UNIVERSITÄT HOHENHEIM

GreenGrass

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

SCHLUSSBERICHT

Verbundprojekt GreenGrass

“Innovative Nutzung des Grünlands für eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft im Landschaftsmaßstab“

Teilprojekt E

01.03.2019 – 31.12.2024

Universität Hohenheim

Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre

Prof. Dr. Enno Bahrs

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 031B0734E gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Sachbericht Verbundprojekt GreenGrass, Teilprojekt E
Teil I – Kurzbericht

Zuwendungsempfänger	Universität Hohenheim (UHOH), Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre 410B, Schwerzstr. 44, 70599 Stuttgart [1]
Förderkennzeichen	031B0734E
Förderprogramm	Agrarsysteme der Zukunft
Vorhabenbezeichnung	Innovative Nutzung des Grünlands für eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft im Landschaftsmaßstab (GreenGrass)
Laufzeit / Berichtszeitraum	01.03.2019 – 31.12.2024
Kooperationspartner	Georg-August-Universität Göttingen, horizont group gmbh, Texas Trading GmbH, Universität Kassel, Universität zu Köln, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Humboldt-Universität zu Berlin, Justus-Liebig-Universität Gießen, Grünlandzentrum Niedersachen/Bremen e.V.
Koordination	Georg-August Universität Göttingen (FKZ 031B0734A), Prof. Dr. Johannes Isselstein

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „GreenGrass" (2019–2024) wurde im Teilprojekt E untersucht, ob der Einsatz virtueller Zaunsysteme (VF-Systeme) für Milchviehbetriebe in Deutschland einen wirtschaftlichen Anreiz darstellt, ihre Weidehaltung auszubauen oder von der Stallhaltung zur Weidewirtschaft zu wechseln. Grundlage der Untersuchung war eine Kosten-Nutzen-Analyse, kombiniert mit einer Szenarioanalyse, in die sowohl verschiedene theoretische Weideproduktionssysteme als auch reale Fallstudienbetriebe in Living Labs der Projektregion einbezogen wurden. Das Ziel bestand darin, die ökonomische Tragfähigkeit dieser digitalen Innovation unter unterschiedlichen betrieblichen und strukturellen Bedingungen systematisch zu bewerten.

Bei der Ausarbeitung der Weidesystemmodelle und Vorbereitung der Szenarioanalyse wurde einen großen Wert auf die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen sowohl innerhalb des GreenGrass-Verbundes, als auch Konsortien übergreifend gelegt. Für die modellhafte Darstellung der Weidesysteme fand ein engerer Austausch mit der Humboldt Universität Berlin und dem Grünlandzentrum Niedersachen statt, die die Beiräte und den Co-Creation Prozess in den Living Labs betreut haben. Um die Technologie besser zu verstehen und ihr heutiges und zukünftiges Potenzial in der ökonomischen Analyse voll integrieren zu können, wurde auch eine engere Zusammenarbeit mit den Praxispartnern Horizont Group GmbH und Texas Trading umgesetzt. Dabei wurden alle Partner ebenso über alle betriebswirtschaftlichen Ergebnisse informiert, damit sie unsere Erkenntnisse in die Entwicklung der Technologie integrieren konnten. Um die Daten aus der Anwendung des VF-Systems möglichst praxisnah in der Kosten-Nutzen-Analyse integrieren zu können, wurde während der ganzen Projektlaufzeit eine Zusammenarbeit und Datenaustausch mit der Universität Göttingen durchgeführt, die das VF-System getestet haben. Ein großes Potenzial des VF-Systems liegt in ihrer vergleichsweisen einfachen Präzision bei der Aus- bzw. Einzäunung der Flächen, was auch für den Naturschutz eine besondere Rolle spielen kann. Daher fand hier ein engerer Austausch mit der BTU Cottbus-Senftenberg statt. Die Zusammenarbeit konzentrierte sich auf einer Ausgestaltung adaptiver Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), welche die Möglichkeiten des virtuellen Zäunens und der im SMI verfügbaren Daten ausschöpfen. Zudem wurde konsortienübergreifend die Arbeitsgruppe „Ecosystem Services Evaluation" geleitet, in der DAKIS und NOcPS mit dabei waren.

Gemäß der aktuellen Rechtsgrundlage wurde im Projekt davon ausgegangen, dass VF-Systeme in Deutschland derzeit nur in Kombination mit äußeren physischen Zäunen zulässig sind. Daher erfolgte die ökonomische Bewertung unter der Annahme, dass ausschließlich der innere Elektrozaun durch ein VF-System ersetzt wird. Auf Basis unterschiedlicher Kombinationen von Produktionsintensität, Flächengröße und Betriebsstruktur wurden für die ökonomischen Analysen unterschiedliche Weidesystemmodelle festgelegt: die Hochintensiv-Variante (CONF), bei der die Kühe vollständig im Stall gehalten werden und kein Weidegang möglich ist, jedoch

[1] *Dieser Bericht umfasst die Darstellung zu Aktivitäten, die seitens der Universität Hohenheim durchgeführt wurden. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse ist im Teil II des Schlussberichts zu finden. Die eingehende Darstellung der Projektpartner erfolgt in separaten Berichten.*

Futter vom Grünland verwendet wird, die extensive Variante (EXT), bei der die Tiere auf Weiden gehalten werden und ein hoher Anteil des Futters extensiv bewirtschaftetes Grünland ist, sowie die intensiv-kleinräumige (INTs) und extensiv-kleinräumige (EXTs) Variante, bei der die Weidehaltung ebenfalls im Vordergrund steht, jedoch auf kleineren Koppeln. Diese Weidesystemmodelle spiegeln die Besonderheiten der Projektregion wider und basieren auf erhobenen Daten aus den drei Living Labs Wesermarsch, Südniedersachsen und Brandenburg/Havelniederung. Ergänzend wurden zwei Realbetriebe analysiert, die sich sowohl in der Bewirtschaftungsform (ökologisch und konventionell) als auch in der Betriebsgröße deutlich unterschieden. Diese Kombination ermöglichte eine breit angelegte Untersuchung relevanter Rahmenbedingungen für den Einsatz von VF-Technologie.

Die ökonomische Bewertung der VF-Systeme erfolgte für verschiedene betriebliche und technologische Anpassungsszenarien. In einem Basisszenario wurde der einfache Ersatz des physischen Innenzauns durch ein VF-System ohne Veränderungen im Weidemanagement untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Variante in bestehenden Weidesystemen unter den derzeitigen Kostenbedingungen nicht wirtschaftlich ist. So wies das extensive Weidesystemmodell mit 50 Kühen beispielsweise einen hohen Verlust von mehr als −5 Eurocent (ct)/kg Energiekorrigierte Milch (ECM) bei den jährlichen Differenzkosten in der Grünlandbewirtschaftung (AD) nach der Umstellung auf das VF-System auf. Dieser Verlust verringert sich bei einer Erhöhung der Betriebsgröße: Bei 400 Kühen beträgt er nur noch etwas mehr als −2 ct/kg ECM. Die reine Substitution ist somit weder für kleine noch für große Betriebe unmittelbar rentabel, wenngleich Skaleneffekte die Kostenbelastung in größeren Einheiten abmildern können. Deutlich positiver fielen die Ergebnisse in Szenarien aus, in denen das Weidemanagement gezielt an die Möglichkeiten des VF-Systems angepasst wurde. Insbesondere die Verlängerung der täglichen Weidezeit im sogenannten „Full pasture“-Szenario erwies sich dabei als vielversprechend. In kleinräumigen, intensiven Weidesystemen mit 50 Kühen konnte durch diese Maßnahme eine deutlich niedrige negative AD von ca. -2 ct/kg ECM erzielt werden, in extensiven, kleinstrukturierten Systemen sind es ca. -2 ct/kg ECM. Ein weiteres wirtschaftlich relevantes Szenario betraf die gezielte Steigerung der Weideeffizienz („Pasture efficiency”). Durch eine Reduktion der Weideverluste z.B. um 10 %, durch eine bessere Anpassung des Futterangebots an den Futterbedarf der Tiere, ergab sich im extensiven Weidesystem ein zusätzlicher Nutzen von ca. 1 ct/kg ECM.

Ergänzend wurde der Einfluss von Maßnahmen zur Integration von Naturschutz in die Weidenutzung analysiert. Das VF-System ermöglicht eine präzisere Steuerung der Tierbewegung, sodass schutzwürdige Flächen gezielt ausgespart oder extensiver beweidet werden konnten. Im Szenario „Nature conservation“ wurde eine moderate, aber stabile Verbesserung der AD erzielt, die auf die zusätzlichen Zahlungen für Naturschutzmaßnahmen zurückzuführen ist. Allerdings waren diese Effekte geringer im Vergleich zu Managementmaßnahmen, wie längere Weidezeiten oder optimierter Flächennutzung durch eine bessere Verwertung des vorhandenes Grundfutter.

Eine weitere zentrale Erkenntnis betrifft die Auswirkungen technologischer Entwicklungen auf die Wirtschaftlichkeit der VF-Systeme. Reduzierte Anschaffungs- und Datenübertragungskosten, wie sie in den Szenarien „Technology development“ bzw. „Data transmission“ simuliert wurden, verbesserten zwar die ökonomische Bilanz, hatten jedoch einen geringeren Einfluss als betriebliche Managementanpassungen.

Die Lernkurvenanalyse zeigt, dass die zu Beginn anfallenden hohen Investitionen und der hohe Zeitaufwand durch zunehmende Erfahrung, Effizienzsteigerung und Routineeinsatz deutlich reduziert werden können. In kleinstrukturierten Weidesystemen fällt der Lerneffekt besonders stark aus. In solchen Betrieben ist der arbeitswirtschaftliche Aufwand pro Tier oder Fläche in der Regel höher, da viele Tätigkeiten personengebunden und wenig automatisiert ablaufen. Die Implementierung des VF-Systems ermöglicht in diesem Kontext eine signifikante Steigerung der Effizienz. In großflächigen Systemen ist der Effekt geringer, da dort technische Skalenvorteile eine größere Rolle spielen. Diese Ergebnisse bestätigen Muster, die auch bei anderen Agrartechnologien dokumentiert wurden, wie z. B. beim Einsatz von Melkrobotern.

Durch die Verbindung von Szenarioanalyse und Betriebsdatenerhebung konnte gezeigt werden, dass sich VF-Systeme unter den heutigen technologisch-rechtlichen Bedingungen nur in Einzelfällen wirtschaftlich sinnvolle Einsätze bieten, aber viel Potenzial für die Zukunft bieten. Der größte Nutzen ergibt sich, wenn die Einführung dieser Technologie nicht isoliert erfolgt, sondern mit einem gezielten Wandel im Weidemanagement einhergeht. Dazu zählen vor allem Maßnahmen zur Ausdehnung der Weidezeit, Reduktion von Futterverlusten und Integration von Naturschutzzielen in die Flächenbewirtschaftung.

Sachbericht Verbundprojekt GreenGrass, Teilprojekt E
Teil II – Eingehende Darstellung

Zuwendungsempfänger	Universität Hohenheim (UHOH), Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre 410B, Schwerzstr. 44, 70599 Stuttgart [1]
Förderkennzeichen	031B0734E
Förderprogramm	Agrarsysteme der Zukunft
Vorhabenbezeichnung	Innovative Nutzung des Grünlands für eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft im Landschaftsmaßstab (GreenGrass)
Laufzeit / Berichtszeitraum	01.03.2019 – 31.12.2024
Kooperationspartner	Georg-August-Universität Göttingen, horizont group gmbh, Texas Trading GmbH, Universität Kassel, Universität zu Köln, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Humboldt-Universität zu Berlin, Justus-Liebig-Universität Gießen, Grünlandzentrum Niedersachen/Bremen e.V.
Koordination	Georg-August Universität Göttingen (FKZ 031B0734A), Prof. Dr. Johannes Isselstein

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

1.1 Hintergrund

In Europa hat sich die Weidehaltung in den letzten Jahren unterschiedlich entwickelt – beeinflusst durch Klima, Agrarpolitik, Betriebsstrukturen und Konsumverhalten. Während manche Länder an extensiver Weidehaltung festhalten, steigt andernorts die Tendenz zur Intensivierung und Stallhaltung. Die Entscheidung für Stall- oder Weidehaltung hängt meist von wirtschaftlichen Faktoren wie Arbeits- und Betriebskosten ab (Falk et al., 2012; French et al., 2015; von Keyserlingk et al., 2017). Weidehaltung ist vor allem dann effizient, wenn kostengünstiges Grasfutter gut in Milchleistung umgesetzt werden kann (Heard, 2004). Große Herden und kleinteilige Flächen erschweren jedoch die Futterzuteilung, insbesondere durch den hohen Aufwand für das Umzäunen (Hennessy et al., 2020; Horn und Isselstein, 2022). Eine Lösung bieten virtuelle Zaunsysteme (VF) (*siehe Kasten "VF-System"*), mit denen Kühe zuverlässig innerhalb digital definierter Weidegrenzen gehalten werden können (McSweeney et al., 2020). VF-Systeme reduzieren den Arbeitsaufwand im Management, verbessern die Futterzuweisung und steigern Nachhaltigkeit sowie Ressourceneffizienz. Studien zeigen außerdem, dass sie in puncto Tierschutz vergleichbare Standards wie konventionelle Elektrozäune erreichen (Verdon et al., 2021; Hamidi et al., 2022).

Zum Zeitpunkt des Beginns des Projekts „GreenGrass" im Jahr 2019 fehlte bislang eine systematische wirtschaftliche Analyse des Einsatzes von VF-Systemen. Ziel dieses Teilprojektes war es daher, eine solche Analyse zu liefern, um die wichtigsten Faktoren zu identifizieren und zu bewerten, die sich positiv oder negativ auf die Einführung von VF-Systemen in der Milchviehhaltung in gemäßigten Klimazonen, insbesondere in Deutschland, auswirken können.

[1] *Dieser Bericht umfasst die eingehende Darstellung zu Aktivitäten, die seitens der Universität Hohenheim durchgeführt wurden. Die eingehende Darstellung der Verbundprojektpartner erfolgt in separaten Berichten.*

„VF-System“

Ein VF-System ist ein Ortungssystem, das ein konditioniertes Vorwarnsignal mit einem elektrischen Impuls kombiniert, um Tiere am Überschreiten virtueller Grenzen zu hindern (vgl. Umstatter 2011; Anderson et al. 2014; Horn und Isselstein 2022). Obwohl dieser Impuls gemäß dem deutschen Tierschutzgesetz (TierSchG, 2023) problematisch sein kann, zeigen Studien keine negativen Auswirkungen auf das Tierwohl (vgl. Lee und Campbell, 2021; Verdon et al., 2021; Hamidi et al., 2022). Es liegen empirische Evidenzen vor, dass Systeme wie Nofence (Norwegen), Vence (USA), eShepherd (Australien) und Halter (Neuseeland) bereits global im Einsatz sind (vgl. Golinski et al., 2022), was auf ein signifikantes Marktinteresse hindeutet.

