minimieren, da pro Kilogramm erzeugter Milch weniger Ressourcen in Form von Gülle, Methan und Kohlendioxid verloren gehen (Hill & Wall, 2017).

2.4.4 Reduzierung der Umweltauswirkungen

Die Auswirkungen der Milchviehhaltung auf die Umwelt sind ein wohlbekanntes Problem. Denn der Milchsektor trägt zu den Treibhausgasemissionen durch die Emission von CO₂, N₂O und CH₄ bei, wobei der Ausstoß von CH₄ einen Großteil der gesamten Treibhausgasemissionen eines Milchviehbetriebes ausmachen. Zur Verringerung der Emissionen sind bereits viele Optionen untersucht, wobei eine optimierte Fütterung und Managementpraktiken nur kurzfristige Instrumente darstellen. Die Tierzucht hingegen ist von potenzieller Bedeutung für die langfristige Abschwächung, da genetische Veränderungen als dauerhaft und kumulativ gelten (Axelsson, et al., 2013).

Der Pansen ist der Hauptort in der CH₄ produziert wird, in dem anaerobe Mikroorganismen Wasserstoff (H₂) und CO₂ in CH₄ umwandeln. Es gilt als natürliches Nebenprodukt der anaeroben Atmung, das überwiegend im Pansen (~90%) entsteht und zu einem geringen Teil im Dickdarm (~10%). Der Beitrag von CH₄, dass durch Blähungen freigesetzt wird, ist nur sehr gering, denn der größte Anteil vom Wiederkäuer produzierten CH₄ stammt aus dem Aufstoßen und der Luft aus der Lunge (de Haas, Pszczola, Soyeurt, Wall, & Lassen, 2017). Methan hat eine geschätzte Lebensdauer von 10 Jahren in der Atmosphäre, wodurch die Reduzierung von CH₄ eine interessante Möglichkeit ist, den Beitrag dieses Gases zur globalen Erwärmung innerhalb eines kurzen Zeitraums zu reduzieren. Folglich ist die Verringerung der enterischen CH₄-Emissionen bei Milchkühen, zu einem wichtigen Forschungsgebiet geworden der mit der Verpflichtung der Europäischen Union einher geht, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um 30 bis 40 Prozent im Vergleich zu 1990 zu reduzieren (González-Recio, et al., 2020).

Leider ist es derzeit schwierig, die CH₄-Produktion von Tieren unter praktischen Bedingungen direkt zu messen, was eine direkte Selektion auf reduzierter Emission in der Praxis erschwert. Die Entwicklung neuer direkter oder indirekter Messerverfahren wird dazu beitragen, die Fähigkeit zur Emissionsreduzierung durch genetische Selektion zu verbessern (de Haas, et al., 2011). In den letzten Jahren wurden nämlich Anstrengungen unternommen, um direkte, zuverlässige und kostengünstige Messungen der CH₄-Emissionen auf Einzeltierbasis zu entwickeln. Doch die Fortschritte erfolgen nur langsam, vor allem weil die direkte Messung von CH₄ auf Basis einzelner Tiere immer noch schwierig und teuer ist (Negussie, et al., 2017). Zu den direkten Messverfahren gehören so zum Beispiel die Respirationskammer, dass aber nur bei wenigen Tieren eingesetzt werden kann und nur in einigen Forschungszentren verfügbar ist. Die einfacheren, direkten Methoden sind die Entnahme von Luftproben in der Nähe der Nasenlöcher und des Maules der Kühe, welche anhand vom ausgeschiedenen CH₄ das aus dem Darm über die Lunge abgegeben wird, geschätzt werden. Ebenso kann ein Gas-Tracer zur CH₄-Ermittlung auf dem Rücken der Kühe angebracht werden. Jedoch sind diese Methoden mit hohen Kosten verbunden und mit einigen ethischen und tierschutzrechtlichen Problemen verbunden (Bittante & Cipolat-Gotet, 2018). In der Zwischenzeit können entsprechende Verbesserungen durch die Selektion von Merkmalen erzielt werden, die Stellvertreter für CH₄-Emissionen sind, wie z.B. die Restfutteraufnahme (RFI). Trotz dessen ist die Selektion auf dieses Merkmal mit der Nachkommensprüfung schwierig. Mit genomischer Selektion besteht jedoch die Möglichkeit, durch eine Referenzpopulation, einen genomischen Schlüssel für die Selektion zu entwickeln (de Haas, et al., 2011).

Zur Verringerung der CH₄-Emissionen wurden bereits verschiedene Strategien vorgeschlagen, worunter einer der Strategien die Steigerung der Produktivität und Effizienz der Milchviehherde durch selektive Zucht ist. Die Produktivität und Effizienz können durch die genetische Verbesserung von Merkmalen wie Milchleistung, Futtereffizienz, Langlebigkeit und Kalbungsintervall gesteigert werden (van Middelaar, Berentsen, Dijkstra, van Arendonk, & de Boer, 2014). Milchkühe mit einer höheren Milchleistung verbrauchen mehr Futter und stoßen entsprechend mehr Treibhausgase aus als niedrig produzierende Kühe. Trotz dessen weisen höher produzierende Kühe umgerechnet pro Einheit tierisches Produkt, niedrigere THG-Emissionen auf, was mit der Verringerung der Tierzahl bei gleichem Produktoutput zusammenhängt (Hristov, et al., 2013). Ebenso wird behauptet, dass Tiere mit einer günstigen Futtermittelleffizienz bei

gleichem Produktionsniveau weniger fressen als ihre Artgenossen und somit eine Verbesserung des RFI zu einer Verringerung der CH₄-Produktion führt (Løvendahl, et al., 2018). Durch die Verbesserung der Lebenserwartung von den Milchkühen und gleichzeitig die Senkung der Ersatzrate, sowie Ausmusterung überschüssiger Färsen als Neugeborene können die Treibhausgasemissionen um bis zu 13 Prozent reduzieren (Wall, Simm, & Moran, 2010).

Da die derzeitige Selektionspräferenzen zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Effizienz in der Milchproduktion führt, wird sich entsprechend auch die Methanemissionen pro Produkteinheit weiterhin deutlich verbessern. Bei Schätzungen zur Reduzierung der Methanemission in den nächsten Jahren, unter Berücksichtigung der genetischen Trends bei konventionellen Merkmalen und ohne Auswirkungen auf die Rentabilität der Landwirte, wurde eine Verringerung von 5-15 Prozent der gesamten Kilogramm CO₂ während der nächsten 25 Jahren vorhergesagt (Zhang, et al., 2019).

2.4.5 Zucht auf Persistenz

Unter Laktationspersistenz wird in der Regel, die Geschwindigkeit des Produktionsrückgangs nach Erreichen der Milchspitze verstanden. Eine hohe Laktationspersistenz geht mit einem langsamen Produktionsrückgang einher, während eine niedrige Laktationspersistenz mit einem schnellen Rückgang verbunden ist (Cole & Null, 2009). Obwohl über den wirtschaftlichen Nutzen einer erhöhten Persistenz noch immer spekuliert wird, könnte dieses Merkmal für die Selektion auf längere Laktationszeiten angewandt werden und sich somit positiv auf die Futterkosten, Gesundheit und die Fruchtbarkeit der Kuh auswirken (Pryce, et al., 2010). Insgesamt gibt es jedoch nur wenige Studien zur Laktationsdauer, da es ein komplexes Gerüst aufweist. Denn eine Persistenz in der Laktation bedeutet nicht nur die Fähigkeit, die Milchproduktion nach dem Höhepunkt aufrechtzuerhalten, sondern ist auch abhängig von der Entwicklung der Milchdrüsen nach dem Kalben und später vom Umbau des Gewebes bei abnehmender Laktation (Bissonnette, 2018). Trotz dessen wurde in verschiedene Studien ein optimales Kalbungsintervall von 12 bis 13 Monaten vorgeschlagen, um die Anzahl der Laktationsspitzen zu maximieren, die eine Kuh während ihres produktiven Lebens erreicht. In den letzten Jahrzehnten ist die durchschnittliche Milchleistung infolge von Verbesserungen in den Bereichen der Genetik und Ernährung entsprechend gestiegen

und ermöglicht es die Produktion weit über die empfohlene Mindestlaktationsdauer von 305 Tagen hinaus aufrechtzuerhalten (Niozas, et al., 2019).