Obwohl VF-Systeme zahlreiche Vorteile bieten, sind sie in Deutschland derzeit noch nicht als eigenständige Weidemanagementlösung zugelassen. Ein wesentlicher Aspekt sind gesetzliche Vorgaben, welches die Installation physischer Barrieren zur Gewährleistung des Tierwohls vorschreibt. Dies dient sowohl dem Schutz der Tiere als auch der Vermeidung von Umweltschäden oder Gefahren für Dritte. Die technische Zuverlässigkeit stellt eine weitere Herausforderung dar, der es zu begegnen gilt. Trotz fortgeschrittener Entwicklung bestehen Unsicherheiten über die Systemstabilität unter verschiedenen Bedingungen (vgl. O'Donoghue, 2022; Lees et al., 2023). Elektrische Weidezäune (EPF) stellen eine effektive und unmittelbar wirksame Barriere dar, die insbesondere in der Nähe von Verkehrswegen oder in sensiblen Ökosystemen von signifikanter Bedeutung ist. Darüber hinaus bestehen ethische Bedenken hinsichtlich der Elektrostimulation und eine potenzielle negative öffentliche Wahrnehmung (vgl. Stampa et al., 2020; Herlin et al., 2021; Golinski et al., 2022). EPF kann als ergänzende Maßnahme dazu beitragen, den Tierschutz sichtbarer zu machen und die gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projektes die Entscheidung getroffen, die Prüfung von VF-Systemen ausschließlich in Kombination mit äußeren Elektrozäunen vorzunehmen. In der ökonomischen Evaluation wurde die Prämisse aufgestellt, dass VF ausschließlich den inneren Elektrozaun ersetzt.

1.2 Datengrundlage und Methodik

Die methodische Vorgehensweise basiert auf einer Kombination aus Kosten-Nutzen-Analyse und Szenarioberechnungen zur Bewertung innovativer Weideproduktionssysteme (Abbildung 1). Diese Kombination ermöglicht eine Ermittlung der treibenden und hemmenden Faktoren für die Einführung von VF-Systemen in verschiedenen deutschen Milchviehhaltungssystemen. Zudem erlaubt diese Vorgehensweise die Untersuchung einer Vielzahl von Alternativen innerhalb verschiedener modelhaft berechneter Weidesysteme in Szenarien, um die Ersetzung eines Elektrozauns durch ein VF-System zu evaluieren. Dabei wird die Diversität der Kosten und des Nutzens der Beweidung in diversen Regionen mit unterschiedlichen Beweidungssystemen, Landstrukturen und Betriebsstrukturen berücksichtigt. Darüber hinaus kann dieser Ansatz dazu herangezogen werden, um zu analysieren, welche Anpassungen des Weidemanagements erforderlich sind, um den Einsatz eines VF-Systems wirtschaftlich rentabel zu machen.

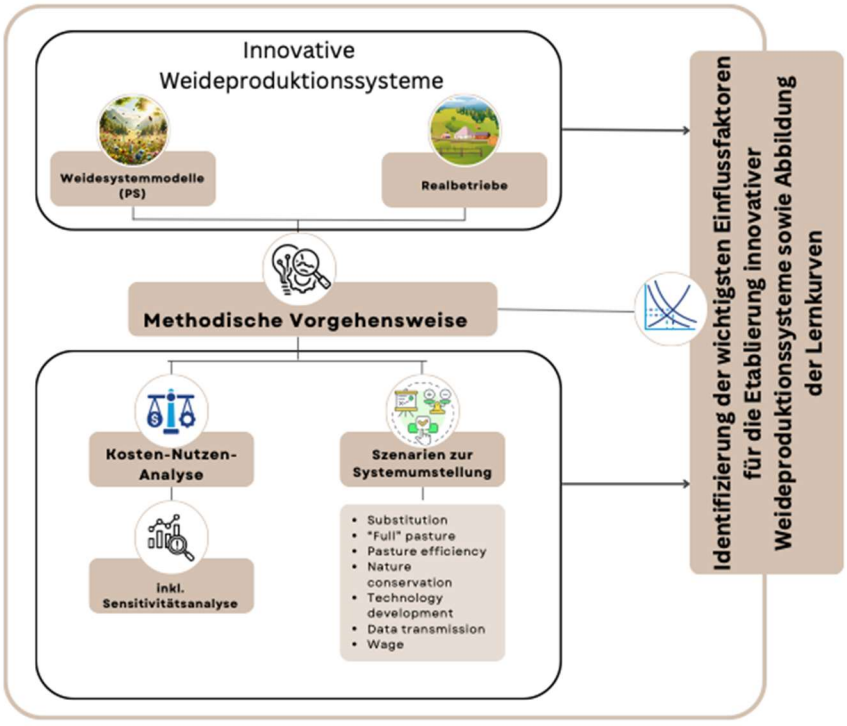

Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise

Es wurden vier **Weidesystemmodelle** (PS) entworfen, die verschiedene graslandbasierte Milchproduktionssysteme in den Projektregionen (bzw. Living Labs, *siehe Kasten „Projektregion bzw. Living Labs“*) repräsentieren. Diese Faktoren umfassen die Produktionsintensität (extensiv versus intensiv), die Produktionsbedingungen (z. B. Weide- und Fütterungsstrategien, Betriebsgröße, wirtschaftliche Indikatoren, Zahlungen usw.) und Strukturierung der Weiden). Die Repräsentation der verschiedenen Produktionssysteme erfolgt in drei Living Labs des GreenGrass-Projektes. Im Anschluss wurden verschiedene Szenarien für die Umstellung eines bestehenden Weidesystems mit einem elektrischen physischen Zaun (EPF) auf ein innovatives Weidesystem mit VF-System entwickelt.

„Projektregion bzw. Living Labs“

Das Projekt GreenGrass wurde in drei sogenannten Living Labs in den Regionen Havelniederung/Brandenburg, Wesermarsch und Südniedersachsen durchgeführt. Diese repräsentieren unterschiedliche Weidemanagementsysteme und Standorte und dienen als Referenzsysteme für die Erprobung der VF-Technologien.

Die durchschnittliche Betriebsgröße in Brandenburg beläuft sich auf etwa 240 Hektar (Destatis, 2024). Gemäß Statistisches Bundesamt (2021) wird die Rinderhaltung zu rund 90 % in reiner Stallhaltung mit ganzjähriger Silagefütterung praktiziert. Die Weidewirtschaft nimmt bisher eine untergeordnete Stellung ein, was unter anderem auf die durchschnittliche Herdengröße von 230 Milchkühen zurückzuführen ist (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2023). Die dortigen nährstoffreichen, feuchten Böden bieten jedoch günstige Voraussetzungen für Futterpflanzen (Brandenburg, L., 2002). Das gemäßigt kontinentale Klima mit geringen Jahresniederschlägen wird sich künftig verändern. Verschiebungen in den Niederschlagsmustern können zu Trockenperioden oder Überflutungen führen, was sich wiederum nachteilig auf die Bodenfeuchte und die Erträge auswirkt (vgl. Kaiser & Hattermann, 2021; Danius, 2021; Drahorad & Reifer, 2004).

Die Wesermarsch ist Teil der größten zusammenhängenden Grünlandregionen Deutschlands. Etwa 90 % der für die Landwirtschaft genutzten Flächen sind als Dauergrünland klassifiziert (REK, 2023). Aufgrund komplexer Entwässerungssysteme dominieren hier kleine Bewirtschaftungseinheiten. Gemäß den Angaben der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2017) weist ein Flächenanteil von 50 % eine Größe von weniger als 3 ha auf. Im Durchschnitt bewirtschaften Betriebe eine Fläche von 62 Hektar mit einer Besatzdichte von 1,7 bis 1,9 Großvieheinheiten pro Hektar (KLV, 2014; LSN, 2022). Die Region ist derzeit einem signifikanten Strukturwandel unterworfen. Zukünftige klimatische Veränderungen – wie etwa Trockenperioden, Starkregen und ein Anstieg des Meeresspiegels – stellen eine potenzielle Gefährdung für die Bodenqualität und somit die Futtergrundlage für Weidetiere dar (vgl. Danius, 2021; Ahlhorn et al., 2011).

Die Region Südniedersachsen, insbesondere die Landkreise Northeim und Holzminden, ist durch extensive Grünlandbewirtschaftung mit geringer Viehdichte (unter 0,9 Großvieheinheiten pro Hektar) und hohem Anteil an Weideflächen charakterisiert (vgl. Agethen 2020). Eine Vielzahl von Flächen befindet sich in Natura-2000-Gebieten. Agrarumweltprogramme fördern demnach eine naturschutzorientierte Nutzung (ML Niedersachsen, 2021). Die Bewirtschaftung dieser Flächen erfolgt in der Regel im Nebenerwerb. Die hügelige Topographie erschwert die Nutzung der Flächen, was zu Aufgabe, Brachfallen und Verbuschung führt. Gleichzeitig wird an günstigeren Standorten eine intensivere Wirtschaftsweise beobachtet (LPV Göttingen, 2024). Auch in diesem Fall sind klimatische Herausforderungen, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind, von signifikanter

Die Weidesystemmodelle (PS) (Tabelle 1) sind die Hochintensiv-Variante (CONF), bei der die Kühe vollständig im Stall gehalten werden und kein Weidegang möglich ist, jedoch wird Futter vom betriebszugehörigen Grünland gefüttert, die extensiv-Variante (EXT), bei der die Tiere auf Weiden gehalten werden und ein hoher Anteil des Futters extensiv bewirtschaftetes Grünland ist, sowie die intensiv-kleinräumige (INTs) und extensiv-kleinräumige (EXTs) Variante, bei der die Weidehaltung ebenfalls im Vordergrund steht, jedoch in kleineren Koppeln. In Living Labs wurden Daten zu Milchproduktionssystemen für die PS gesammelt und die VF-Technologie in Zusammenarbeit und unter Beteiligung verschiedener Interessengruppen aus der Region teilweise getestet, weiterentwickelt und evaluiert. Das "CONF" PS repräsentiert ein Weidesystem im Brandenburg Living Lab. Die PS "INTs" und "EXTs" spiegeln das Wesermarsch Living Lab wider. Das PS "EXT" wurde in einem Living Lab im Süden Niedersachsens entwickelt. Diese vier abgeleiteten PS stehen für eine Vielzahl von Milchproduktionssystemen, von "keine Weidehaltung" bis "Ganztagesweidehaltung" mit 20 bis 24 Stunden Weidezeit pro Tag. Die Milchleistung der Kühe in diesen Systemen liegt zwischen 6.500 kg ECM (Energiekorrigierte Milch)/a (Jahr) und 9.300 kg ECM/a. Die Koppelgröße umfasst 2,4 Hektar bis 15 Hektar und weist eine Besatzdichte von 0,9 bis 2,4 Kühen pro Hektar auf. Der ermittelte Weideertrag liegt zwischen 40 Tonnen TM pro Hektar und 90 Tonnen TM pro Hektar. Die zugrunde liegende Annahme, dass die untersuchten PS über ausreichend zusammenhängende, konsolidierte Weideflächen ohne kreuzende Straßen oder Autobahnen verfügen, ist für die weitere Analyse von entscheidender Bedeutung.

Aus den Ergebnissen der untersuchten Weidesystemmodelle konnten Empfehlungen abgeleitet werden, für welche Weidemanagement-Systeme an welchen Standorten ein Einsatz des VF-Systems besonders geeignet

ist. Allerdings hängt die Wirtschaftlichkeit der Nutzung digitaler Technologien stark vom individuellen Betriebsmanagement ab. In Realbetrieben gibt es bestimmte Einschränkungen, beispielsweise eine konstante Weideflächengröße, andere Besatzdichten, begrenzte Stallkapazitäten und ein differierendes Verhältnis zwischen Milchleistung, Grundfutterleistung und Kraftfuttereinsatz. Zudem agieren Betriebsleiter:innen sehr individuell und wählen entsprechend individuelle Anpassungsstrategien bei der Umstellung auf digitale Technologien, die nicht vollständig durch Kennwerte für die Berechnungen erfasst werden können. Vor diesem Hintergrund wurde auch eine Kosten-Nutzen-Analyse in Form von Szenariorechnungen für innovative Weideproduktionssysteme mit VF-Systemen anhand von Realbetrieben (Tabelle 2) durchgeführt.

Tabelle 1: Ausgewählte Kennzahlen zur vier untersuchten Weidesystemmodellen (PS).

Parameter	Einheit	CONF	EXT	INTs	EXTs	Einheit
Milchleistung pro Kuh	kg ECM/Jahr	9.300[1]	6.500	8.000	7.000	kg ECM/Jahr
Weidezeit	Std./Tag	0	24	12	24[2]	Std./Tag
Besatzdichte	Kühe/ha	1,7	0,9	2,4	1,4	Kühe/ha
Grundfutterleistung[3]	kg/Kuh/a	3.500	4.500	5.000	4.500	kg/Kuh/a
Weidetage pro Jahr	Tage/Jahr	0	185	185	185	Tage/Jahr
Grünlandertrag	dt TM/ha/a	60	40	90	65	dt TM/ha/a
Anzahl der Schnitte	pro Jahr	4	2	4	3	pro Jahr

[1] relevant nach Umstellung auf weidebasierte Milchproduktion
[2] ohne ca. 4 Stunden Arbeitszeit für das Melken
[3] Milcherzeugung ausschließlich durch Grasfütterung

Quelle: Eigene Daten aus den Living Labs; LELF (2021); FSO (2021a); FSO (2021b); AfSBB (2022); LSN (2021); ML Niedersachsen (2021).

Im Projektzeitraum wurden die zugehörigen Living Labs besucht und die betriebsindividuellen Daten von **Realbetrieben** erhoben. Betrieb 1 (RB1) liegt in der Region Wesermarsch. Betrieb 2 (RB2) ist in Brandenburg angesiedelt. Die Berechnungsgrundlage der Weidesystemmodelle wurde auf die Realbetriebe angepasst. Dabei wurden folgende Abweichungen von den berechneten Szenarien berücksichtigt: konstante Weideflächengröße, unterschiedliche Besatzdichten, begrenzte Stallkapazitäten und ein unterschiedliches Verhältnis von Milchleistung, Grundfutterleistung und Kraftfuttereinsatz. Darüber hinaus wurden die individuellen Formen der Bewirtschaftung mit einbezogen. Da RB1 vor kurzem auf den ökologischen Landbau umgestellt hat, wurden zwei Varianten für diesen Betrieb berechnet: RB1 Öko und RB1 Konv. Grundsätzlich unterscheiden sie sich vor allem bei den Kosten für die Kraftfutter und zusätzliche Prämien für den Ökolandbau. RB1 bewirtschaftet seiner Grünlandflächen (200 ha) sehr intensiv mit Milchkühen. Diese Flächen werden in der Regel viermal im Jahr genutzt und liefern einen Grünlandertrag von 90 dt TM/ha. Die Weideflächen dieses Betriebes sind durch das in der Region vorhandene Grabensystem klein strukturiert (ca. 2,4 ha Schlaggröße). Etwa die Hälfte seiner Flächen liegt auf Moorboden. Das Grabensystem erfordert einen hohen Arbeitsaufwand, um zu verhindern, dass die Tiere zu nah an den Gräben weiden und diese beschädigen. RB2 ist durch eine sehr intensive Weidemilchproduktion nach irischem Vorbild auf großen zusammenhängenden, ebenen Flächen mit überwiegend Ackergras (Grünlandertrag 120 dt TM/ha) gekennzeichnet. Jede Koppel wird einmal pro Woche mit einem Besatzdruck von ca. 2,6 GV/ha beweidet. Die 860 Kühe sind in zwei Herden aufgeteilt. Die Tiere sind von Ende März bis Mitte Dezember auf der Weide. Den Rest des Jahres verbringen sie ebenfalls im Freien und werden auf der Weide gefüttert. Die Milchleistung liegt bei 7.500 kg ECM/Kuh/Jahr, wobei 70-80 % aus Grasfütterung (Weide plus Silage) stammen. Der Betrieb erhält fast nur die Basisprämie. Daher ist die Produktion vollständig auf die Optimierung des Weidemanagements und die Kostenreduzierung ausgerichtet.

Tabelle 2: Wichtige Kennzahlen zu den berechneten Realbetrieben (RB) aus den Living Labs-Regionen

Annahme	Einheit	RB1	RB2
Weidefläche	ha	200	300
Durchschn. Schlaggröße	ha	2,4	3-4
Grünlandertrag	dt TM/ha	90	120
Weideverluste	%	15	30
Anzahl der Schnitte	pro Jahr	4	3-4
Intensität der Beweidung		intensive Umtriebsweide	intensive Umtriebsweide
Form der Bewirtschaftung		ökologisch	konventionell
Besatzdichte	GV/ha	2,4	2,6
Anzahl der Tiere		200	860
Tierart		Milchkühe	Milchkühe
Milchleistung	kg ECM/a	7 000-7 500*	7 700
Weidedauer	h/Tag	20	20
Einsatz von Kraftfutter	dt/Kuh/a	9-10	9-10
Weidetage	Tage/a	190	240-250
Pachtpreis	Euro/ha	400	175
Kosten für Entwässerung	Euro/ha	30	-
Prämien:			
Basiszahlung für Nachhaltigkeit (1. Säule)	Euro/ha	243	157
Öko-Regelung 4 (1. Säule)	Euro/ha	250	-
Umverteilungsgrundbetrag (0 - 40 ha) (1. Säule)	Euro/ha	69	69
Umverteilungsgrundbetrag (41 - 60 ha) (1. Säule)	Euro/ha	42	42
Öko-Regelung 5 (1. Säule)	Euro/ha	300	-
Zahlung für Sommerweide	ct/kg ECM	1,5*	-
GMO-freie Fütterung	ct/kg ECM	-	1*

* Zahlungen von der Molkerei

Quelle: eigene Datenerhebung

Die Szenarien zur Systemumstellung, die in der Kosten-Nutzen-Analyse eingebaut wurden, verfolgten unterschiedliche Ziele hinsichtlich der Anpassung der Weidebewirtschaftung. Diese erstreckten sich von einer verstärkten Naturschutzmaßnahme bis hin zur Reduktion der Arbeitsintensität. Darüber hinaus wurden einige marktrelevante Szenarien mit möglichen zukünftigen Veränderungen der Technologiekosten und des Lohns eines Betriebsleiters berücksichtigt (Tabelle 3). Diese Szenarien veranschaulichen die vielfältigen Möglichkeiten, wie der Einsatz von VF-Systemen nicht nur EPF ersetzen, sondern auch das Weidemanagement verbessern und sich positiv auf die Produktivität, Effizienz und Nachhaltigkeit von Weidesystemen auswirken kann (*siehe Kasten „Szenarien“*). Dies könnte wiederum die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der VF-Technologie erhöhen.

Tabelle 3: Veranschaulichung der Szenarien.

Szenario	Weidesystemmodell	Weidezeit, h/Tag	Weideverlust, %	Naturschutzfläche, %	Halsbandkosten, Euro/Halsband	Datenübertragungskosten, Euro/Kuh/a	Lohn, Euro/h
Substitution	CONF	6	30	0	300	60	17.5
	EXT, EXTs, INTs	12	30	0	300	60	17.5
Full pasture	CONF	↑ 12	→[1]	→	→	→	→
	EXT, EXTs, INTs	↑ 20	→	→	→	→	→
Pasture efficiency	CONF	→	↓ 20	→	→	→	→
	EXT, EXTs, INTs	→	↓ 20	→	→	→	→
Nature conservation	CONF, INTs	→	→	→	→	→	→
	EXT, EXTs	→	→	↑ 10	→	→	→
Technology development	CONF	→	→	→	↓ 100	→	→
	EXT, EXTs, INTs	→	→	→		→	→
Daten transmission	CONF	→	→	→	→	↓ 30	→
	EXT, EXTs, INTs	→	→	→	→		→
Wage	CONF	→	→	→	→	→	↑ 25
	EXT, EXTs, INTs	→	→	→	→	→	

[1]Die Parameter bleiben dieselben wie im Szenario der Substitution

Quelle: eigene Angaben.

„Szenarien“

Substitution: In diesem Szenario erfolgt eine Substitution des inneren EPF-Systems durch das VF-System, ohne dass Modifikationen an der Weidebewirtschaftung vorgenommen werden. Dies impliziert, dass die Tiere nach demselben Zeitplan und den gleichen Routen wie zuvor auf der Weide gehalten werden. Es erfolgt keine Anpassung der Beweidung an die individuellen Bedürfnisse der Tiere oder die Gegebenheiten der Weide. Das VF-System ist ausschließlich passiver Ersatz für die traditionellen Innenzäune.

Full pasture: Der Begriff "Vollweide" wird in diesem Kontext verwendet. In diesem Szenario wird das innere EPF-System durch ein VF-System ersetzt und der Landwirt verlängert zusätzlich die tägliche Weidezeit. Der Einsatz eines VF-Systems ermöglicht eine präzisere Überwachung der Tierbewegung und fördert eine verlängerte Weidezeit. Für das PS "CONF" wurde die Weidezeit auf 12 Stunden pro Tag verlängert. Für andere PS ist eine Steigerung der Weidedauer auf bis zu 20 Stunden pro Tag bei Vollweide zu verzeichnen.

Pasture efficiency: Im vorliegenden Fall findet ein VF-System Anwendung, welches das innere EPF-System ersetzt. Zudem werden Maßnahmen ergriffen, um Weideverluste zu reduzieren. Das VF-System ermöglicht eine präzisere Kontrolle der Tierbewegungen, wodurch unerwünschte Verluste wie Trittbeschädigungen oder Grasverluste durch Überbeweidung leichter minimiert werden können. Mittels einer Anpassung der Bewegungsparameter besteht die Möglichkeit, die Tiere in spezifische Bereiche der Weide zu dirigieren, mit dem Ziel, eine gleichmäßigere Beweidung zu fördern. Dies kann zu einer effizienteren Nutzung der Weidefläche und einer höheren Weideproduktivität führen. Für alle Weidesystemmodelle wurde eine Steigerung der Weidenutzung um 10 % berechnet.

„Szenarien“

Nature conservation: Im vorliegenden Szenario erfolgt eine Substitution des inneren EPF-Systems durch ein VF-System, wobei gleichzeitig der Anteil der Flächen, die mit Naturschutzmaßnahmen ausgestattet sind, erhöht wird. Das VF-System ermöglicht eine präzise Steuerung der Tierbewegungen, wodurch spezifische Bereiche der Weide leichter für Naturschutzmaßnahmen reserviert oder geschützt werden können. Die Steuerung der Tierbewegungen ermöglicht einen verbesserten Schutz empfindlicher Ökosysteme oder geschützter Arten vor den Auswirkungen der Beweidung. Dies kann die Biodiversität auf den Weideflächen fördern und die ökologische Integrität der Weide erhalten oder verbessern. Für die PS "EXT" und 'EXTs' wurde ein Anteil von 10 % der Weidefläche mit zusätzlichen Naturschutzmaßnahmen (in der vorliegenden Studie mit "Öko-Regelung 5") berechnet.

Technology development: Im Bereich der Technologieentwicklung wird als Annahme unterstellt, dass der zunehmende Einsatz dieser Technologie zu Kostensenkungen bei höherer Akzeptanz der Nutzer, weiterem technischen Fortschritt und den damit verbundenen Skaleneffekten führen könnte (vgl. Wene, 2007). Eine Reduktion der Kosten pro Halsband könnte die Umstellung auf ein VF-System für Landwirt:innen finanziell attraktiver gestalten. Für dieses Szenario wurde das Substitutionsszenario mit geringeren Kosten (100 Euro/Halsband statt 300 Euro/Halsband) kombiniert. Es wurden keine weiteren Anpassungen vorgenommen.

Data transmission: In Anlehnung an das vorangegangene Szenario wird das Substitutionsszenario um eine spezifische Entwicklung ergänzt – in diesem Fall um eine Senkung der Datenübertragungskosten. Das VF-System erfordert eine kontinuierliche Datenübertragung zwischen den Tierhalsbändern und der zentralen Steuereinheit, um eine Anpassung der virtuellen Barrieren zu ermöglichen und die Tierbewegungen zu kontrollieren. Der technologische Fortschritt sowie die zunehmende Verbreitung drahtloser Kommunikationstechnologien haben das Potenzial, die Kosten für die Datenübertragung zu reduzieren. Dies trägt zur

Wie bereits zu Beginn dargelegt, erfolgte die Bewertung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit eines VF-Systems mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse. Im Rahmen der Untersuchung wurde die jährliche Differenz der Grünlandbewirtschaftungskosten (AD) auf der Grundlage der Umstellung von einer traditionellen Weidebewirtschaftung mit EPF auf ein innovatives VF-gestütztes Milchproduktionssystem analysiert, um verschiedene Szenarien für den Einsatz eines VF-Systems zu vergleichen.

Die Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigt ausschließlich die Kosten für das Weidemanagement, die durch den Einsatz eines VF-Systems beeinflusst sein können (siehe Anhang 1). Das sind die Anschaffung, den Auf-/Abbau (hauptsächlich für den Außenzaun) und die Wartung von Elektrozäunen (siehe Kasten „Kosten des VF-Systems“), die Arbeitskosten für den Umtrieb, die Kosten für die Ausbringung von Gülle, die festen und variablen Maschinenkosten für die Ernte/das Mähen, die Arbeitskosten für die Nachpflege (z.B. Mulchen oder Nachsaat), die Pachtkosten, die Kosten für Kraftfutter und die Grundfutterkosten berücksichtigt. Darüber hinaus wurde auch die Verringerung der Milcheinnahmen (die als verlorene Leistungen zu betrachten sind) aufgrund der Umstellung von Stallhaltung auf Vollweidehaltung in die Untersuchung miteinbezogen. In die Analyse flossen die Genauigkeit der Weideertragsnutzung, die Art und Dauer der Beweidung, die Art des virtuellen Zauns, die Art der Landnutzung und die GAP-Zahlungen (Zeitraum 2023-2027) mit Öko-Regelungen ein. Die Annahmen für die Berechnungen basieren auf statistischen Daten aus den Regionen der Living Labs, KTBL-Datenerhebungen, statistischen Datenbanken sowie Kennzahlen aus Expertengesprächen mit Stakeholdern aus den Living Labs (LELF, 2021; FSO, 2021a; FSO, 2021b; AfSBB, 2022; LSN, 2021; ML Niedersachsen, 2021; KTBL, 2023). Die folgenden Faktorkosten wurden bei der Kalkulation berücksichtigt: Lohn (17,5 Euro/h), Kapital (Zinssatz 4,0 %), Dieselkosten (1,6 Euro/l), Kraftfutterkosten (399 Euro/t), Gülleausbringungskosten (5 Euro/m³). Die zugrunde liegende Annahme war, dass eine Herde aus maximal 200 Tieren besteht. Betriebsleiter, die mehr als 200 Kühe halten, setzen ein Fahrzeug ein, um die Tiere zwischen den Weiden zu transportieren. Die Berechnung geht von der Prämisse aus, dass die Besatzdichte unabhängig von der Anzahl der Kühe konstant bleibt. Dies impliziert, dass mit einer Zunahme der Herdengröße ein Anstieg der Gesamtweidefläche einhergeht. Im Rahmen der Berechnung auf den Realbetrieben wurde eine konträre Annahme getroffen, die eine präzisere Abbildung der Realität in der Praxis ermöglicht, in dem z.B. die Weidefläche konstant bleibt.