Eine gute Persistenz soll zu weniger Gesundheitsproblemen führen, denn eine Kuh mit einer flacheren Laktationskurve ist beständiger als eine Kuh mit der gleichen Gesamtmilchleistung, deren Kurve aber nach der Spitzenleistung schnell abfällt. Die flachere Laktationskurve führt am Anfang der Laktation zu geringere Energiedefizite, da weniger Körperreserven für den erhöhten Nährstoffbedarf der Milchproduktion mobilisiert werden und letztendlich auch den Stoffwechselstress reduzieren. Demnach sind Kühe mit guter Persistenz weniger anfällig für Reproduktions- und Gesundheitsproblemen zwischen dem Abkalben und dem Höhepunkt der Milchleistung (Harder, Bennewitz, Hinrichs, & Kalm, 2006). Testtagesleistungen (24-Stunden-Messungen) für Milch, Fett und Eiweiß werden verwendet, um die Leistungen für Standardlaktationen von 305 Tagen zu berechnen. Dabei werden für die genetische Bewertung Faktoren berücksichtigt, die für jeden Testtag spezifisch sind, wie zum Beispiel Managementgruppen, Tag des Jahres, einschließlich Wetterbedingungen und für jede Kuh DIM, Trächtigkeitsstatus, medizinische Behandlungen und Anzahl der Melkungen am Testtag (Jamrozik, Schaeffer, & Dekkers, 1997). Da die Produktion in einer durchschnittlichen Laktationskurve in einer Periode von 61 bis 305 Tagen abnimmt, gilt ein Bulle, der die Fähigkeit an seinen Töchtern vererbt eine langsame Laktationskurve zu vergeben als ein guter Vererber für die Laktationspersistenz (CRV, 2021). Entsprechend der Abbildung 3: Persistenz in der Laktation wird ein Beispiel zu den unterschiedlichen Laktationsverläufen in Hinsicht der Persistenz gegeben. Dabei zeigt sich, dass die Kühe mit einer hohen Persistenz die Höchstleistung mit ungefähr 120 Tagen erreichen und mit niedriger bereits bei 52 Tage, wobei die Kühe mit hoher Persistenz am Ende der Laktation auch eine höhere Gesamtmilchleistung erreichen und auch einen wenig schnelleren Rückgang der Produktionsleistung besitzen (Torshizi, Mahdi, & Mashhadi, 2018).

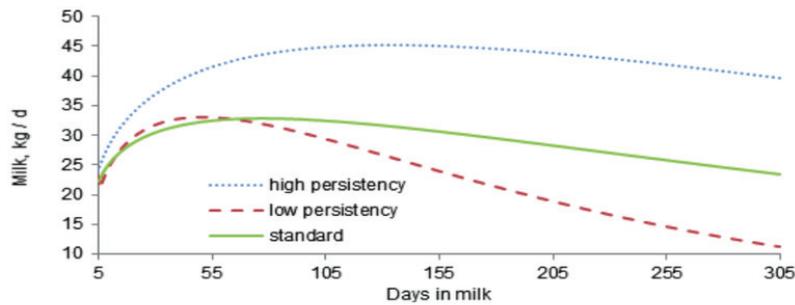


Figure 2. Comparison of lactation curves of cows with high persistency ($\hat{S} > 3$), low persistency ($\hat{S} < -3$) and standard lactation curve for Iranian primiparous Holstein cows

Abbildung 3: Persistenz in der Laktation

Quelle: (Torshizi, Mahdi, & Mashhadi, 2018)

Eine Studie hat jedoch ergeben, dass ein Wechsel von der derzeitigen Laktationsdauer zu einer längeren zwar weniger Ersatzkühe einfordert, um das derzeitige Milchleistungsniveau zu halten als in kurzen Laktationen. Jedoch wurde festgestellt, dass die Treibhausgasemissionen von 1214 Tonnen CO_2 – Äquivalent (CE) je Betrieb pro Jahr für Laktationen von 305 auf 1371 Tonnen CE je Betrieb pro Jahr für 440 Tage Laktationen stieg, was durch die weniger effiziente Milchproduktion in der längeren Laktation erklärt werden kann. Auch wenn sich die Persistenz und Langlebigkeit nur gering auf die Verringerung der Treibhausgasemissionen auswirken und eine starke Abhängigkeit zu den Managementpraktiken besteht, zeigt sich, dass die Erhöhung der Milchleistung die wahrscheinlichste Methode, um zur Verringerung der Emission beizutragen, ist (Wall, Coffey, & Pollott, 2012). Kürzere Laktationen weisen zu dem einen schnelleren Anstieg der Milchleistung in der Früh-laktation auf, wohingegen bei einer längeren Laktationsdauer die Gesamtmilchleistung mit der Laktationsdauer zunahm, wodurch bei richtigem Management, höhere Erträge erzielt werden können (Pollott, 2011).

Nachgewiesen ist auch, dass Kühe mit einer persistenten Laktation weniger krankheitsanfällig sind, weil die Futtermittelaufnahme normalerweise hinter dem Anstieg der Futtermittelaufnahme zurück liegt, was zu einem hohen Energiedefizit und entsprechend zu schwerwiegende Folgen für die Gesundheit führt. Bei gleicher Gesamtmilchleistung sollten daher Kühe mit einer flacheren Laktationskurve (d.h. mit großer Persistenz) weniger Gesundheits- und Fruchtbarkeitsprobleme haben als Kühe mit einer typischen Laktationskurve mit höheren Spitzenleistungen und steilerem Leistungsabfall. Wodurch sie eine große Rolle in Hinsicht des Wohlbefindens der Kuh spielt und somit einen erheblichen Anteil in der Betrachtung der Nachhaltigkeit spielt (Grossman, Hartz, & Koops, 1999).

3 Diskussion

3.1 Bewertung der verschiedenen Ansätze

Die Züchtung spielt eine wichtige Rolle zur Steigerung der Produktivität von Milchviehbetrieben in aller Welt. Dabei sind sich Wissenschaftler einig, dass die Einführung effizienter Genomik bei der Selektion von Milchkühen eine wichtige Rolle zur Steigerung des biologischen und genetischen Fortschritts bei verschiedenen Merkmalen spielt. Denn in den letzten Jahren wurden bereits immer mehr Instrumente für die genomische Selektion eingeführt, die mit der Produktion, Fortpflanzung, Gesundheit und dem Wohlergehen der Tiere zusammenhängen (Ule, Erjavec, & Klopčič, 2023). Durch die stetigen Verbesserungen der Zucht der letzten Jahre, besitzen züchterische Ansätze somit das Potenzial einen wichtigen Aspekt zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion zu sein. Auch wenn die Definition und somit auch die Beurteilung der Nachhaltigkeit mit vielen Ungenauigkeiten und Interpretationsspielräumen verbunden ist, kann mittels der getroffenen Aussagen in Kapitel 2.1. eine ungefähre Eingrenzung erfolgen. Denn mit der Nachhaltigkeit wird mehr als nur die wirtschaftliche Rentabilität der Betriebe berücksichtigt. Sie bezieht sich auch auf ökologische und gesellschaftliche Belange, einschließlich des Wohlbefindens der Tiere auf den Milchviehbetrieben (von Keyserlingk, et al., 2013).