„Kosten des VF-Systems“

Tabelle 2 im Anhang 1 bietet eine detaillierte Darstellung, der für die hier vorliegenden Berechnungen unterstellten Anschaffungs- und Betriebskosten. Die Anschaffungskosten basieren auf den Prognosen der Projektpartner Texas Trading und Horizont, die mit Pasture Guide ein individuelles VF-System entwickeln, sowie auf den Kosten des Nofence-Systems, das in den Feldversuchen (Hamidi et al., 2023) mit Rindern in GreenGrass-Projekt eingesetzt wurde. Die Annahme, dass die Kosten für Halsbänder mit GPS- und Kommunikationstechnologie bei etwa 300 Euro pro Stück liegen, wurde durch die empirische Evidenz bestätigt. Um einen kontinuierlichen Einsatz der VF-Halsbänder während der gesamten Weidesaison zu gewährleisten, sind pro 10 Batterien eine zusätzliche Batterie und ein Ladegerät für 5 Batterien erforderlich. Für die Koordination der verschiedenen Komponenten eines VF-Systems ist in jedem Betrieb eine Basisstation erforderlich, deren Anschaffung mit Kosten in Höhe von mindestens 300 Euro verbunden ist. Ziel dieser Maßnahme ist die Erleichterung von Kommunikation, Überwachung und Steuerung. Das GPS-Signal eines VF-Systems kann jedoch aufgrund natürlicher oder künstlicher Strukturen, wie etwa Bäume, Gebäude oder Hügel, mit Ungenauigkeiten behaftet sein (vgl. O'Donoghue, 2022). Darüber hinaus können VF-Systeme Einschränkungen hinsichtlich der Größe der Weidefläche aufweisen, die sie effektiv abdecken können. Die Softwareplattform, welche Landwirten die Möglichkeit bietet, virtuelle Grenzen zu definieren, die Standortüberwachung von Tieren zu realisieren und Warnmeldungen zu empfangen, ist kostenfrei. Allerdings sind die Kosten für die Datenübertragung zwischen Halsband und Basisstation mit 60 Euro pro Halsband und Jahr nicht unerheblich. Zudem ist für die Nutzung der VF-Systemsoftware ein Smartphone erforderlich. Die Energiekosten für die Nutzung des VF-Systems wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da die Batterien der Halsbänder während der Weidesaison über Sonnenkollektoren aufgeladen werden. Daher scheinen die Energiekosten für eine Aufladung pro Jahr (während der Winterperiode) im Vergleich zu den Kosten für die Halsbänder und die Datenübertragung nicht relevant zu sein. Die Prämisse der Untersuchung basierte auf der Annahme, dass die Mehrheit der Betriebe einen Wartungs- und Servicevertrag mit jährlichen Kosten von etwa 1.700 Euro abschließen würde. Dieser Vertrag würde die Kosten für einen potenziellen Austausch der Halsbänder während der Garantiezeit, System-Upgrades, technischen Support und eine Versicherung abdecken. Die Versuche von Hamidi et al. (2023) mit insgesamt 32 Kühen in vier Gruppen ergaben, dass die Ausbildung der Rinder bei der ersten Verwendung des VF-Systems etwa zwei Stunden zweimal täglich über drei Tage dauert. In den darauffolgenden Jahren würde ein Tag mit zwei zweistündigen Sitzungen ausreichen, um die Weidezeit erfolgreich zu beginnen. Da die Akzeptanz des VF-Systems bei Rindern mit hoher Wahrscheinlichkeit variiert (Lee und Campbell, 2021), wurde eine Veränderung der Rinderpopulation von 5 % im ersten Jahr der Umstellung und eine maximale Veränderung von 1 % pro Jahr in den folgenden Jahren prognostiziert. Für das VF-System wurde eine Abschreibungsdauer von sechs Jahren angenommen. Die weiteren Annahmen zu den Kosten für die Nutzung von VF sind in Tabelle 2 im Anhang 1 dargestellt.

In der Arbeit wurden nicht nur die Kosten, sondern auch der Nutzen bzw. die Vorteile der Nutzung eines VF-Systems berücksichtigt, zu denen unter anderem geringere Arbeitskosten, eine effizientere Weidenutzung, ein geringerer Einsatz von Kraftfutter oder Grundfutter, potenzielle Einsparungen bei den Maschinenkosten sowie bei den Futterkosten im Stall sowie GAP-Zahlungen (flächenbezogene Direktzahlungen und Extensivierungsprämien) zählen. Die GAP-Zahlungen spielen demnach eine signifikante Rolle bei der Förderung einer extensiven Grünlandbewirtschaftung (vgl. Kiefer et al., 2014; Lakner et al., 2020; Gyuomard et al., 2022). Die GAP-Zahlungen stellen für Landwirt:innen eine von der Nahrungsmittelproduktion unabhängige Einkommenssicherheit dar. Dies hat zur Folge, dass der Anreiz, intensive Bewirtschaftungsmethoden anzuwenden, um höhere Erträge zu erzielen, sinkt. Stattdessen wird die Erhaltung von Grünland gefördert (Lakner et al., 2020). In der vorliegenden Arbeit wurden sowohl die Basisprämien der Säule 1 als auch die "Öko-Regelung 4" (Extensivierung aller Dauergrünlandflächen des Betriebs) und die "Öko-Regelung 5" (extensive Bewirtschaftung von Dauergrünland; Nachweis von mindestens vier regionalen Indikatorarten) berücksichtigt, da sie in allen weidebasierten Produktionssystemen in unterschiedlichem Umfang etabliert werden können (siehe Anhang 1, Tabelle 3). Die Grundzahlung ist für alle Szenarien mit 157 Euro/ha identisch unterstellt. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Grundzahlungen berücksichtigt werden, da eine mögliche Anpassung des Weidebewirtschaftungssystems (Verlängerung der Weidezeit oder Erhöhung der Futterverwertung) nach der Umstellung auf VF die Größe einer Weide verändern könnte. Dies hätte eine Änderung der generierten Grundzahlungen zur Folge. In der vorliegenden Arbeit wurden die "Öko-Regelung 4" und "Öko-Regelung 5" lediglich für extensive weidebasierte Produktionssysteme (PS: EXT und PS: EXTs) berücksichtigt. Die genannten Zahlungen sind auf 100 Euro/ha bzw. 225 Euro/ha festgelegt. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Landwirte zusätzliche Zahlungen aus Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AECM) erhalten. Dies ist jedoch sehr individuell und die Kombination verschiedener Maßnahmen ist äußerst komplex. Aus diesem Grund wurden diese Zahlungsarten nicht in die Kosten-Nutzen-Analyse integriert, obwohl die VF die Wahrscheinlichkeit für solche Zahlungen erhöht. Eine weitere Zahlung, die die Beweidung von Grünland fördert und die zahlreichen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Vorteile dieser Bewirtschaftungsform unterstützt, ist eine Sommerweideprämie, die in der Regel von der Regierung initiiert wird. Die Gewährung dieser Zahlung ist an die Bedingung geknüpft, dass die Tiere im Zeitraum von Mai bis November auf der Weide gehalten werden.

Als Kerngroße der Kosten-Nutzen-Analyse wurde eine **jährliche Differenz für die Grünlandbewirtschaftungskosten (AD)** auf der Grundlage der Umstellung von einer traditionellen Weidebewirtschaftung mit EPF auf ein VF-gestütztes Milchproduktionssystem (mit äußerem Elektrozaun) verwendet, um die wirtschaftliche Leistung zu demonstrieren. Die AD wurde wie folgt berechnet:

$$AD = (CEPF – BEPF) – (CVF – BVF)$$

AD – Jährliche Differenz der Grünlandbewirtschaftungskosten

CEPF – Jährliche Kosten im Zusammenhang mit dem EPF-gestützten Milchproduktionssystem (einschließlich Anschaffungskosten, Wartungskosten, Futtermittelkosten, zusätzliche Betriebskosten für die Weidebewirtschaftung usw.) (siehe Anhang 1)

CVF – Jährliche Kosten im Zusammenhang mit dem VF-gestützten Milchproduktionssystem (einschließlich Anschaffungskosten, Wartungskosten, Futtermittelkosten, Kosten im Zusammenhang mit dem äußeren EPF, zusätzliche Betriebskosten für die Weidebewirtschaftung usw.) (siehe Anhang 1)

BEPF – Jährlicher Nutzen im Zusammenhang mit dem EPF-gestützten Milchproduktionssystem (z. B. Zahlungen) (siehe Anhang 1)

BVF – Jährlicher Nutzen im Zusammenhang mit dem VF-gestützten Milchproduktionssystem (einschließlich Reduzierung der Arbeitskosten, Betriebskosten, Futtermittelkosten, Wegfall der Kosten für interne EPF, zusätzliche Zahlungen aufgrund verstärkter Erhaltungsmaßnahmen usw.) (siehe Anhang 1)

Anschließend wurden auf Basis der Ergebnisse aus den berechneten Systemmodellen und Realbetrieben **Lernkurven** abgebildet. Da aufgrund der Corona-Pandemie und Problemen bei der Genehmigung der Tierversuche nicht alle geplanten Aktivitäten zur Erprobung des VF-Systems in den Realbetrieben stattfinden konnten, wurde bei der Abbildung der Lernkurven beispielsweise die Arbeitszeit für die Anwendung des VF-Systems prozentual variiert, um die zu erwartenden Effekte bei zunehmender Erfahrung der Anwendung des VF-Systems zu simulieren.

Dabei wurde angenommen, dass mit steigender Nutzungsdauer betriebliche Routinen entstehen, technische Abläufe effizienter gestaltet werden und sich der Schulungsaufwand reduziert. Mithilfe dieser Vorgehensweise war es somit möglich, typische Lerneffekte wie sinkende Arbeitskosten, eine bessere Flächennutzung oder eine optimierte Tierlenkung auch unter unsicheren empirischen Bedingungen abzubilden. So konnten trotz eingeschränkter Datengrundlage, an die Realität angelehnte Entwicklungspfade aufgezeigt werden, die eine Einschätzung der langfristigen Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität virtueller Zaunsysteme im Weidemanagement erlauben. Die so erstellten Lernkurven bilden damit eine mögliche Grundlage für Handlungsempfehlungen und mögliche Skalierungsstrategien.

1.3 Ergebnisse

Die Abbildung 2 bietet einen detaillierten Überblick über die AD für die Grünlandbewirtschaftung durch eine einfache Umstellung auf das VF-System (mit einem äußerem Elektrozaun) ohne weitere Anpassungen im Weidemanagement innerhalb verschiedener berechneter PS für unterschiedliche Betriebsgrößen basierend auf dem aktuellen Stand der VF-Technologie. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Stallhaltung die Hinzunahme von 6 Stunden Weidehaltung mit einem VF-System eine positive AD von etwa 0,96 ct/kg ECM für kleine Betriebe mit 50 Kühen und etwa 1,21 ct/kg ECM für große Betriebe mit 400 Kühen bringen könnte. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass ein erheblicher positiver wirtschaftlicher Effekt wahrscheinlich von der Grasaufnahme bei Weidegang und nicht von der Verwendung eines VF-Systems stammt. Die Reduktion der Kosten für die Bereitstellung von Futtermittel wie Heu, Silage oder Kraftfutter kann in den Weidemonaten erzielt werden, da die Tiere einen Teil ihres Nährstoffbedarfs mit Weidegras decken können. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde festgestellt, dass die Weidehaltung im Vergleich zur Stallhaltung möglicherweise mit einem geringeren technischen Aufwand und Energieverbrauch einhergeht. Beispielsweise sind die Kosten für den Maschinenbetrieb, die Futter- und Güllelagerung und -ausbringung sowie weitere Betriebskosten im Vergleich zu anderen Verfahren geringer. Im Rahmen der Umstellung auf die Weidehaltung ist es essenziell, die Verfügbarkeit ausreichend zusammenhängender Weideflächen zu gewährleisten. Um eine Beeinträchtigung der Milchleistung zu vermeiden, ist es ratsam, die tägliche Distanz der Kühe zwischen Weide und Melkstand zu berücksichtigen. Dennoch zeigen unsere Berechnungen, dass der erwartete Rückgang der

Milchleistung, der in den Kalkulationen berücksichtigt wurde, durch die Vorteile der Weidehaltung und Anpassungen in der Bewirtschaftung kompensiert werden kann.

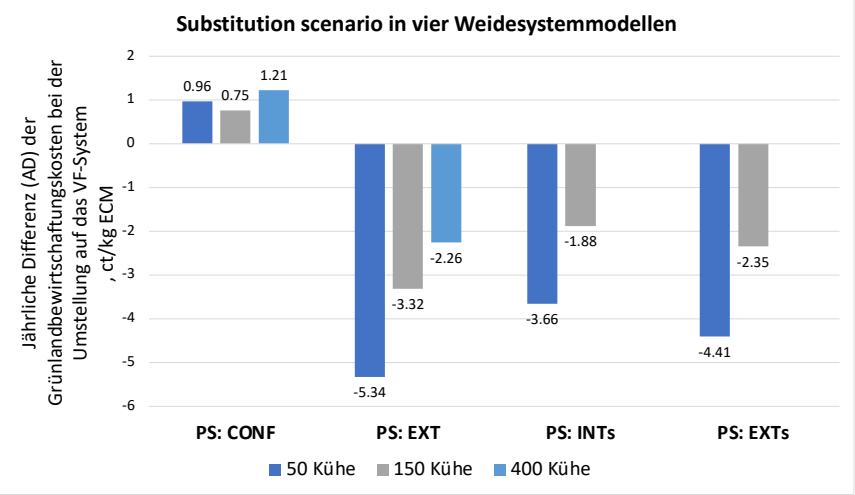

Abbildung 2: Jährliche Differenz (AD) In den Kosten für die Grünlandbewirtschaftung durch die Umstellung vom EPF- auf ein VF-Weideproduktionssystem (mit äußerem Elektrozaun) im Substitutionsszenario in ct/kg ECM.

Quelle: eigene Berechnungen

In Betrieben im CONF PS wurde mit ca. 150 Tieren der Break-even-Point für die AD festgestellt. Diese Entwicklung lässt sich auch durch eine Steigerung der betrieblichen Effizienz erklären. Die vorliegende Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz von VF in Milchviehbetrieben zu einer signifikanten Steigerung der betrieblichen Effizienz führt. Die Effizienzsteigerung zeigt sich in einer Rationalisierung der Prozesse wie bspw. einer Reduktion des Arbeitsaufwands und einer Optimierung der Ressourcennutzung. Den Effizienzsteigerungen sind jedoch insbesondere bei zunehmender Herdengröße auch Grenzen gesetzt. VF bedarf bei größeren Herden potenziell zusätzliche Infrastruktur sowie einen höheren Verwaltungsaufwand, wodurch ein Teil der Effizienzgewinne wieder kompensiert werden könnte.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass für Betriebe, die bereits Weidehaltung haben (PS: EXT, PS: INTs und PS: EXTs), ein einfacher Ersatz des inneren physischen Elektrozauns durch VF aufgrund der nach wie vor hohen Anschaffungskosten noch nicht wirtschaftlich rentabel ist (Abb. 2). Es konnte festgestellt werden, dass die negative AD mit zunehmender Herdengröße abnimmt. So weisen beispielsweise kleine Betriebe mit 50 Kühen in PS: EXT eine AD von -5,34 ct/kg ECM auf. Bei einem Milchviehbetrieb mit 400 Kühen beträgt dieser Verlust jedoch nur -2,26 ct/kg ECM. In sämtlichen untersuchten PS konnten Skaleneffekte festgestellt werden. Für größere weidebasierte Milchviehbetriebe kann die Umstellung auf VF-Technologie zu einer Reduktion der Kosten führen. Es konnte auch festgestellt werden, dass mit zunehmendem Tierbestand auch der Anteil der Halsband- und Datenübertragungskosten steigt. Der Anteil der Betriebs- und Wartungskosten sinkt dementsprechend.