Dieser Part der Diskussion widmet sich also entsprechend der Bewertung der präsentierten züchterischen Möglichkeiten, im Hinblick auf den dargestellten Nachhaltigkeitsindikatoren der ökonomischen Rentabilität, ökologische Verträglichkeit und den sozialen Aspekten. Die erste vorgestellte Möglichkeit war die Zucht auf Futtereffizienz, welche einen großen Einfluss auf die Faktoren der Rentabilität und den Umweltauswirkungen mit sich bringt. Eine nachhaltige Milcherzeugung hängt somit von einer kontinuierlichen Verbesserung der Futtermitteleffizienz ab, um somit Kosten und Nährstoffverluste durch Futtermittel zu verringern (Siberski-Cooper & Koltjes, 2021). Die Futterkosten in einem Milchviehbetrieb machen nämlich einen großen Teil von 43 bis 67 Prozent der gesamten Betriebskosten aus und ein effizienter Einsatz von Futtermitteln für die Milcherzeugung ist daher eine wesentliche Voraussetzung für die Aufrechterhaltung eines rentablen Betriebes (Williams, et al., 2011). Darüber hinaus ist eine Verbesserung der Futtereffizienz auch für die Umwelt von Bedeutung, da mehr

Nährstoffe in die Milchproduktion fließen und weniger Nährstoffverluste durch Gülle und Methanausscheidungen entstehen, wenn die Futtereffizienz steigt (Lu, et al., 2015).

Die Verbesserung der Tiergesundheit wurde als zweite Möglichkeit dargestellt und bringt viele positive Effekte mit sich. Denn Krankheitsfälle führen zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten, durch unter anderem Todesfälle im Betrieb, erhöhte Tierarzt- und Behandlungskosten, vorzeitiges Ableben der Tiere und eine geringere Milchproduktion (Brito, et al., 2021). Somit sorgt aus ökologischer Sicht die Verbesserung der Tiergesundheit zu einem verringerten Eintrag von Antibiotika durch beispielsweise Gülle auf Felder und in Gewässer (Oliver, et al., 2020). Ebenso ist dies mit einer geringeren Ersatzquote und einer Verringerung unproduktiver Tiere verbunden und somit einer Reduzierung der Treibhausgasemission pro Produktionseinheit. Die sozialen Auswirkungen sind in diesem Fall auf die Steigerung des Wohlbefindens der Milchkühe zurückzuführen (Boichard & Brochard, 2012).

Die Anpassung des Viehbestandes an klimatische Veränderungen wird für eine kosteneffiziente Tierproduktion immer wichtiger, vor allem aufgrund der steigenden Temperaturen werden die Bedingungen für Krankheiten immer günstiger und die Produktionskosten werden steigen. Hitzestress ist in dieser Hinsicht einer der gravierendsten Faktoren, die sich nachweislich mit einem Rückgang der Milchproduktion (5-15%) und niedrigen Empfängnisraten verbinden (Strandén, et al., 2019). Dementsprechend würden zusätzliche Forschungsarbeiten in Hinsicht der Zucht auf Hitzeresistenz, einen wirtschaftlichen Nutzen mit sich bringen, aber auch der Kuh eine angemessene Lebensqualität gewährleisten und ökologisch gesehen die Umweltauswirkungen durch den Energie- und Wasserbedarf der Kühlungsmöglichkeiten minimieren (Polsky & von Keyserlingk, 2017).

Im Hinblick auf der Reduzierung der Umweltauswirkungen stellt die Zucht mit ihren Entwicklungsmöglichkeiten einen wichtigen Schlüsselpunkt dar. Denn durch die Selektion auf Kühe mit reduziertem Methanausstoß, kann eine langfristige ökologische Nachhaltigkeit erreicht werden und hängt zudem eng mit der Minimierung der Ineffizienz und gleichzeitiger Verbesserung des Umweltbewusstseins zusammen, wodurch eine Optimierung der wirtschaftlichen Erträge und die Sicherstellung der gesellschaftlichen Akzeptanz erreicht werden kann. Bei der Umwandlung von für den Menschen ungenießbaren Pflanzenmaterial in Energie gehen 6 bis 11 Prozent der Energie im

Futter als Methanemission verloren. Wenn also die Methanproduktion reduziert werden kann, könnte die eingesparte Futterenergie, die vom Tier aufgenommen wird, potenziell in wirtschaftlich wichtige Eigenschaften wie Milchproduktion, Körperreserven oder beides umgelenkt werden (Richardson, et al., 2021).

Eine Zucht auf Persistenz stellt ebenso eine gute Möglichkeit dar, die Langlebigkeit und somit auch der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion zu fördern. Denn durch die Verlängerung der Laktation könnte neben den Veränderungen bei den Milcherlösen auch weitere wirtschaftliche und soziale Vorteile mit sich bringen. Denn persistente Kühe benötigen in der früheren Laktation weniger Energie, was geringere Gesundheits- und Reproduktionskosten, sowie eine bessere Nutzung von billigem Raufutter mit sich bringt, da sie während der Transitphase weniger Stress aufweisen (Cole & Null, 2009). Darüber hinaus könnte sich eine Verlängerung der Laktation positiv auf die Umwelt der Milchproduktion auswirken, da weniger Jungtiere aufgezogen werden müssen und somit die THG-Emissionen pro Milcheinheit reduziert werden. Dabei sollten jedoch nicht die negative Auswirkung der langsamen Verringerung der Milchleistung vergessen werden, denn dadurch besteht die Möglichkeit, dass die THG-Emissionen pro Milcheinheit erhöht werden (Kok, et al., 2019).

Schlussendlich kann gesagt werden, dass die einzelnen Ansätze jeweils eigene Stärken und Schwächen mit sich bringen. Die Herausforderung wird dabei sein, die einzelnen Potenziale abzuwägen und möglicherweise eine Strategie zu entwickeln, die Ansätze miteinander zu kombinieren und anzuwenden, während die ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsfaktoren berücksichtigt werden.