Die durchgeführte Szenarioanalyse (Abbildung 3) zeigt den Einfluss einzelner Faktoren (Weidedauer, Weidenutzung, Naturschutz, Kosten für Halsbänder, Datenübertragungskosten und Arbeitskosten) bei diversen Umstellungsoptionen hinsichtlich des weidebasierten Produktionssystems in Verbindung mit einem VF-System. Die betriebswirtschaftlichen Trends des Einflusses verschiedener Szenarien auf die AD sind für unterschiedliche Betriebsgrößen identisch, daher werden hier lediglich die Ergebnisse für eine spezifische Betriebsgröße (50 Kühe) dargestellt. Die Analyse hat ergeben, dass aus wirtschaftlicher Sicht die kritischste Umstellungsoption eine einfache Umstellung der inneren EPF auf ein VF-System ohne Anpassung der Weidebewirtschaftung ist (siehe Abbildungen 2 und 3 (Substitutionsszenario)). Mit Ausnahme des "Wage"-Szenarios resultieren alle anderen Szenarien in einer positiven Erhöhung der AD nach der Implementierung des VF-Systems. Aus den ermittelten Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass sich sowohl bei kleinen PS: INTs als auch bei PS: EXTs eine identische Tendenz zeigt. Eine höhere AD würde sich aus der Umstellung auf VF ergeben, wenn die Weidemanagementpraktiken nicht nur durch einen anderen Zauntyp, sondern auch durch eine Verlängerung der täglichen Weidezeit modifiziert würden. Im Rahmen des "Full pasture"-Szenarios besteht für PS: INTs und PS: EXTs die Möglichkeit, eine zusätzliche positive AD von 1,53 ct/kg ECM bzw. 2,23

ct/kg ECM zu erzielen. Die Auswirkungen der alternativen Anpassungsszenarien sind als marginal einzustufen. Für PS: EXT könnte die Steigerung der wirtschaftlichen Leistung eines VF-Systems in einer Erhöhung der Weidenutzung liegen ("Pasture efficiency"-Szenario). In diesem Fall könnte eine Reduzierung der Weideverluste um 10 Prozent durch eine optimierte Anpassung des vorhandenen Weidefutters an die Bedürfnisse der Tiere zu einer zusätzlichen AD von 1,1 ct/kg ECM im Vergleich zum Substitutionsszenario führen. Für beide extensiv bewirtschafteten PS (PS: EXT und PS: EXTs) würde eine Erhöhung des Anteils an Naturschutzflächen bedeuten, dass die Nutzung des VF-Systems wirtschaftlich sinnvoller wäre, jedoch nicht so sehr wie die anderen zuvor diskutierten Optionen. Demzufolge resultieren zusätzliche Prämien von 225 Euro/Hektar für 10 Prozent der gesamten Weidefläche in einer zusätzlichen AD von 0,41 ct/kg ECM für PS: EXT und 0,15 ct/kg ECM für PS: EXTs. Die Reduzierung der direkten Technologiekosten (Szenarien "Technology development" und "Data transmission") hat einen positiven Einfluss auf die AD im Vergleich zum Substitutionsszenario. In allen PS weisen diese Szenarien eine positive Steigung auf, was darauf hindeutet, dass mit sinkenden Kosten für Halsbänder die AD in ct/kg ECM steigt. PS: CONF weist die höchste Sensitivität gegenüber diesen Szenarien auf. Im Szenario "Wage" wurde für alle PS ein negativer Trend verzeichnet. Der allgemeine Trend deutet darauf hin, dass ein möglicher Anstieg der Löhne in der Landwirtschaft, der auch in den kommenden Jahren zu erwarten ist, zu einer Verringerung der AD oder zu höheren Verlusten durch die Umstellung auf ein VF-System führen würde. Bei der Interpretation dieses Ergebnisses ist jedoch Vorsicht geboten. Während der Projektlaufzeit konnten aufgrund pandemiebedingter Einschränkungen sowie Verzögerungen bei der Genehmigung von Tierversuchen nur wenige Praxisversuche mit einer geringen Anzahl an Tieren unter Anwendung des VF-Systems durchgeführt werden. Diese Entwicklung hatte zwei wesentliche Konsequenzen: Zunächst ist festzustellen, dass eine aussagekräftige Replikation der Daten hinsichtlich der tatsächlichen Arbeitsintensität bei der praktischen Umsetzung des VF-Systems fehlt. Zweitens mussten für die ökonomische Analyse Annahmen aus diesen begrenzten Versuchen auf größere Herdengrößen hochskaliert werden, was potenziell zu methodischen Ungenauigkeiten führen kann. Vor diesem Hintergrund sind weitere, längerfristig angelegte Praxisstudien mit größeren Herden erforderlich, um belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des VF-Systems unter sich verändernden Lohnkosten treffen zu können. Dennoch konnten erste Hinweise auf mögliche ökonomische Vorteile des VF-Systems im Hinblick auf eine geringere Arbeitsbelastung über die beobachteten Lernkurven gewonnen werden.

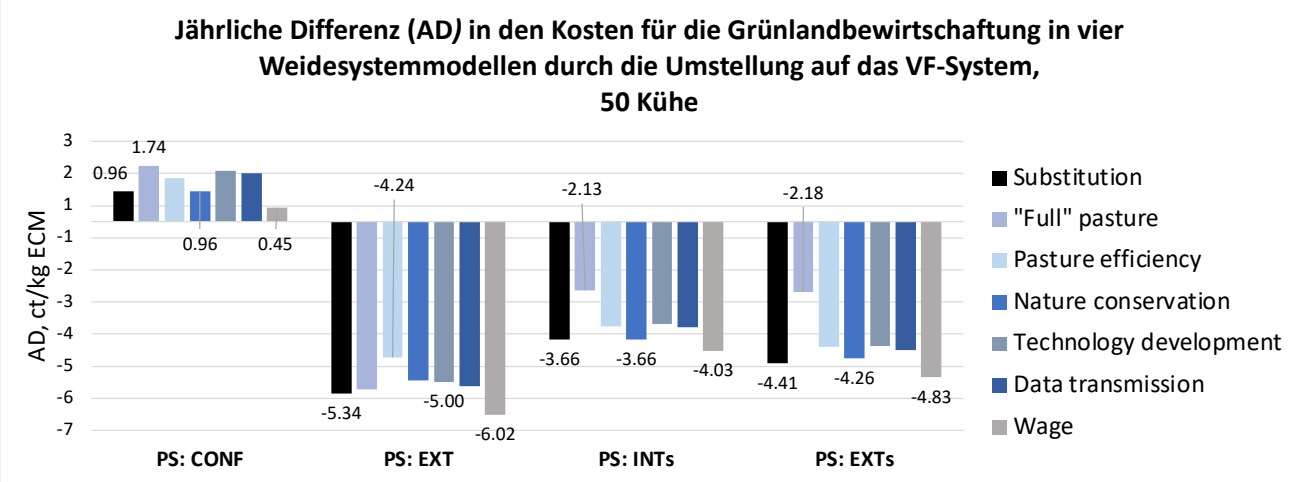

Abbildung 3: Jährliche Differenz (AD) in den Kosten für die Grünlandbewirtschaftung durch die Umstellung vom EPF- auf ein VF-Weideproduktionssystem (mit äußerem Elektrozaun) für kleinere Betriebe in Weidesystemmodellen in verschiedenen Umstellungsszenarien, in ct/kg ECM.

Quelle: eigene Berechnungen

Die Abbildung 4 veranschaulicht in den Kosten für die Grünlandbewirtschaftung durch die Umstellung vom EPF- auf ein VF-Weideproduktionssystem (mit äußerem Elektrozaun) in ct/kg ECM für die Realbetriebe (RB1 Öko, RB1 konv., RB2). Die Ergebnisse weisen Unterschiede zwischen den untersuchten Realbetrieben auf. Im Szenario "Substitution", welches die Substitution des physischen Zauns durch ein VF-System ohne Änderung der Weidebewirtschaftung beschreibt, resultieren durchgängig negative AD-Werte, wobei der größte Rückgang bei RB2 mit -1,5 ct/kg ECM verzeichnet wird. Hervorzuheben ist die positive AD im Szenario "Pasture efficiency", die mit 3,23 ct/kg ECM für RB1 Öko am höchsten ausfällt. Dieses Ergebnis lässt sich auch auf eine

effizientere Weidenutzung infolge der Umstellung auf das VF-System zurückführen, wodurch die Futterkosten insbesondere für das Bio-Futter reduziert und die Ressourcennutzung verbessert werden. Einen starken Unterschied im Vergleich zu den Ergebnissen der Weidesystemmodelle kann durch die konstante Fläche bei den Realbetrieben, die andere Besatzdichte und Milchleistung sowie die Korrelation zwischen Grundfutterleistung und Kraftfuttereinsatz erklärt werden. Demgegenüber stehen im Szenario "Wage" signifikant negative AD-Werte von bis zu -1,32 ct/kg ECM bei RB2. Dies deutet darauf hin, dass steigende Lohnkosten den positiven Effekt der VF-Implementierung potenziell reduzieren oder übersteigen können. Das Szenario "Nature conservation" resultiert bei den beiden Realbetrieben in einer Reduktion der Kostenbelastung, was auf die Integration naturschutzfachlicher Aspekte in die Weidenutzung zurückzuführen sein könnte. Es lässt sich festhalten, dass insbesondere die Steigerung der Weideeffizienz durch gezielte Anpassungen im Weidemanagement (z. B. bessere Flächennutzung) das größte ökonomische Potenzial zur Kostensenkung bietet. Zwischen den Betrieben bestehen Unterschiede, die auf betriebsindividuelle Faktoren wie Produktionssystem, Flächenzusammensetzung, Besatzdichte zurückzuführen sind.

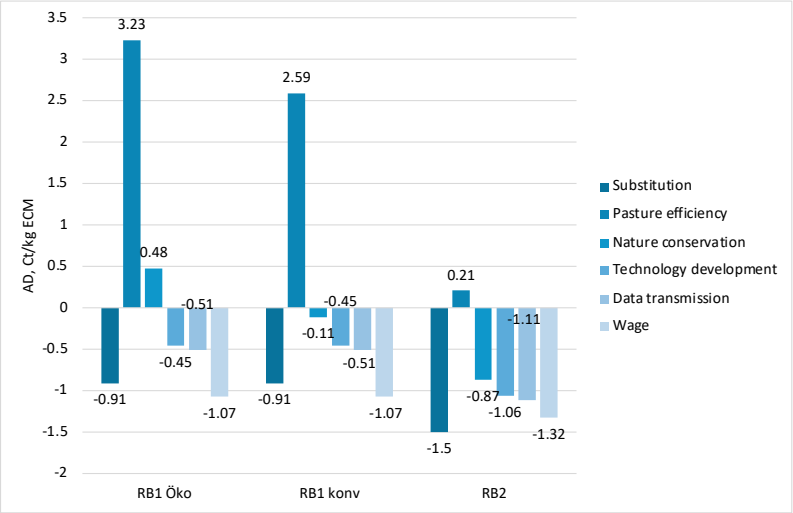

Abbildung 4. Jährliche Differenz (AD) in den Kosten für die Grünlandbewirtschaftung der Realbetriebe durch eine Umstellung vom EPF- auf ein VF-Weideproduktionssystem (mit äußerem Elektrozaun) nach Szenarien, in ct/kg ECM.

Quelle: eigene Berechnungen

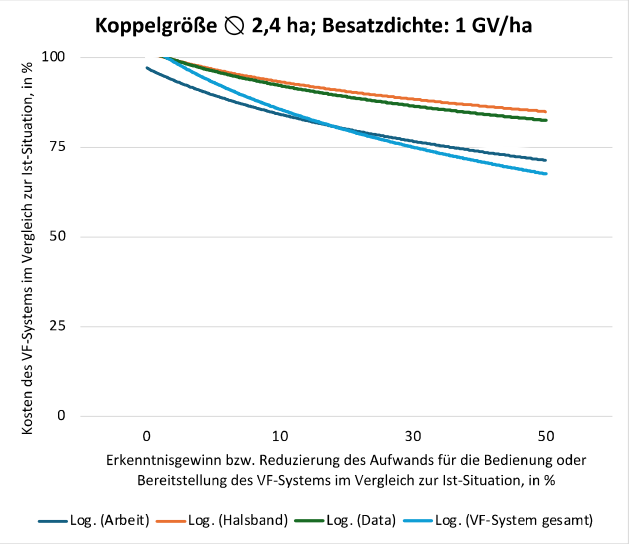

Abbildung 5 A: Lernkurve bei Einsatz des VF-Systems für ein kleinstrukturiertes, intensives Weidesystem

Quelle: eigene Darstellung

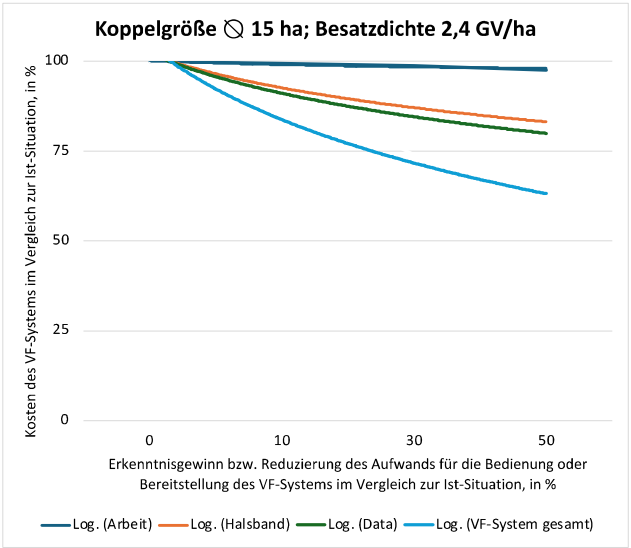

Abbildung 5 B: Lernkurve bei Einsatz des VF-Systems für ein intensives Weidesystem mit großen und zusammenhängenden Koppeln

Quelle: eigene Darstellung

Die Lernkurven für verschiedene Weidesysteme sind in Abbildung 5 skizziert. Es ist zu sehen, dass auch VF-

Systeme eine klassische Lernkurve aufweisen. Zunächst sind die Kosten und der Aufwand als hoch einzustufen, gefolgt von einem deutlichen Rückgang mit zunehmender Erfahrung. Dieser Verlauf entspricht dem typischen "S-Kurven-Modell" der technischen Adoption.