3.2 Potenzielle Herausforderungen und Grenzen

Während die züchterischen Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit vielversprechend klingen, sind auch Herausforderungen und Grenzen zu beachten. Denn durch die Implementierung von Tieren mit hohen genomischen Zuchtwerten (EBV) kann bereits in sehr jungem Alter eine Selektion erfolgen, wodurch die Generationsintervalle sich erheblich verkürzt haben. Dies hat wiederum zur Folge, dass die jährliche Inzuchtrate ansteigt. Ein solcher Anstieg der Inzuchtrate führt somit zu einem Verlust an genetischer Vielfalt, mit einer geringeren additiven genetischen Varianz, was zu einer geringeren Reaktion auf die Selektion führt. Außerdem führt eine genetische Gesamtvariabilität zu einem Verlust des Anpassungspotenzial für die Auswahl neuer Zuchtziele im Kontext des Klimawandels und zu einer stärkeren Inzuchtdepression (Doublet, et al., 2019). Aus genetischer Sicht wird entsprechend angenommen, dass die Möglichkeiten der Selektion auf der Milchleistung begrenzt sind. Eine Verarmung der genetischen Variation bei der Milchleistung scheint jedoch aufgrund des polygenen Charakters der Milchleistung und anderer interessanter Merkmale unwahrscheinlich. Da heutzutage der Schwerpunkt der Selektion nicht mehr nur auf die Milchleistung liegt und gleichzeitig viele andere wichtige Merkmale ausgewählt werden, wird erwartet, dass langfristig eine große genetische Variabilität erhalten bleibt (Brito, et al., 2021). Dazu kommt das die Reaktion auf die Selektion für ein bestimmtes Merkmal innerhalb eines Zuchtziels immer von der Heritabilität und der Menge an Informationen, die für dieses Merkmal verfügbar sind, abhängig ist. Die Einbeziehung eines Merkmals, das antagonistisch mit der Leistung korreliert, verringert dementsprechend den genetischen Zuwachs des Leistungsmerkmals, auch wenn die Selektion ihrem wirtschaftlichen Wert entsprechend, auf ein ausgewogenes Zuchtziel den genetischen Gewinn bei der Gesamtrentabilität erhöht (Berry, Bermingham, Good, & More, 2011).

Kommerzielle Zuchtziele müssen entsprechend aufgrund der stetigen Veränderungen der Produktionsbedingungen, Markterfordernisse und gesellschaftlicher Entwicklungen weiterhin regelmäßig verfeinert werden (Brito, et al., 2021). Denn in Bezug auf die selektive Zucht von Nutztieren ist das Wohlergehen der Tiere zusammen mit der Ressourcennutzung und den Auswirkungen auf die Umwelt eines der Hauptthemen in der Gesellschaft (Nielsen, Olesen, Navrud, Kolstad, & Amer, 2011). In Anbetracht dessen, ist es von Bedeutung diesen potenziellen Herausforderungen und Grenzen

ganzeinheitlich zu betrachten, um eine verantwortungsvolle Zucht auch in der Zukunft zu gewährleisten.

3.3 Mögliche zukünftige Entwicklungen

Die züchterischen Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion werden sich mit größter Wahrscheinlichkeit weiterentwickeln, um sich an den stetig ändernden Anforderungen und Herausforderungen anzupassen. Auf Genomanalysen basierende Selektionsraten ermöglichen bereits ein besseres Verständnis der Tierbiologie, neue Daten, neuartige Genom-Editing-Methoden und eine immer bessere Anpassung an sich ändernde wirtschaftliche und ökologische Bedingungen. Dies ist von großer Bedeutung, denn aus genomischen Daten abgeleitete Einschätzungen zur Anpassungsfähigkeit von Milchkühen in verschiedenen Umgebungen werden mehr denn je benötigt (Gutierrez-Reinoso, Aponte, & Garcia-Herreros, 2021). Für die Selektion werden jedoch immer noch viele Tiere benötigt, sogar mit genomischer Selektion und wird in Zukunft eine große Herausforderung darstellen. Wodurch an einer intensiveren internationalen Zusammenarbeit zu denken ist, um so die Gesamtgenauigkeit der genomischen Zuchtwerte zu erhöhen und die Kosten für die Phänotypisierung zu senken (Boichard & Brochard, 2012).

Die Kreuzungszucht kann eine Möglichkeit sein, die Nachhaltigkeit in der Milchviehzucht zu erhöhen. Denn Inzuchtprobleme innerhalb der Herde werden beseitigt und der Heterosiseffekt wirkt sich sowohl auf die Produktion als auch auf den funktionalen Merkmalen positiv aus. Effiziente Zuchtprogramme innerhalb der reinen Linien bleiben jedoch auf der anderen Seite Voraussetzung für die Kreuzungszucht. Wenn sich die Kreuzungszucht auf Kosten des genetischen Gewinns in den reinen Rassen geht, wird der wirtschaftliche Gesamtnutzen im Laufe der Zeit negativ beeinflusst. Richtig eingesetzt, kann Heterosis jedoch einen Bonus zu den traditionellen Milchviehzuchtprogrammen darstellen (Sørensen, Norberg, Pedersen, & Christensen, 2008).

Dabei steht auch eine immer weitere Entwicklung in Richtung einer robusteren Kuh im Mittelpunkt. Denn sie hat das Potenzial, die Rentabilität der Betriebe zu erhöhen, den Tierschutz zu verbessern und den Beitrag der Wiederkäuer zu den Treibhausgasemissionen zu verringern (Amer, 2012). Auch wenn die Robustheit ein weit gefasster Begriff widerspiegelt, dem verschiedene Bedeutungen zugetragen werden, sind genetisch robuste Milchkühe weniger anfällig für suboptimale Umstände der Umwelt und stellen

daher weniger Zwänge für landwirtschaftliche Betriebe dar. Robuste Kühe besitzen eine verbesserte Gesundheit, wodurch weniger Medikamente eingesetzt werden müssen und ihr Wohlbefinden gesteigert ist. Darüber hinaus müssen sie dementsprechend seltener vorzeitig gekeult werden (Veerkamp, Kaal, De Haas, & Oldham, 2013).

Insgesamt lässt sich sagen, dass die zukünftigen Entwicklungen in der Zucht zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion ein guter Weg darstellen, die sich wandelnden Anforderungen der Produktionsprozesse, Gesellschaft und des Tierwohls zu erfüllen. Durch Fortschritte in der Genomforschung, Datenanalyse, Kreuzungszucht und die Entwicklung einer widerstandsfähigen Kuh könnte die Milchproduktion nachhaltig verbessert werden. Trotz dessen ist weiterhin die enge Zusammenarbeit zwischen Landwirten, Wissenschaftlern, Verbrauchern und Behörden erforderlich, um somit eine ganzheitliche Akzeptanz der Perspektiven zu erreichen.

4 Fazit

Wenn Minderungsstrategien der Nutztierhaltung umgesetzt werden, die zwar die Treibhausgasemissionen reduzieren, aber wiederum die Produktionsleistung verringern, gehen Umweltvorteile teilweise durch höhere Lebensmittelkosten und ein geringeres Angebot an tierischen Lebensmitteln verloren (Knapp, Laur, Vadas, Weiss, & Tricarico, 2014). In Anbetracht dessen, gewinnt die züchterische Steigerung der Nachhaltigkeit in der Milchproduktion immer mehr an Bedeutung und beschäftigt sich zunehmend mit der wirtschaftlichen Rentabilität, ökologischen Verträglichkeit und der sozialen Akzeptanz.

In dieser Hinsicht wurde die Erkenntnis erlangt, dass die Langlebigkeit und somit die Robustheit der Milchkühe einen essenziellen Beitrag zur Nachhaltigkeit leistet. Eine längere Lebensspanne der Kühe führt entsprechend zu einer optimalen Nutzung und verringert den Bedarf an regelmäßigen Ersatzkühen. Ebenso verspricht diese eine Kombination der einzelnen züchterischen Ansätze, wie Krankheitsresistenz, Adaption zur Umwelt und eine verbesserte Futtereffizienz. Die Integration moderner genomischer Selektionsprogramme ist somit unerlässlich, um eine gezielte Steuerung der genetischen Merkmale zu gewährleisten und stellt somit ein weiterführendes Forschungsthema zur Verbesserung der Genauigkeit der Selektion dar.

Trotz der vielversprechenden Ansätze ist jedoch zu beachten, dass die züchterischen Entwicklungen allein nicht ausreichen, um das vollkommene Potenzial der Nachhaltigkeit auszuschöpfen. Denn dafür müssen die Ansätze auch mit einer tiergerechten Haltung und Fütterung, sowie ein erfolgreiches Management und die Bereitschaft neue Technologien auszuprobieren im Einklang gebracht werden. Und auch in Zukunft ist die Forschung nach einer langfristigen Implementierung neuer Strategien und Forschungen zur Nachhaltigkeit von großer Wichtigkeit.

Schlussendlich zeigt diese Arbeit, dass züchterische Ansätze einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Nachhaltigkeit leisten können und eng mit dem Faktor der längeren produktiven Lebenszeit einer Kuh verbunden sind. Jedoch bleibt festzuhalten, dass die gezielte Zucht auf Tiere mit verbesserten Merkmalen stetig unter einer neuerlichen Perspektive betrachtet werden muss, da das Zusammenspiel der ökonomischen, ökologischen und sozialen Indikatoren den Kernaspekt zur Schaffung einer nachhaltigen Milchproduktion darstellen.

5 Literaturverzeichnis

- Agenda 21. (3-14. Juni 1992). Nachhaltigkeitsindikatoren. 346. (U. N. Development, Hrsg.)
Von <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
abgerufen
- Aguilar, I., Misztal, I., Johnson, D. L., Legarra, A., Tsuruta, S., & Lawlor, T. J. (2010). Hot topic: a unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score. *Journal of dairy science* 93(2), 743–752. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2730>
- Amer, P. R. (2012). Turning science on robust cattle into improved genetic selection decisions. *Animal* 6(4), 551-556. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731111002576>
- Andreini, E. M., Augenstein, S. M., Fales, C. S., Sainz, R. D., & Oltjen, J. W. (2020). Effects of feeding level on efficiency of high- and low-residual feed intake beef steers. *Journal of animal science* 98(10), *skaa286*, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1093/jas/skaa286>
- Arvidsson Segerkvist, K., Hansson, H., Sonesson, U., & Gunnarsson, S. (2020). Research on Environmental, Economic, and Social Sustainability in Dairy Farming: A Systematic Mapping of Current Literature. *Sustainability*, 12, 5502, 1-14. doi:<https://doi.org/10.3390/su12145502>
- Axelsson, H. H., Fikse, W. F., Kargo, M., Sørensen, A. C., Johansson, K., & Rydhmer, L. (2013). Genomic selection using indicator traits to reduce the environmental impact of milk production. *Journal of dairy science* 96(8), 5306–5314. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6041>
- Balaine, L., Dillon, E. J., Läpple, D., & Lynch, J. (2020). Can technology help achieve sustainable intensification? Evidence from milk recording on Irish dairy farms. *Land use policy* vol. 92, 104437, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104437>
- Bastin, C., Théron, L., Lainé, A., & Gengler, N. (2016). On the role of mid-infrared predicted phenotypes in fertility and health dairy breeding programs. *Journal of dairy science* 99(5), 4080–4094. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10087>
- Berghof, T. V., Poppe, M., & Mulder, H. A. (2019). Opportunities to Improve Resilience in Animal Breeding Programs. *Frontiers in genetics* 9, 692, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00692>
- Berman, A., Horovitz, T., Kaim, M., & Gacitua, H. (2016). A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *International journal of biometeorology*, 60(10), 1453–1462. doi:<https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- Berry, D. P. (2018). Symposium review: Breeding a better cow-Will she be adaptable? *Journal of dairy science* 101(4), 3665–3685. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13309>
- Berry, D. P., Bermingham, M. L., Good, M., & More, S. J. (2011). Genetics of animal health and disease in cattle. *Irish Veterinary Journal* 64, 5. doi:<https://doi.org/10.1186/2046-0481-64-5>

- Bissonnette, N. (2018). Short communication: Genetic association of variations in the osteopontin gene (SPP1) with lactation persistency in dairy cattle. *Journal of dairy science* 101(1), 456–461. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13129>
- Bittante, G., & Cipolat-Gotet, C. (2018). Direct and indirect predictions of enteric methane daily production, yield, and intensity per unit of milk and cheese, from fatty acids and milk Fourier-transform infrared spectra. *Journal of dairy science* 101(8), 7219–7235. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-14289>
- Boichard, D., & Brochard, M. (2012). New phenotypes for new breeding goals in dairy cattle. *Animal : an international journal of animal bioscience* 6(4), 544–550. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731112000018>
- Boogaard, B. K., Oosting, S. J., Bock, B. B., & Wiskerke, J. S. (2011). The sociocultural sustainability of livestock farming: an inquiry into social perceptions of dairy farming. *Animal : an international journal of animal bioscience* vol. 5,9, 1458–1466. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731111000371>
- Bouquet, A., & Juga, J. (2013). Integrating genomic selection into dairy cattle breeding programmes: a review. *Animal : an international journal of animal bioscience* 7(5), 705–713. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731112002248>
- Brito, L. F., Bedere, N., Douhard, F., Oliveira, H. R., Arnal, M., Peñagaricano, F., . . . Miglior, F. (2021). Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. *Animal : an international journal of animal bioscience*, 15 Suppl 1, 100292., 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>
- Britt, J. H., Cushman, R. A., Dechow, C. D., Dobson, H., Humblot, P., Hutjens, M. F., . . . Stevenson, J. S. (2018). Invited review: Learning from the future-A vision for dairy farms and cows in 2067. *Journal of dairy science* vol. 101,5, 3722-3741. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-14025>
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BLE). (16. Mai 2023). *Was ist nachhaltige Landwirtschaft?* Abgerufen am 27. August 2023 von <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/was-ist-nachhaltige-landwirtschaft>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (Mai 2022). Daten und Fakten. *Broschüre zur Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau*. Von https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/datenfakten-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=8 abgerufen
- Bundesverband Rind und Schwein. (2023). *Der neue RZG: Die ganze Kuh im Blick - über Generationen*. Abgerufen am 8. August 2023 von <https://richtigzuechten.de/>
- Capper, J. L., & Cady, R. A. (2020). The effects of improved performance in the U.S. dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *Journal of animal science* 98(1), skz291., 1-14. doi:<https://doi.org/10.1093/jas/skz291>
- Carnohan, S. A., Trier, X., Liu, S., Clausen, L. P., Clifford-Holmes, J. K., Hansen, S. F., . . . McKnight, U. S. (2022). Next generation application of DPSIR for sustainable policy