Der größte "Lerneffekt" im kleinstrukturierten Weidesystem (siehe Abbildung 5A) besteht in der Reduzierung der Gesamtproduktionskosten für das VF-System (einschließlich Halsbänder und Datenmanagement). Diese sind mit zunehmender Akzeptanz und Verbreitung dieser Technologie zu erwarten. Die separaten Lerneffekte für die Halsbänder und das Datenmanagement sind dagegen vergleichsweise moderat. Wie bereits bei den Weidesystemmodellen festgestellt wurde, lässt sich auch hier eine hohe anfängliche Arbeitslast sowie ein signifikantes Rationalisierungspotenzial durch Lernprozesse prognostizieren. Diese Beobachtung lässt sich auch auf andere Technologien übertragen, wie beispielsweise Melkroboter. Dort ist nach einer kurzen Einarbeitungszeit ein signifikanter Anstieg der Betriebseffizienz zu verzeichnen (vgl. Timmermann et al., 2008; Borches et al., 2016). Eine Analyse der Lernkurven für ein intensives Weidesystem mit großen zusammenhängenden Flächen (siehe Abb. 5 B) zeigt, dass sich auch hier ein Rückgang der Gesamtkosten des Systems mit wachsender Erfahrung einstellt. Dieser fällt jedoch etwas geringer aus.

Die Ergebnisse weisen grundsätzlich darauf hin, dass der Lerneffekt im kleinteiligen System ausgeprägter ist, insbesondere in Bezug auf den Arbeitsaufwand. Diese Tendenz lässt sich womöglich durch die anfängliche Arbeitsintensität kleinteiliger Systeme erklären, die sich durch einen hohen Grad an Optimierungspotenzial auszeichnen, welches durch den Erwerb von Erfahrung besonders stark ausgeprägt wird. In größeren Weidesystemen ist das Einsparpotenzial geringer, insbesondere bei der Arbeitszeit. Dies lässt auf eine geringere Komplexität oder einen geringeren Bedienungsaufwand schließen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass größere Systeme (vgl. Abb. 5 B) aufgrund von Skaleneffekten tendenziell über geringere Fixkosten pro Einheit verfügen. Demzufolge ist ihr Spielraum für lernbedingte Effizienzgewinne als begrenzt zu betrachten. Es konnte in anderen Bereichen festgestellt werden, dass große Betriebe in höherem Maße von einer Kapazitätsauslastung profitieren, während kleinere Betriebe eher von Lerneffekten in der Organisation und Arbeitsroutine profitieren (vgl. Wen und Chatalova, 2021).

Tabelle 4: Veränderungen in einigen Kostenkategorien nach der Umstellung auf ein VF-System.

Kostenfaktor	**Stallhaltung zur Weide VF (I)[1]**	**Weide EPF zur Weide VF (I)**	**Stallhaltung zur Weide VF (II)[2]**	**Weide EPF zur Weide VF (II)**
Tierüberwachung	↑↓	↓	↓	↓↓
Arbeitsaufwand*	↓	↓	↓↓	↓↓
Tierarzt	↓	→	↓↓	↓↓
Besamung durch frühzeitige Brunsterkennung	→	→	↓	↓↓
Laufende Ausgaben**	↓	↓	↓↓	↓↓
Fläche***	→	↓	↓	↓↓

→ Die Kosten bleiben gleich

↓ Die Kosten werden sinken

↓↓ Die Kosten werden stark sinken

↑↓ Die Kosten können sich durch die vorgenommenen Managementanpassungen nach der Umstellung auf die Weidehaltung erhöhen oder reduzieren

* Einschließlich der Kosten für die Installation und Wartung des Zauns

** Arbeits- und Maschinenkosten für die Futterkonservierung und Grünlandpflege

***Durch die verbesserten Naturschutzmaßnahmen und erhöhten Ausgleichszahlungen

[1]VF-System auf dem aktuellen Stand der Technik

[2]VF-System nach der Technologieentwicklung (z. B. Verbesserung der Algorithmen zur Überwachung der Tiergesundheit und des Tierschutzes, Präzision usw.)

Quelle: Eigene Angaben; Butler et al., 2006; Leach et al., 2012; Weis und Leip, 2012; Jachowski et al. 2014; Enri et al., 2017; Campbell et al., 2018; Marini et al., 2018; Byabazaire et al., 2019; Umstätter et al., 2019; Debauche et al., 2021; Wang et al., 2022; Kaur et al., 2023.

Betrachtet man die vorhandene Literatur und teilweise die Ergebnisse aus dem GreenGrass-Projekt insgesamt, so zeigt sich, dass die Umstellung auf ein VF-System („Pasture VF (I)" und „Pasture VF (II)") für Betriebe mit bestehender Weidehaltung zu einer Optimierung der Tierüberwachung, des Futtermittelkaufs und der Betriebskosten führen könnte (siehe Tabelle 4). Die technologische Weiterentwicklung, die sich durch eine erhöhte Genauigkeit, Robustheit und die Einbindung von Algorithmen zur Überwachung der Tiergesundheit und des Tierwohls auszeichnet, könnte in Kombination mit einem qualitativen Management dazu beitragen, die Kosten für Tierarzt und Besamung zu senken, indem beispielsweise Lahmheit und Brunst frühzeitig erkannt werden (Leach et al., 2012; Byabazaire et al., 2019; Wang et al., 2022). Diese Aussage trifft ebenfalls auf Betriebe mit vollständig stallgeführter Milchviehhaltung zu, die auf Weidehaltung mit VF umstellen würden. Darüber hinaus könnten solche Betriebe bereits mit dem aktuellen Stand der Technik die Tierarztkosten senken, da Weidesysteme Vorteile für die Tiergesundheit und das Tierwohl bieten (vgl. Charlton et al., 2017). Des Weiteren würden auch Betriebe, die Stallhaltungssysteme implementiert haben, von der Senkung der Betriebskosten durch die Umstellung auf Weidehaltung mit VF profitieren.

1.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Umstellung von traditionellen EPF-Weidesystemen auf VF-Technologie zahlreiche Vorteile bietet: präzises Weiden, Optimierung der Rotationsweidewirtschaft, datengestützte Entscheidungsfindung für die optimierte Weidemanagement und reduzierte Wartungskosten für physisch installierte Zäune. Allerdings ist der einfache Ersatz von EPF durch VF aufgrund der derzeit noch hohen Anschaffungskosten ohne eine Anpassung der gesamten Weidemanagementmethoden noch nicht wirtschaftlich rentabel. Es gibt jedoch mehrere Anpassungsmöglichkeiten, die den wirtschaftlichen Nutzen der VF-Technologie erhöhen oder rentabel gestalten könnten. Dabei beeinflussen Parameter/Faktoren wie die Arrondierung der Weideflächen, Besatzdichte, Flächengröße, Weidezeit, Weidenutzung, Pachtkosten und Subventionszahlungen für Naturschutzmaßnahmen das wirtschaftliche Potenzial der VF-Technologie innerhalb der untersuchten Szenarien in den verschiedenen Weidesystemmodellen erheblich.

Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, dass eine Erhöhung des Weidefutters in allen untersuchten PS das VF (das die inneren Elektrozäune ersetzt) kosteneffizienter macht. Um den Anteil von Weidegras in der Tagesration zu erhöhen, könnte der Landwirt beispielsweise die tägliche Weidezeit verlängern (Szenario „Full pasture"). Diese Strategie eignet sich gut für intensive Weidewirtschaftssysteme und für kleine Betriebe, in denen eine komplexe Weidebewirtschaftung mit sehr arbeitsintensivem Einzäunen der Weiden erforderlich ist, um den hohen Energiebedarf der heutigen Hochleistungskühe bei grasbasierter Fütterung zu decken. Sofern zusätzliche, bislang nicht nutzbare Grünlandflächen für die Bewirtschaftung hinzugewonnen werden könnten, sind noch größere Vorteile denkbar. Darüber hinaus sind Entscheidungen hinsichtlich der Bewirtschaftungsart zu treffen, um den Verlust an Milchleistung durch die Verlängerung der Weidezeit zu minimieren. Andernfalls würden die durch die VF erzielten Einsparungen bei den Arbeitskosten, durch die entgangenen Erlöse aus dem Milchverkauf kompensiert.

Eine weitere Möglichkeit, den Anteil des Weidefutters zu erhöhen, besteht darin, das verfügbare (hochwertige) Futter präziser zu nutzen (Szenario „Pasture Efficiency"). Das VF-System ermöglicht eine präzise Steuerung der Weideflächennutzung. Landwirt:innen können bestimmte Weidezonen festlegen und so sicherstellen, dass die Tiere die Weide gleichmäßiger abgrasen. Dies trägt zur Optimierung der Futterverwertung bei und führt zu einer höheren Produktion des Grünlands. Diese Strategie wäre bspw. für extensive Milchviehbetriebe mit geringer Besatzdichte vorzuziehen. Die Vernetzung mit anderen digitalen Technologien, wie beispielsweise einer automatisierten Grünlandertragsschätzung, kann zusätzliches Potenzial zur Verbesserung der Rentabilität bieten. Die digitale Grünlandertragsschätzung könnte Weideverluste reduzieren und somit sowohl Kraftfutterkosten als auch Landkosten einsparen. Allerdings sollten die Hauptnachteile von VF (z. B. Kommunikationsprobleme mit GPS und Mobilfunkempfang in einigen Gebieten) berücksichtigt werden. Die topografischen Gegebenheiten des Geländes (z. B. Hanglagen und Neigungen der Weiden, Wasserhindernisse sowie dichte Büsche oder bewaldete Flächen) stellen Einschränkungen und Herausforderungen dar. Dieses Problem könnte durch den Einsatz ergänzender oder redundanter Technologien zur Unterstützung des GPS-Signals gelöst werden (Grejner-Brezinska und Kealy, 2004). Dazu könnten zusätzliche Ortungstechnologien wie Radiofrequenzidentifikation (RFID) oder Trägheitsnavigationssysteme zur Verbesserung der Standortgenauigkeit eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Implementierung von Differential-GPS (DGPS). Dabei wird die Genauigkeit von GPS-

Positionen durch die Verwendung eines Netzwerks fester, bodengestützter Referenzstationen zur Korrektur von GPS-Satellitensignalen verbessert. Es sind jedoch weitere Forschungen in diesem Bereich erforderlich, um die VF-Technologie auch in topografisch schwierigen Gebieten wie Bergregionen zuverlässig einsetzen zu können.

Die Steigerung der Futterverwertung ist auch für extensive Weidesysteme von großer Bedeutung, da dadurch ein Teil der Weidefläche für Naturschutzmaßnahmen erhalten bleiben könnte, ohne dass dadurch die Futterkosten steigen. Dies könnte zu höheren GAP-Zahlungen pro Hektar im Szenario „Nature Conservation" führen. Diese Untersuchungen zeigen, dass der Anteil der Weideflächen mit Naturschutzmaßnahmen einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes eines VF-Systems haben kann, je nach regionaler und betrieblicher Kulisse. Zu beachten ist jedoch, dass eine sorgfältige Planung, Umsetzung und kontinuierliche Bewirtschaftung Voraussetzungen dafür sind, dass VF-Systeme die Ökosystem- bzw. Nachhaltigkeitsleistungen wirksam fördern können. Die Auswirkungen hängen auch von der konkreten Ausgestaltung der Ökosystemleistungen ab, die durch den Einsatz von VF-Systemen erbracht werden könnten, beispielsweise die Erhaltung der biologischen Vielfalt oder die Verbesserung der Wasserqualität durch Verringerung der Bodenerosion und des Nährstoffabflusses in Gewässer oder die Verhinderung von Überweidung in sensiblen Gebieten bzw. Lebensräumen sowie die Verbesserung der Kohlenstoffbindung in Böden und Vegetation. Daher sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die Art der Ökosystem- bzw. Nachhaltigkeitsleistungen zu analysieren, die durch VF unterstützt werden könnten, sowie die Höhe der Zahlungen, die erforderlich sind, um Landwirte zur Umsetzung dieser zusätzlichen Schutzmaßnahmen zu motivieren.

In diesem Teilvorhaben wurde zudem die Frage untersucht, ob durch den Einsatz eines VF-Systems mehr Betriebe auf die Weidehaltung umstellen oder die bestehende Weidedauer erhöhen können. Im Vergleich zu vollständig stallgeführten Milchviehhaltungssystemen als Status quo könnte ein VF-System wirtschaftliche Vorteile bringen, indem es die Umstellung auf Weidehaltung ermöglicht. Zu den wirtschaftlichen und arbeitsbezogenen Effizienzvorteilen der Weidehaltung zählen in diesem Fall ein saisonaler Wegfall an stallgebundene Arbeiten in der Weidesaison wie Fütterung, Entmistung, Einstreu aber auch geringer Futterbedarf, verbunden mit geringerem Erzeugungsbedarf. Nach der Umstellung von der Stallhaltung auf Weidehaltung sind jedoch Anpassungen erforderlich, um einen potenziellen Rückgang der Milchleistung so gering wie möglich zu halten und den Betriebs- und Futtermittelaufwand zu optimieren. Darüber hinaus sollten die verbleibenden Fixkosten, die beispielsweise mit der Infrastruktur, möglichen automatisierten Melk- und Fütterungssystemen sowie Maschinen verbunden sind, bei der Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen einer Umstellung berücksichtigt werden.

Grundsätzlich könnten Betriebe, die über ausreichend zusammenhängende Grünlandflächen verfügen, auf Weidehaltung umstellen. Trotzdem entscheiden sich viele Betriebsleiter dagegen. Ein Grund dafür sind sogenannte weiche Faktoren, wie Unsicherheiten beim Management oder eine zusätzliche Arbeitsbelastung. Die VF-Technologie kann dabei helfen, solche Hemmnisse zu verringern und eine Umstellung attraktiver zu machen. VF ermöglicht z.B. die Echtzeit-GPS-Überwachung der Kühe und macht die Tierkontrolle ähnlich effizient wie in einem Stall. Das VF-System hat außerdem den Vorteil, dass die Aus- und Umzäunung der Weideflächen vereinfacht wird. Diese beiden Vorteile des VF-Systems begegnen den Bedenken vieler Betriebsleiter:innen, dass ein Weidelandwirtschaftssystem im Vergleich zu einem hocheffizienten Stallhaltungssystem mehr Zeit für die Tierkontrolle sowie die Anpassung und Wartung der Zäune erfordert.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass die technologische Entwicklung ebenfalls eine wichtige Rolle für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die breite Einführung von VF-Systemen in der Weidehaltung spielt. Technologische Fortschritte senken die Kosten (Szenario „Technology development"), verbessern die Leistung und Effizienz (Szenario „Data transmission"), stellen datengestützte Entscheidungshilfen bereit, ermöglichen Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit, fördern den Wettbewerb und die Innovation auf dem Markt und beschleunigen so die Verbreitung der VF-Technologie. Sie bieten Milchviehhaltern zahlreiche Vorteile und tragen zu nachhaltigen landwirtschaftlichen Praktiken bei. Es ist jedoch zu beachten, dass die wirtschaftlichen Auswirkungen der Technologieentwicklung und damit der Kostensenkung in unserem PS geringer sind als die einer optimierten Weidebewirtschaftung.