- implementation. *Current Research in Environmental Sustainability* vol.5, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100201>
- Chesnais, J. P., Cooper, T. A., Wiggans, G. R., Sargolzaei, M., Pryce, J. E., & Miglior, F. (2016). Using genomics to enhance selection of novel traits in North American dairy cattle. *Journal of dairy science* 99(3), 2413–2427. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9970>
- Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio* vol. 49(1), 35-48. doi:<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>
- Cole, J. B., & Null, D. J. (2009). Genetic evaluation of lactation persistency for five breeds of dairy cattle. *Journal of dairy science* 92(5), 2248–2258. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1825>
- Cole, J. B., & VanRaden, P. M. (2018). Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices. *Journal of dairy science* 101(4), 3686–3701. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13335>
- Connor, E. E. (2015). Invited review: improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. *Animal : an international journal of animal bioscience* 9(3), 395–408. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731114002997>
- CRV. (April 2021). De fokwaarde persistentie. Animal Evaluation Unit. Von <https://www.cooperatie-crv.nl/wp-content/uploads/2021/04/159-21-Blog-AEU-persistentie.pdf> abgerufen
- de Haas, Y., Pszczola, M., Soyeurt, H., Wall, E., & Lassen, J. (2017). Invited review: Phenotypes to genetically reduce greenhouse gas emissions in dairying. *Journal of dairy science* 100(2), 855–870. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11246>
- de Haas, Y., Windig, J. J., Calus, M. P., Dijkstra, J., Haan, M. d., Bannink, A., & Veerkamp, R. F. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of dairy science* 94(12), 6122–6134. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4439>
- de Vries, A. (2017). Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *Journal of dairy science* 100(5), 4184–4192. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11847>
- de Vries, A. (2020). Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan? *Journal of dairy science* 103(4), 3838–3845. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17361>
- Doublet, A. C., Croiseau, P., Fritz, S., Michenet, A., Hozé, C., Danchin-Burge, C., . . . Restoux, G. (2019). The impact of genomic selection on genetic diversity and genetic gain in three French dairy cattle breeds. *Genetics, selection, evolution : GSE* 51(1), 52, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1186/s12711-019-0495-1>
- Erasmus, L. M., & van Marle-Köster, E. (2021). Moving towards sustainable breeding objectives and cow welfare in dairy production: a South African perspective. 1-8. doi:<https://doi.org/10.1007/s11250-021-02914-w>

- FAO. (2011). World Livestock 2011 – Livestock in food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Von <https://www.fao.org/3/i2373e/i2373e.pdf> abgerufen
- Fiksel, J., Eason, T., & Frederickson, H. (Oktober 2012). A Framework for Sustainability - Indicators at EPA. (N. R.-O. Development, Hrsg.) Von <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-10/documents/framework-for-sustainability-indicators-at-epa.pdf> abgerufen
- Gauly, M., & Ammer, S. (2020). Review: Challenges for dairy cow production systems arising from climate changes. *Animal : an international journal of animal bioscience* 14(S1), s196–s203. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731119003239>
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Dänicke, S., Daş, G., . . . Samson-Himmelstjerna, v. (2013). Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. *Animal : an international journal of animal bioscience* 7(5), 843–859. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731112002352>
- Geniaux, G., Bellon, S., Deverre, C., & Powell, B. (November 2009). Sustainable Development Indicator Frameworks and Initiatives. (S. -S. Modeling, & L. E. Society, Hrsg.) Von <https://edepot.wur.nl/16044> abgerufen
- González-Recio, O., López-Paredes, J., Ouatahar, L., Charfeddine, N., Ugarte, E., Alenda, R., & Jiménez-Montero, J. A. (2020). Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 2. Incorporating methane emissions into the breeding goal. *Journal of dairy science* 103(8), 7210–7221. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17598>
- Gottschick, M., Feindt, P. H., Bramer-Lohss, M., & Nabel, J. (5. Oktober 2003). Agrar-Nachhaltigkeitsindikatoren und Partizipation. Entscheidungsunterstützung für Betriebe und Regionen. (B.-R. Paper, Hrsg.) Von https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/15326/pdf/biogum_fb_2003_05.pdf abgerufen
- Grandl, F., Amelchanka, S. L., Furger, M., Clauss, M., Zeitz, J. O., Kreuzer, M., & Schwarm, A. (2016). Biological implications of longevity in dairy cows: 2. Changes in methane emissions and efficiency with age. *Journal of dairy science* 99(5), 3472–3485. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10262>
- Grossman, M., Hartz, S. M., & Koops, W. J. (1999). Persistency of lactation yield: a novel approach. *Journal of dairy science* 82(10), 2192–2197. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75464-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75464-0)
- Günther, C. (2012). SET - ein neuer Ansatz zur Nachhaltigkeitsbewertung. VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Von <https://www.yumpu.com/de/document/read/6856009/nachhaltigkeitsindikatoren-fur-die-landwirtschaft-vdlufa> abgerufen
- Gutierrez-Reinoso, M. A., Aponte, P. M., & Garcia-Herreros, M. (2021). Genomic analysis, progress and future perspectives in dairy cattle selection: A review. *Animals* 11(3), 599, 1-21. doi:<https://doi.org/10.3390/ani11030599>

- Hansen, L. B. (2000). Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *Journal of dairy science* 83(5), 1145–1150. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74980-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74980-0)
- Harder, B., Bennewitz, J., Hinrichs, D., & Kalm, E. (2006). Genetic parameters for health traits and their relationship to different persistency traits in German Holstein dairy cattle. *Journal of dairy science* 89(8), 3202–3212. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72595-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72595-4)
- Hayes, B. J., Bowman, P. J., Chamberlain, A. J., & Goddard, M. E. (2009). Invited review: Genomic selection in dairy cattle: progress and challenges. *Journal of dairy science* 92(2), 433–443. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1646>
- Henry, B. K., Eckard, R. J., & Beauchemin, K. A. (2018). Review: Adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal : an international journal of animal bioscience* 12(s2), s445–s456. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731118001301>
- Hill, D. L., & Wall, E. (2017). Weather influences feed intake and feed efficiency in a temperate climate. *Journal of dairy science* 100(3), 2240–2257. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11047>
- Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., . . . Firkins, J. L. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of animal science* 91(11), 5095–5113. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- Hu, H., Mu, T., Ma, Y., Wang, X., & Ma, Y. (2021). Analysis of Longevity Traits in Holstein Cattle: A Review. *Frontiers in genetics* 12, 695543, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3389/fgene.2021.695543>
- Jamrozik, J., Schaeffer, L. R., & Dekkers, J. C. (1997). Genetic evaluation of dairy cattle using test day yields and random regression model. *Journal of dairy science* 80(6), 1217–1226. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76050-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76050-8)
- Klößner, J. (September 2019). Mit Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung. (B. f. (BMEL), Hrsg.) Von https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/NachhaltigeEntwicklungStrategien.pdf?__blob=publicationFile&v=12 abgerufen
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science* 97(6), 3231–3261. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Kok, A., Lehmann, J. O., Kemp, B., Hogeveen, H., van Middelaar, C. E., de Boer, I. J., & van Knegsel, A. T. (2019). Production, partial cash flows and greenhouse gas emissions of simulated dairy herds with extended lactations. *Animal : an international journal of animal bioscience* 13(5), 1074–1083. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731118002562>