Die Kostenstruktur und die Szenarioanalyse zeigen, dass die VF-Technologie zu einer weiteren Substitution von menschlicher Arbeit durch Kapital führt und Arbeitsersparnisse in der Weidebewirtschaftung ermöglicht.

Allerdings sind weitere Untersuchungen mit Langzeitversuchen zur Arbeitsintensität von VF-Systemen wichtig, um sicherzustellen, dass diese Technologie für Landwirt:innen effektiv, effizient und praktikabel ist („Wage"-Szenario). Eine detaillierte Analyse der Arbeitsintensität kann dazu beitragen, die Arbeitsprozesse zu optimieren und die Gesamteffizienz dieses Systems zu steigern. Ein besseres Verständnis der Arbeitsintensität ermöglicht die Identifizierung von Möglichkeiten, um den Zeitaufwand für die Verwaltung, Überwachung und Wartung der VF zu reduzieren. Darüber hinaus kann die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit durch technologische Anpassungen die Akzeptanz und Nutzung von VF-Systemen erhöhen. All dies könnte zu einer weiteren Senkung der mit VF-Systemen verbundenen Arbeitskosten führen.

Die durchgeführten Kosten-Nutzen-Analysen zeigen Trends auf und können Empfehlungen dafür liefern, für welche Weidemanagementsysteme und an welchen Standorten der Einsatz von VF-Systemen besonders geeignet sein könnte. Diese Arbeit weist jedoch einige Einschränkungen auf.

Eine wichtige Einschränkung ist die Annahme, dass landwirtschaftliche Betriebe über ausreichend zusammenhängende, konsolidierte Weideflächen verfügen. Daher kann nur eine eingeschränkte Anzahl an Betrieben von unseren Ergebnissen profitieren. Viele Betriebe verfügen nicht über ausreichend große oder geeignete Weideflächen, um den Bedarf ihres Viehbestands zu decken. Dies könnte die Bewegungsfreiheit der Tiere einschränken, die Effizienz der Beweidung verringern und die Arbeit der landwirtschaftlichen Mitarbeiter erschweren. Eine unzureichende oder ineffiziente Beweidung kann sich negativ auf die Produktivität des Viehbestands auswirken und somit die Erträge der Betriebe beeinträchtigen. Betriebe mit nicht zusammenhängenden Weideflächen sind möglicherweise gezwungen, zusätzliches Futter wie Heu, Silage oder Kraftfutter zu kaufen, um den Nährstoffbedarf ihrer Tiere zu decken. Zudem können Kosten für den Bau von Zäunen oder anderer Infrastruktur zur Bewirtschaftung der Weiden und zur Kontrolle der Tiere entstehen. Dies kann zu höheren Investitionskosten führen. Daher sollte die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von VF-Systemen in solchen Betrieben weiter untersucht werden.

Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass die Feldversuche mit dem Einsatz eines VF-Systems bei Rindern im GreenGrass Projekt nur wenige Wochen und nicht die gesamte Weidesaison umfassten. Darüber hinaus wurde das VF-System nicht von den Landwirten selbst, sondern von geschultem Personal angewendet. All dies könnte zu Abweichungen bei der Arbeitsintensität beim Einsatz der VF-Technologie in realen Betrieben und während der gesamten Weidesaison führen. Dieses Problem konnte bei der Erstellung der Lernkurven teilweise gelöst werden. Darüber hinaus konnte die Haltbarkeit der VF-Halsbänder nicht getestet werden.

Bei der Übertragung dieser Ergebnisse auf reale Betriebe ist außerdem zu beachten, dass diese möglicherweise nicht über eine konstante Weidefläche oder die Möglichkeit zur Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Weidefläche verfügen und andere Besatzdichten als in den berechneten Szenarien aufweisen. Des Weiteren haben sie eine begrenzte Stallkapazität. Dies wurde durch den Vergleich der Ergebnisse zwischen Weidesystemmodellen und Realbetrieben bestätigt. Darüber hinaus würden Betriebsleiter vermutlich bei der Umstellung auf digitale Technologien individuelle Anpassungsstrategien wählen, die durch die Berechnungen nicht vollständig erfasst werden können. Dies würde zu Abweichungen bei den AD im Vergleich zu diesen Untersuchungsergebnissen führen. Die Trends und Empfehlungen zur Steigerung der Rentabilität eines weidebasierten Milchviehhaltungssystems in einer bestimmten Region mit einem VF-System würden jedoch unverändert bleiben.

Unabhängig von den genannten Einschränkungen der Analyse und ihrer Ergebnisse ist festzuhalten, dass das VF eine außerordentlich vielversprechende Technologie darstellt, die ein hohes betriebswirtschaftliches Potenzial aufweist, insbesondere wenn die Technologie weiter in der Funktionalität aber auch in den Herstellungs- und Wartungskosten verbessert wird. Auch die Integration weiterer Funktionalitäten, wie z. B. Nachhaltigkeitsleistungen, versprechen zusätzliche positive wirtschaftliche Effekte. Auch aus diesen genannten Gründen ist die weitere Forschung an und mit dieser Technologie sehr vielversprechend.

Literaturquellen

AfSBB (2022): Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland im Land Brandenburg 2022.

Agethen, K. (2020): Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Ein Überblick.

Ahlhorn, F., Bormann, H., Giani, L., Klaassen, K., Klenke, T., Malsy, M. & Restemeyer, B. (2011): Klimasichere Region Wesermarsch–Die Zukunft der Wasserwirtschaft. Erste Schritte auf dem Weg zu einer Klimaanpassungsstrategie für den Landkreis Wesermarsch.

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2023): Viehbestände im Land Brandenburg 3. November 2022.

Borchers, M. R., Chang, Y. M., Tsai, I. C., Wadsworth, B. A., Bewley, J. M. (2016): A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. Journal of Dairy Science, 99(9), 7458–7466. DOI: 10.3168/jds.2016-10940

Brandenburg, L. (2002): Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. Heft1, 2, 2002.

Butler, Z., Corke, P., Peterson, R., Rus, D. (2006): From robots to animals: virtual fences for controlling cattle. The International Journal of Robotics Research, 25(5-6), 485-508. https://doi.org/10.1177/0278364906065375

Byabazaire, J., Olariu, C., Taneja, M., Davy, A. (2019): Lameness Detection as a Service: Application of Machine Learning to an Internet of Cattle. 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-6. https://doi.org/10.1109/ccnc.2019.8651681

Campbell D.L.M., Haynes, S.J., Lea, J.M., Farrer, W.J., Lee, C. (2018): Temporary Exclusion of Cattle from a Riparian Zone Using Virtual Fencing Technology. Animals 9, 1-12. https://doi.org/10.3390/ani9010005

Charlton, G., Rutter, S. (2017): The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review. Applied Animal Behaviour Science, 192, 2-9. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.015

Danius, L. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf das Grünland–am Beispiel der Flachland-Mähwiese und Pfeifengraswiese. ANLiegen Nat, 43(2), 47-58.

Debauche, O., Elmoulat, M., Mahmoudi, S., Bindelle, J., Lebeau, F. (2021): Farm animals' behaviors and welfare analysis with AI algorithms: A review. Revue D Intelligence Artificielle, 35(3), 243-253. https://doi.org/10.18280/ria.350308

Destatis (2024): Agrarstrukturerhebung 2023. Landwirtschaftliche Betriebe – Viehhaltung. Online: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publikationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/statistischer-bericht-viehhaltung-2030213239005.html. Letzter Zugriff: 30.06.2024.

Drahorad, W. und Raifer, B. (2004): Wasser und Nährstoffaufnahme. In Boden und Pflanzenernährung im Obstbau, Weinbau und Bioanbau (pp. 59-66). Versuchszentrum Laimburg/Südtiroler Beratungsring für Obst-und Winbau.

FSO. (2021a): Viehhaltung der Betriebe. Landwirtschaftszählung 2020. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Fachserie 3 Reihe 2.1.3, 2021. Statistisches Bundesamt (Federal Statistical Office)

FSO. (2021b): Stallhaltung, Weidehaltung. Landwirtschaftszählung 2020. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Statistisches Bundesamt (Federal Statistical Office)

Guyomard, H., Pinto-Correia, T., Rouet-Leduc, J. (2022): Why and how to support the supply of non-provisioning ecosystem services by European grasslands through the Common Agricultural Policy? Grassland at the heart of circular and sustainable food systems, 3.

Hamidi, D., Hütt, C., Komainda, M., Grinnell, N.A., Horn, J., Riesch, F. ... Isselstein, J. (2023): Grid grazing: A case study on the potential of combining virtual fencing and remote sensing for innovative grazing management on a grid base. Livestock Science, 278, 105373. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105373

Heidecke, C., Frühauf, C., Krengel-Horney, S. & Söder, M. (2021): Klimafolgen und Klimaanpassungsoptionen in der Landwirtschaft in Deutschland - ein Überblick. Der kritische Agrarbericht : Hintergrundberichte und Positionen zur Agrardebatte 2021, 6–11.

Jachowski, D.S., Slotow, R., Millspaugh, J.J. (2014): Good virtual fences make good neighbors: opportunities for conservation. Animal Conservation, 17(3), 187-196. https://doi.org/10.1111/acv.12082

Kaiser, K. und Hattermann, F. F. (2021): Auf dem Weg zur" Steppe"? Der landschaftswasserhaushalt in Brandenburg. Berlin-Brandenburger Naturmagazin, 35(1), 4-10.

Kaur, U., Malacco, V.M., Bai, H., Price, T.P., Datta, A., Xin, L.…Voyles, R.M. (2023): Invited review: integration of technologies and systems for precision animal agriculture—a case study on precision dairy farming. Journal of Animal Science, 101. https://doi.org/10.1093/jas/skad206

Kiefer, L., Menzel, F., Bahrs, E. (2014): The effect of feed demand on greenhouse gas emissions and farm profitability for organic and conventional dairy farms. Journal of Dairy Science, 97(12), 7564-7574. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8284

KLV (2014): Zahlen, Daten Fakten zur Landwirtschaft in der Wesermarsch. Kreislandvolkverband Wesermarsch, 2014.

KTBL (2023): MaKost - Maschinenkosten und Reparaturkosten. Web-Anwendung.

Lakner, S., Zinngrebe, Y., Koemle. D. (2020): Combining management plans and payment schemes for targeted grassland conservation within the Habitats Directive in Saxony, Eastern Germany. Land Use Policy, 97, 104642. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104642

Leach, K.A., Tisdall, D.A., Bell, N.J., Main, D.C.J., Green, L.E. (2012): The effects of early treatment for hindlimb lameness in dairy cows on four commercial UK farms. In: The Veterinary Journal 193 Nr. 3, S. 626-632. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.043

Lee, C., Campbell, D.L. (2021): A Multi-Disciplinary Approach to Assess the Welfare Impacts of a New Virtual Fencing Technology. Frontiers in Veterinary Science, 8, 111. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.637709

LELF (2021): Datensammlung für die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz, Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung: Frankfurt (Oder), Germany, 2021.

LPV Göttingen (2024): Aktionsprogramm "Artenreiches Grünland Südniedersachsen". Landschaftspflegeverband Landkreis Göttingen e.V.

LSN (2021): Landesamt für Statistik Niedersachsen. Informationen für die Ernte- und Betriebsberichterstatter 8/2021.

LWK Niedersachsen (2017): Landwirtschaftlicher Fachbeitrag zum Regionalen Raumordnungspro-gramm des Landkreises Wesermarsch – 2016. Landwirtschaftskammer Nidersachsen, Oldenburg.

Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S., Lee, C. (2018): Controlling within-field sheep movement using virtual fencing. Animals, 8(3), 31. https://doi.org/10.3390/ani8030031

ML Niedersachsen (2021): Niedersächsische Ackerbau-und Grünlandstrategie.

MLUK (2023). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) Brandenburg. Neue GAP-Förderperiode ab 2023. https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/landwirtschaft/agrarpolitik/neue-gap-foerderperiode-ab-2023/#. Accessed on 13.12.2023.

O'Donoghue, B.G. (2022): Pioneering Precision Livestock Management (Virtual Fencing) in Ireland. A review of a 3-year pilot with focus on the environment, the livestock and the farmers. Irish Wildlife Manuals, No. 140. National Parks and Wildlife Service, Department of Housing, Local Government and Heritage, Ireland.

REK (2023): Regionales Entwicklungskonzept LEADER 2023-2027 der Lokalen Aktionsgruppe „Wesermarsch in Bewegung".

Statistisches Bundesamt (2021): Stallhaltung, Weidehaltung. Landwirtschaftszählung 2020. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, 2021.

Timmermann, C., Heemskerk, W., Speelman, L., Hogeveen, H. (2008): Learning effects of milking robot introduction on Dutch dairy farms. Biosystems Engineering, 99(3), 393–399. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.11.011

Umstatter, C. (2011): The evolution of virtual fences: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 75(1), S. 10-22, 2011. https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.005

Wang, J., Zhang, Y., Wang, J., Zhao, K., Li, X., Liu, B. (2022): Using machine-learning technique for estrus onset detection in dairy cows from acceleration and location data acquired by a neck-tag. Biosystems Engineering, 214, 193-206. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.025

Weiss F., Leip, A. (2012): Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. Agriculture, Ecosystems & Environment 149, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.015

Wen, L., & Chatalova, L. (2021): Will transaction costs and economies of scale tip the balance in farm size in industrial agriculture? An illustration for non-food biomass production in Germany. Sustainability, 13(2), 73

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Universitäten verfügen nur über stark begrenzte Mittel sowie kaum wissenschaftliches Personal für eine nicht zweckgebundene Eigenforschung. Um das Vorhaben bearbeiten zu können, musste daher wissenschaftliches Personal eingestellt werden. Für die Lohnzahlungen insgesamt entfielen 98,3% der Zuwendung. Weiterer Mittelbedarf bestand für die Deckung von Reisekosten, die im Rahmen von Datenerhebungen auf den Praxisbetrieben und für die Teilnahme an Ergebnispräsentation und Projektpartnertreffen angefallen sind. Insgesamt betrug der Anteil für Reisekosten 1,7% des Gesamtbudgets.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie (i) der im Projektantrag detailliert dargelegten Arbeitsplanung entsprachen und (ii) die im Meilenstein-

und Verwertungsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewandt werden.