- Legarra, A., Aguilar, I., & Misztal, I. (2009). A relationship matrix including full pedigree and genomic information. *Journal of dairy science* 92(9), 4656–4663. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2061>
- Lillehammer, M., Meuwissen, T. H., & Sonesson, A. K. (2011). *A comparison of dairy cattle breeding designs that use genomic selection*. *Journal of dairy science* 94(1). doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3518>
- Løvendahl, P., Difford, G. F., Li, B., Chagunda, M. G., Huhtanen, P., Lidauer, M. H., . . . Lund, P. (2018). Review: Selecting for improved feed efficiency and reduced methane emissions in dairy cattle. *Animal : an international journal of animal bioscience* 12(s2), s336–s349. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731118002276>
- Lu, Y., Vandehaar, M. J., Spurlock, D. M., Weigel, K. A., Armentano, L. E., Staples, C. R., . . . Tempelman, R. J. (2015). An alternative approach to modeling genetic merit of feed efficiency in dairy cattle. *Journal of dairy science* 98(9), 6535–6551. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9414>
- Lütke Entrup, N. (Juni 1999). *Agenda 21 - Nachhaltige Entwicklung und intensive Landwirtschaft sind kein Widerspruch*. Abgerufen am 27. August 2023 von <https://www.karstwanderweg.de/sympo/3/entrup/index.htm>
- Martin, N. P., Russelle, M. P., Powell, J. M., Sniffen, C. J., Smith, S. I., Tricarico, J. M., & Grant, R. J. (2017). Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. *Journal of dairy science* 100(12), 9479–9494. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13080>
- McNeel, A. K., Reiter, B. C., Weigel, D., Osterstock, J., & Di Croce, F. A. (2017). Validation of genomic predictions for wellness traits in US Holstein cows. *Journal of dairy science* 100(11), 9115–9124. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12323>
- Moore, S. G., & Hasler, J. F. (2017). A 100-Year Review: Reproductive technologies in dairy science. *Journal of dairy science*, 100(12), 10314–10331. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13138>
- Negussie, E., de Haas, Y., Dehareng, F., Dewhurst, R. J., Dijkstra, J., Gengler, N., . . . Biscarini, F. (2017). Invited review: Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. *Journal of dairy science* 100(4), 2433–2453. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12030>
- Nguyen, T. T., Bowman, P. J., Haile-Mariam, M., Pryce, J. E., & Hayes, B. J. (2016). Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *Journal of dairy science* 99(4), 2849–2862. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9685>
- Nielsen, H. M., Christensen, L. G., & Odegård, J. (2006). A method to define breeding goals for sustainable dairy cattle production. *Journal of dairy science* vol. 89(9), 3615–3625. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72401-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72401-8)
- Nielsen, H. M., Olesen, I., Navrud, S., Kolstad, K., & Amer, P. (2011). How to consider the value of farm animals in breeding goals. A review of current status and future

- challenges. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 24, 309-330. doi:<https://doi.org/10.1007/s10806-010-9264-4>
- Niozas, G., Tsousis, G., Malesios, C., Steinhöfel, I., Boscós, C., Bollwein, H., & Kaske, M. (2019). Extended lactation in high-yielding dairy cows. II. Effects on milk production, udder health, and body measurements. *Journal of dairy science* 102(1), 811–823. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15117>
- Oliver, J. P., Gooch, C. A., Lansing, S., Schueler, J., Hurst, J. J., Sassoubre, L., . . . Aga, D. S. (2020). Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *Journal of dairy science* 103(2), 1051–1071. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16778>
- Olson, K. M., Cassell, B. G., & Hanigan, M. D. (2010). Energy balance in first-lactation Holstein, Jersey, and reciprocal F1 crossbred cows in a planned crossbreeding experiment. *Journal of dairy science* 93(9), 4374–4385. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3195>
- Oltenacu, P. A., & Algers, B. (2005). Selection for increased production and the welfare of dairy cows: are new breeding goals needed? *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34(4-5), 311–315. doi:DOI:10.1579/0044-7447-34.4.311
- Otto, P. I., Guimarães, S. E., Verardo, L. L., Azevedo, A. L., Vandenplas, J., Sevillano, C. A., . . . da Silva, M. V. (2019). Genome-wide association studies for heat stress response in *Bos taurus* × *Bos indicus* crossbred cattle. *Journal of dairy science* 102(9), 8148–8158. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15305>
- Parker Gaddis, K. L., Cole, J. B., Clay, J. S., & Maltecca, C. (2014). Genomic selection for producer-recorded health event data in US dairy cattle. *Journal of dairy science* 97(5), 3190–3199. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7543>
- Patry, C., & Ducrocq, V. (2011). Accounting for genomic pre-selection in national BLUP evaluations in dairy cattle. *Genetics Selection Evolution* 43(30), 1-9. doi:<https://doi.org/10.1186/1297-9686-43-30>
- Pollott, G. E. (2011). Short communication: do Holstein lactations of varied lengths have different characteristics? *Journal of dairy science* 94(12), 6173–6180. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4467>
- Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science* 100(11), 8645–8657. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Prendiville, R., Pierce, K. M., & Buckley, F. (2009). An evaluation of production efficiencies among lactating Holstein-Friesian, Jersey, and Jersey x Holstein-Friesian cows at pasture. *Journal of dairy science* 92(12), 6176–6185. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2292>
- Pryce, J. E., Gonzalez-Recio, O., Nieuwhof, G., Wales, W. J., Coffey, M. P., Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (2015). Hot topic: Definition and implementation of a breeding value for feed efficiency in dairy cows. *Journal of dairy science* 98(10), 7340–7350. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9621>

- Pryce, J. E., Haile-Mariam, M., Verbyla, K., Bowman, P. J., Goddard, M. E., & Hayes, B. J. (2010). Genetic markers for lactation persistency in primiparous Australian dairy cows. *Journal of dairy science* 93(5), 2202–2214. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2666>
- Rauw, W. M., & Gomez-Raya, L. (2015). Genotype by environment interaction and breeding for robustness in livestock. *Frontiers in genetics* 6, 310, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00310>
- Ravagnolo, O., & Misztal, I. (2020). Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *Journal of dairy science* 83(9), 2126–2130. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75095-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75095-8)
- Richardson, C. M., Nguyen, T. T., Abdelsayed, M., Moate, P. J., Williams, S. R., Chud, T. C., . . . Pryce, J. E. (2021). Genetic parameters for methane emission traits in Australian dairy cows. *Journal of dairy science* 104(1), 539–549. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2020-18565>
- Russel, D. (October 1994). Theory and practice in sustainability and sustainable development. *PN-ABT-155*. (R. a. Project, Hrsg.) Von https://www.researchgate.net/publication/242599336_THEORY_AND_PRACTICE_IN_SUSTAINABILITY_AND_SUSTAINABLE_DEVELOPMENT abgerufen
- Sallam, M., Benhajali, H., Savoia, S., de Koning, D. J., & Strandberg, E. (2022). Across-countries genomic prediction using national breeding values or multitrait across-countries evaluation breeding values. *Journal of dairy science* 105(4), 3282–3295. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2021-20877>
- Schläpfer, F. (November 2018). Indikatoren für den Stand der Zielerreichung in der Agrarpolitik: Grundlagen und Vorschläge. (K. F. Schweiz, Hrsg.) Von https://www.visionlandwirtschaft.ch/_visionlandwirtschaft_prod/uploads/IndikatorenZieleAP_Bericht.pdf abgerufen
- Schmidt-Traub, G., Karoubi, E., & J., E. (12. Juni 2015). Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals. (S. D.-A. nations, Hrsg.) Sustainable Development Solutions Network - A global initiative for the united nations. Von <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/2013150612-FINAL-SDSN-Indicator-Report1.pdf> abgerufen
- Schneider, H., Segelke, D., Tetens, J., Thaller, G., & Bennewitz, J. (2023). A genomic assessment of the correlation between milk production traits and claw and udder health traits in Holstein dairy cattle. *Journal of dairy science* 106(2), 1190–1205. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22312>
- Schuster, J. C., Barkema, H. W., de Vries, A., Kelton, D. F., & Orsel, K. (2020). Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. *Journal of dairy science* 103(12), 11008–11024. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>
- Siberski-Cooper, C. J., & Koltes, J. E. (2021). Opportunities to Harness High-Throughput and Novel Sensing Phenotypes to Improve Feed Efficiency in Dairy Cattle. *Animals : an open access journal from MDPI* 12(1), 15, 1-17. doi:<https://doi.org/10.3390/ani12010015>

- Sørensen, M. K., Norberg, E., Pedersen, J., & Christensen, L. G. (2008). Invited review: crossbreeding in dairy cattle: a Danish perspective. *Journal of dairy science* 91(11), 4116–4128. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1273>
- Strandén, I., Kantanen, J., Russo, I. M., Orozco-terWengel, P., Bruford, M. W., & Consortium, C. (2019). Genomic selection strategies for breeding adaptation and production in dairy cattle under climate change. *Heredity* 123(3), 307–317. doi:<https://doi.org/10.1038/s41437-019-0207-1>
- Torshizi, E., Mahdi, & Mashhadi, M. (Juni 2018). A study on milk yield persistency using the best prediction and random regression methodologies in Iranian Holstein dairy cows. Literature-Film Quarterly. Von https://www.researchgate.net/publication/326394176_A_study_on_milk_yield_persistency_using_the_best_prediction_and_random_regression_methodologies_in_Iranian_Holstein_dairy_cows abgerufen
- Ule, A., Erjavec, K., & Klopčič, M. (2023). Influence of dairy farmers' knowledge on their attitudes towards breeding tools and genomic selection. *Animal : an international journal of animal bioscience* 17(6), 100852, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100852>
- van Middelaar, C. E., Berentsen, P. B., Dijkstra, J., van Arendonk, J. A., & de Boer, I. J. (2014). Methods to determine the relative value of genetic traits in dairy cows to reduce greenhouse gas emissions along the chain. *Journal of dairy science* 97(8), 5191–5205. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7413>
- VandeHaar, M. J., Armentano, L. E., Weigel, K., Spurlock, D. M., Tempelman, R. J., & Veerkamp, R. (2016). Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. *Journal of dairy science* 99(6), 4941–4954. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10352>
- Veerkamp, R. F., Kaal, L., De Haas, Y., & Oldham, J. D. (Juli 2013). Breeding for robust cows that produce healthier milk: RobustMilk. doi:[doi:10.1017/S2040470013000149](https://doi.org/10.1017/S2040470013000149)
- Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit). (August 2023). Beschreibung der Zuchtwertschätzung für alle Schätzmerkmale bei den Milchrinderrassen für die vit mit der Zuchtwertschätzung beauftragt ist. Von https://www.vit.de/fileadmin/DE/Zuchtwertschaetzung/Zws_Bes_deu.pdf abgerufen
- Vitezica, Z. G., Aguilar, I., Misztal, I., & Legarra, A. (2011). Bias in genomic predictions for populations under selection. *Genetics Research* 93(5), 357-366. doi:<https://doi.org/10.1017/S001667231100022X>
- von Keyserlingk, M. A., Martin, N. P., Kebreab, E., Knowlton, K. F., Grant, R. J., Stephenson, M., . . . Smith, S. I. (2013). Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *Journal of dairy science* 96(9), 5405–5425. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6354>
- Wageningen University & Research. (2023). *Working towards sustainable dairy production*. Abgerufen am 27. August 2023 von <https://www.wur.nl/en/show/working-towards-sustainable-dairy-production.htm>

- Wall, E., Coffey, M., & Pollott, G. E. (2012). The effect of lactation length on greenhouse gas emissions from the national dairy herd. *Animal : an international journal of animal bioscience* 6(11), 1857–1867. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731112000936>
- Wall, E., Simm, G., & Moran, D. (2010). Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal : an international journal of animal bioscience* 4(3), 366–376. doi:<https://doi.org/10.1017/S175173110999070X>
- Weller, J. I., Ezra, E., & Ron, M. (2017). Invited review: A perspective on the future of genomic selection in dairy cattle. *Journal of dairy science* 100(11), 8633–8644. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12879>
- Wensch-Dorendorf, M., Wensch, J., & Swalve, H. (2006). A General Method to Audit BLUP Programs. *Institute of Animal Breeding and Husbandry*, 155-158. Von https://www.researchgate.net/publication/253914450_A_General_Method_to_Audit_BLUP_Programs abgerufen
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science* 86(6), 2131–2144. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Willen, S. (November 2004). Tierbezogene Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung - methodische Untersuchungen und Beziehungen zum Haltungssystem. (T. H. Hannover, Hrsg.) Von https://elib.tiho-hannover.de/servlets/MCRFileNodeServlet/etd_derivate_00002338/willens_ws04.pdf abgerufen
- Williams, Y. J., Pryce, J. E., Grainger, C., Wales, W. J., Linden, N., Porker, M., & Hayes, B. J. (2011). Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. *Journal of dairy science* 94(9), 4715–4725. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2010-4015>
- World Health Organization. (2023). *The global health observatory*. Abgerufen am 27. August 2023 von <https://www.who.int/data/gho/data/themes/sustainable-development-goals>
- Xue, B., Yan, T., Ferris, C. F., & Mayne, C. S. (2011). Milk production and energy efficiency of Holstein and Jersey-Holstein crossbred dairy cows offered diets containing grass silage. *Journal of dairy science* 94(3), 1455–1464. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3663>
- Zhang, X., Amer, P. R., Jenkins, G. M., Sise, J. A., Santos, B., & Quinton, C. (2019). Prediction of effects of dairy selection indexes on methane emissions. *Journal of dairy science* 102(12), 11153–11168. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16943>
- Zwald, N. R., Weigel, K. A., Chang, Y. M., Welper, R. D., & Clay, J. S. (2004). Genetic selection for health traits using producer-recorded data. I. Incidence rates, heritability estimates, and sire breeding values. *Journal of dairy science* 87(12), 4287–4294. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73573-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73573-0)
- Zwald, N. R., Weigel, K. A., Chang, Y. M., Welper, R. D., & Clay, J. S. (2004). Genetic selection for health traits using producer-recorded data. II. Genetic correlations, disease probabilities, and relationships with existing traits. *Journal of dairy science* 87(12), 4295–4302. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73574-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73574-2)

A Anhang

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich aus Wertschätzung für all die Unterstützungen und Ermutigungen, die ich während der Fertigstellung meiner Bachelorarbeit erhalten habe, bedanken.

Zunächst möchte ich hierfür an erster Stelle meinem Betreuer, Herrn Looft, danken für die fachkundige Hilfe und konstruktiven Rückmeldungen, um so meine Literaturrecherche voranzubringen.

Die Realisierung dieser Bachelorarbeit wäre ohne die großzügige Unterstützung von Literatur, Datenquellen und Fachexperten nicht möglich gewesen. Aus diesem Grund möchte ich mich bedanken bei all diejenigen, die ihre wertvollen Erkenntnisse und Erfahrungen mit mir geteilt haben. Worunter auch die Unternehmen K.I. Samen b.v. in Grashoek (NL) und Genex Cooperative in Shawano (USA), wo ich in der Zeit meiner Bachelorarbeit durch ein insgesamt 12-wöchigen Praktikum, viele praktische Erkenntnisse und Input zum Thema Nachhaltigkeit in der Milchproduktion erlangen durfte.

Ebenso gilt ein großer Dank, meiner Familie, welche an mich geglaubt und mich bedingungslos unterstützt haben und mir die Kraft gegeben haben, weiterhin mein Bestes für diese Arbeit zu geben.

Letztendlich möchte ich auch allen danken, die im Hintergrund geholfen haben, sei es durch die kleinen Ermutigungen oder durch das Korrekturlesen der Arbeit.

Mit freundlichem Dank,

Bente Meijer

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Bente Meijer, Menkin, 10. September 2023

Name, Ort, Datum, Unterschrift