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die im Rahmen des GreenGrass-Projekts (2019–2024) gewonnenen Erkenntnisse zählen zu den ersten, die die wirtschaftliche Rentabilität einer Umstellung auf ein VF-System in unterschiedlichen Weidesystemen, die für den europäischen Raum typisch sind, beschreiben. Dabei zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit der VF-Technologie von mehreren Managementfaktoren abhängt, darunter Weidezeit, Weideertrag und Besatzdichte. Diese Faktoren sind für Fachleute im Bereich der Weidewirtschaft von Bedeutung. VF bietet zwar das Potenzial für Arbeitseinsparungen und eine optimierte Weidebewirtschaftung, ohne wesentliche Managementänderungen ist es nach gegenwärtigem Stand der Technik noch keine kosteneffiziente Alternative zu herkömmlichen Zaunsystemen. Manager in gut organisierten, weidebasierten Systemen sollten das Potenzial von VF zur Verbesserung der Überwachung von Tiergesundheit und Tierwohl berücksichtigen, da dies die Gesamtproduktivität der Herde steigern kann. Darüber hinaus sollten Strategien zur Einführung von VF andere digitale Tools integrieren, um den wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen zu maximieren und gleichzeitig die Betriebskosten zu minimieren.

Die Implementierung der VF-Technologie erleichtert die präzise Regulierung von Weidemustern, wodurch Überweidung reduziert und die Effizienz der Weideressourcen erhöht wird. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass VF durch die Förderung besserer Landnutzungspraktiken ein entscheidendes Instrument zur Förderung der ökologischen Nachhaltigkeit in graslandbasierten Ökosystemen sein kann. Dennoch sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die ökologischen Auswirkungen von VF zu bewerten, insbesondere im Hinblick auf seine Fähigkeit, Ökosystem- bzw. Nachhaltigkeitsleistungen in bewirtschafteten Graslandschaften zu erzielen. Diese Analysen sind Teil zur Fortsetzung des Projekts (bzw. beim Antrag auf Phase 2). An diesen Punkt knüpft das Arbeitspaket 4.1 „Monetarisierung bedeutender externer Effekte bei der Einführung innovativer Weidesysteme in der Rinderhaltung" des GreenGrass-2.0-Projekts an, das von der Universität Hohenheim betreut wird. Dieses geht über die klassische betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Betrachtung hinaus und rückt die gesamtheitliche Bewertung nachhaltiger Weidesysteme, z. B. mittels True-Cost-Accounting (TCA) oder vergleichbarer Methoden in den Fokus. Aufbauend auf den im ersten Projekt gewonnenen Erkenntnissen werden nun zusätzliche ökologische und gesellschaftliche Werte wie Biodiversität, Kohlenstoffbindung oder Landschaftsoffenhaltung systematisch erfasst, bewertet und monetarisiert, soweit dies möglich ist. Digitale Technologien wie „PastureGuide" oder Fernerkundungssysteme ermöglichen die präzise Erhebung umfangreicher Primärdaten. Diese dienen nicht nur zur Analyse des aktuellen Zustands, sondern auch zur Prognose langfristiger Effekte unterschiedlicher Weidebewirtschaftungsstrategien.

Durch diese methodische Erweiterung wird deutlich, dass sich der Nutzen innovativer Weidetechnologien nicht ausschließlich an kurzfristigen Kostenreduktionen messen lässt, sondern dass auch die langfristigen, gesellschaftlich relevanten Leistungen der Landwirtschaft, etwa im Natur- und Klimaschutz, berücksichtigt werden müssen. GreenGrass 2.0 verfolgt somit das Ziel, eine integrierte Bewertungsgrundlage für nachhaltige landwirtschaftliche Entscheidungen zu schaffen, die betriebswirtschaftliche und ökologische Perspektiven systematisch miteinander verknüpft.

5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keine.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Schriftliche Beiträge

Kiefer A. (2022). Opportunities for digital transformation in small-scale pasture based full-time and part-time cattle farms in South Germany. Internationale Weidetagung, 7. -8. Juni 2022, Bozen (Italien)

Kiefer, A.; Kiefer, L.; Heinrich, F., Bahrs, E. (2022). Beurteilung des ökonomischen Potenzials des virtuellen Zaunsystems in der deutschen Milchviehhaltung am Beispiel Brandenburgs. In: Referate der 42. GIL-Jahrestagung „Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft"

Kiefer, A., Isselstein, J. & Bahrs, E. (2025). Economic Assessment of Virtual Fencing Technology in Dairy Systems. Model Study in Temperate Climates. Rangeland Ecology & Management, Volume 103, 2025, Pages 417-430, ISSN 1550-7424, https://doi.org/10.1016/j.rama.2025.09.014.

Vorträge

Bahrs, E. (2021). Die zukünftige Nutzung unserer Agrarflächen. VDLUFA-Kongress, Speyer, 14.09.2021.

Bahrs, E. (2021). Inwertsetzungsoptionen von Ökosystemleistungen für eine nachhaltigere Landbewirtschaftung. Loccumer Landwirtschaftstagung, 06.02.2021 (online)

Bahrs, E. (2021). Möglichkeiten und Grenzen neuer landwirtschaftlicher Anbausysteme. Studienrichtungskolloquium Pflanzenproduktion der Universität Göttingen, 1.12.21

Bahrs, E. (2021). Weideprojekte – Weidesysteme – Wirtschaftlichkeit, zwei Projektbeispiele zu gegenwärtigen und zukünftigen Optionen verbesserter Weidenutzungen mit hohen Ökosystemleistungen und ihrer Inwertsetzung. Weidekongress 2021 des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft sowie der Akademie für Umwelt- und Naturschutz Baden-Württemberg, 24.02.2021 (online).

Kiefer, A., Kiefer, L., Heinrich, F., und Bahrs, E. (2022). Beurteilung des ökonomischen Potenzials des virtuellen Zaunsystems in der deutschen Milchviehhaltung am Beispiel Brandenburgs. 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft

Bahrs, E. (2022). Innovative Landbausysteme – Auf dem Weg zum Green Deal, Vortrag auf dem 4. Bioökonomiekongress am 26.9.22 in Stuttgart

Bahrs, E. (2022). Landwirtschaft 4.0 – Welche Herausforderungen ergeben sich für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion? Vortrag während des Stuttgarter Wissenschaftsfestivals am 28.6.22 an der Hochschule der Medien

Bahrs, E. (2022). Ökologisch und sozial sowie wirtschaftlich – lässt sich das in der Landwirtschaft vereinen? Vortrag zur Tagung des MLR „EIP-Agri – für ein Mehr an Innovation und Nachhaltigkeit“ am 19.10.22 in Stuttgart.

Bahrs, E. (2022). Stadt braucht Land – Nachhaltige Landwirtschaft und gesunde Ernährung. Paneldiskussion auf Initiative der Baden-Württemberg Stiftung im Kontext von „Gesellschaft und Natur“, Generationenpakt Nachhaltigkeit, 25.7.22

Bahrs, E. (2022). Vermarktungspotenziale von Dienstleistungen der Rinderhaltung. Vortrag im Rahmen des Sächsischen Milchrindtags, Köllitsch/Online, 2.11.22

Bahrs, E. (2022). Weideprojekte-Weidesysteme-Wirtschaftlichkeit. In: Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.). Weiden! Wege zur Bewahrung der Biodiversität. S. 215-224, Band 59, Stuttgart

Kiefer A. (2023). Wie sieht innovatives Grünlandmanagement der Zukunft aus? Natur- und Landwirtschaftstag des Veränderungsdialogs Weidetierhaltung mit Zukunft – Landwirtschaft, Naturschutz und Handel gemeinsam auf dem Weg. 26.05.2023, Bernau im Schwarzwald

Kiefer L. (2023). Naturschutz im Grünland und erfolgreiche Landwirtschaft – lässt sich das verbinden? Natur- und Landwirtschaftstag des Veränderungsdialogs Weidetierhaltung mit Zukunft – Landwirtschaft, Naturschutz und Handel gemeinsam auf dem Weg. 26.05.2023, Bernau im Schwarzwald

Anhang 1

Tabelle 1. Grundannahmen für eine Kosten-Nutzen-Analyse innerhalb von vier Weidesystemmodellen (PS).

Annahme	**Einheit**	**CONF**	**EXT**	**INTs**	**EXTs**
Rückgang der Milchleistung durch Umstellung auf Vollweidehaltung (20 Stunden/Tag)*	%	25	13	13	13
Äußerer Elektrozaun	Typ	stationär			
Materialkosten	Euro/km	1997,5			
Arbeitszeit	h/km	10		14	
Instandhaltung von Zäunen, Materialkosten	Euro/km/Jahr	227,95			
Innerer Elektrozaun	Typ	mobil			
Materialkosten	Euro/km	332,5			
Arbeitszeit	h/km	1,9		2.4	
Instandhaltung von Zäunen, Materialkosten	Euro/km/Jahr	48,95			
Kosten für Saatgut	Euro/ha	29,6	8,8	8,8	8,8
Kosten für Düngemittel	Euro/ha	404,6	317,8	526,7	317,8
Kosten für Pestizide	Euro/ha	8,6	8,4	8,4	8,4
Variable Maschinenkosten	Euro/ha	15,68	11,76	12,42	12,42
Verteilung von Düngung	Euro/m3	5			
Maschinenkosten (Ernte/Mähen), <20ha	Euro/ha/Jahr	1025	768	922	768
Maschinenkosten (Ernte/Mähen), >20ha	Euro/ha/Jahr	508	381	457	381
Ernteverluste beim Mähen und Silieren	%	4			
Zeitaufwand, Ernten oder Mähen, <20ha	h/ha	12,7			
Zeitaufwand, Ernten oder Mähen, >20ha	h/ha	9,7			
Maschinenkosten (Nachpflege der Weide)	Euro/h	31,86			
Arbeitszeitbedarf (Nachpflege der Weide)	h/ha	1,2			
Pachtpreis	Euro/ha	152	296		
Kosten der Entwässerung	Euro/ha	k.A.	k.A.	30	
Futtermittelkosten (Zukauf)	Euro/t	139	126		

* Es gibt mehrere Studien (u. a. Arnott et al., 2015), die den Unterschied in der Milchleistung zwischen Systemen mit kompletter Stallhaltung und Kraftfutterangebot und Systemen mit Weidehaltung untersuchen. Die Spanne reicht dabei von 0 kg/Tag bis 7,6 kg/Tag. Für unsere Studie haben wir den Durchschnitt ermittelt und in Prozent umgerechnet.

Quelle: Eigene Angaben der Living Labs; LELF, 2021; BFS, 2021a; BFS, 2021b; AfSBB (2022); LSN (2021); ML Niedersachen (2021); KTBL, 2023.

Tabelle 2. Anschaffungs- und laufende Kosten für ein VF-System.

Parameter	Einheit	Wert	Anmerkungen
Anschaffungskosten			
Halsband für Rinder	Euro/Kragen	300	Ein Halsband pro Kuh; die wirtschaftliche Nutzungsdauer beträgt 6 Jahre
Zusätzliche Batterien	Euro/Batterie	80	Eine zusätzliche Batterie pro 10 Batterien*
Ladegerät	Euro/Ladegerät	100	Eine für 5 Batterien
Basisstation	Euro/ Basisstation	300	Die Anzahl der Basisstationen hängt von der Größe und Topographie der Weide ab. Für unsere Studie haben wir angenommen, dass nur eine Station verwendet wird.
Software		kostenlos	
Einrichtungskosten einschließlich Arbeitskosten	Euro	500	Es können zusätzliche Kosten für die Kontrolle des Signals anfallen (relevant für Gebiete mit stehenden Bäumen oder Gebäuden usw.).
Schulung der Mitarbeiter	Euro/Person/a	100	Ein Workshop von ca. 4 Stunden
Laufende Kosten			
Datenvolumen / Datenpooling / Datenübertragung	Euro/kragen/a	60	
Bedienung des VF	h/Tag	1	Während der Weidezeit
Wartung und Service (inkl. Versicherung)	Euro/Dienst-leistungsauftrag	1.700	Es wird davon ausgegangen, dass für jeden Betrieb ein individueller Dienstleistungsvertrag besteht.
Weiterbildung der Mitarbeiter	Euro/Person/a	25	Ein Workshop von ca. 1 Stunde
Aktivierung der Landschaftskarten	Euro/Jahr	60	
Einstellung der virtuellen Zäune	h/Jahr	2,5	Für je 8 Paddocks
Kontrolle der Signalauslösung	h/Jahr	1,5	Für je 8 Paddocks
Zusätzliche Kosten im Zusammenhang mit der Umstellung auf ein VF-System			
Veränderung des Rinderbestandes im ersten Jahr der Umstellung	%	5	Da einige Kühe mit dem VF-System nicht zurechtkommen können
Veränderung des Rinderbestandes	%/Jahr	1	Da einige Kühe mit dem VF-System nicht zurechtkommen können
Training von Rindern im ersten Jahr der Umstellung	h	12	Zweimal täglich für 2 Stunden pro Tag / 3 Tage lang
Training von Rindern	h/Jahr	4	Ein Tag mit zwei Stunden

* Damit entladene oder beschädigte Batterien "in Echtzeit" ersetzt werden können

Quelle: eigene Angaben; www.nofence.no; Lee und Campbell, 2021; O'Donoghue, 2022; Hamidi et al., 2023.

Tabelle 3. GAP-Zahlungen, die in eine Kosten-Nutzen-Analyse innerhalb von vier Weidesystemmodellen (PS) einbezogen wurden.

Art der Zahlung	Einheit	CONF	EXT	INTs	EXTs
Basiszahlung für Nachhaltigkeit (Säule 1)	Euro/ha	157	157	157	157
Umverteilungsprämie (0 - 40 ha) (Säule 1)	Euro/ha	69	69	69	69
Umverteilungsprämie (41 - 60 ha) (Säule 1)	Euro/ha	42	42	42	42
Öko-Regelung 4 (Säule 1)	Euro/ha	-	100	-	100
Öko-Regelung 5 (Säule 1)	Euro/ha	-	225	-	225
Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (Säule 2)	Euro/ha	Aufgrund der Komplexität der möglichen Kombinationen von AECMs, die jeder einzelne Betrieb wählen kann, wurde dieser Parameter von unserer Studie ausgeschlossen. Dennoch wird dieser Parameter in der folgenden Untersuchung im Rahmen unseres Projekts berücksichtigt werden.			
Zahlungen für die Sommerweide	Euro/GVE	-	75*	75*	75*

* Für konventionelle Molkereisysteme

Quelle: eigene Angaben der Living Labs; MLUK (2023); LWK-Niedersachsen (2023).