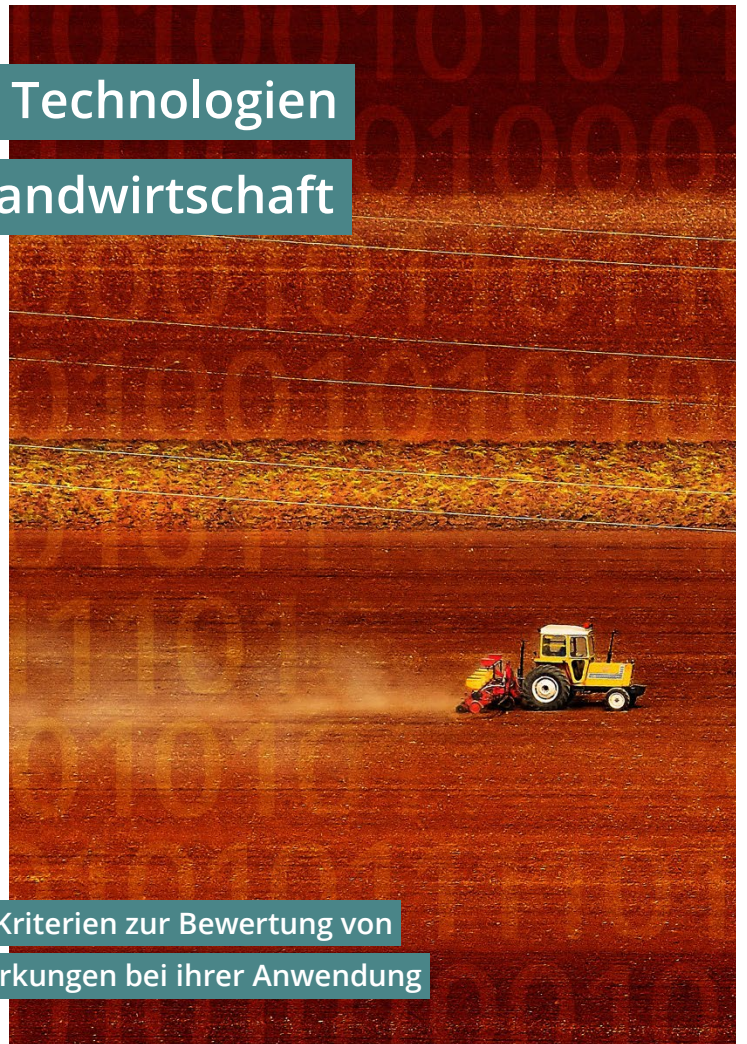


Digitale Technologien
in der Landwirtschaft

Konzept und Kriterien zur Bewertung von
Umweltauswirkungen bei ihrer Anwendung



DIGITALE TECHNOLOGIEN IN DER LANDWIRTSCHAFT

Konzept und Kriterien zur Bewertung von Umweltauswirkungen bei ihrer Anwendung

Andreas Bartel
Manuela Bürgler
Bettina Schwarzl
Elisabeth Schwaiger
Christian Fritz
Markus Herndl
Andreas Baumgarten



 HBLFA
Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft

RAUMBERG GUMPENSTEIN
RESEARCH & DEVELOPMENT

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

 LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



REPORT
REP-0845
WIEN 2023

Projektleitung Markus Herndl (HBLFA Raumberg-Gumpenstein)

Autor:innen Andreas Bartel, Manuela Bürgler, Bettina Schwarzl, Elisabeth Schwaiger
Christian Fritz, Markus Herndl (HBLFA Raumberg-Gumpenstein)
Andreas Baumgarten (AGES)

Lektorat Ira Mollay

Layout Sarah Perfler

Umschlagfoto Alexis Alexandris, Well with Nature – EEA

Auftraggeber Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft im Rahmen der LE-Clusteraktivität „Digitalisierung in der Landwirtschaft“, Geschäftszahl: BMNT-LE.1.2.6/0756-PR/4b /2019

Dank an Wir danken einer Vielzahl an Kolleg:innen für Reflexion und konstruktive Diskussion unserer Vorstellungen, insbesondere den Kolleg:innen des Clusters „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ und der Innovation Farm, die von Markus Gansberger und Franz Handler geleitet wird. Besonderer Dank geht auch an Jens Lansche (Agroscope, CH), der uns mit spezieller Erfahrung der Umweltbewertung im landwirtschaftlichen Umfeld im System SALCA begleitet hat.

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-674-6

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	8
1 EINLEITUNG	11
1.1 Ausgangssituation	11
1.2 Ziel: Konzeptionelle Beschreibung einer Methodik zur Bewertung	11
1.3 Technologie im Kontext der Bewertung landwirtschaftlicher Systeme	12
2 UMWELTBEWERTUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT – EIN ÜBERBLICK	14
2.1 Umweltindikatoren in Zusammenhang mit der gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP)	14
2.1.1 EU-Agrarumweltindikatoren	14
2.1.2 Evaluierung der Programmperiode 2015–2022	15
2.1.3 Evaluierung der Programmperiode 2023–2027	16
2.2 Umweltbewertung auf Betriebs- und Regionsebene	17
2.2.1 SAFA-Guidelines	17
2.2.2 Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe am Beispiel FarmLife	20
2.2.3 Umweltverträglichkeitserklärung (UVE) gemäß UVP-Gesetz 2000	22
2.3 Ökosystemleistungen im Bereich der Landwirtschaft	23
2.3.1 Überblick	23
2.3.2 Ausgewählte Ökosystemleistungen und Ansätze zur Bewertung	25
2.4 Synopse der Umweltkriterien und -indikatoren	28
3 VORGANGSWEISE FÜR DIE UMWELTBEWERTUNG DIGITALER TECHNOLOGIEN	41
3.1 Technologie und Bewertungsrahmen	43
3.1.1 Haupt-Zielrichtung	43
3.1.2 Bewertungsrahmen (Referenzsystem und Systemgrenzen)	44
3.2 Agronomische Wirkungen	46
3.2.1 Agronomische Haupt-Folgewirkung	46
3.2.2 Agronomische Begleitwirkungen	47
3.3 Umweltbewertung der Wirkungen	48
3.4 Interpretation und Bericht	51
4 ANWENDUNGSBEISPIELE	54

4.1	Futteranschieberoboter	54
4.1.1	Technologie und Bewertungsrahmen	56
4.1.2	Agronomische Wirkungen	58
4.1.3	Umweltbewertung der Wirkungen.....	58
4.1.4	Interpretation.....	62
4.2	Bewegungssensor zur Brunsterkennung	63
4.2.1	Technologie und Bewertungsrahmen	66
4.2.2	Agronomische Wirkungen.....	67
4.2.3	Umweltbewertung der Wirkungen.....	67
4.2.4	Interpretation.....	71
4.3	Unkrautnesterdetektion mittels Drohnen	72
4.3.1	Technologie und Bewertungsrahmen	75
4.3.2	Agronomische Wirkungen	75
4.3.3	Umweltbewertung der Wirkungen.....	76
4.3.4	Interpretation.....	79
4.4	Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung	80
4.4.1	Technologie und Bewertungsrahmen	83
4.4.2	Agronomische Wirkungen	84
4.4.3	Umweltbewertung der Wirkungen.....	85
4.4.4	Interpretation.....	88
5	ANHANG	90
5.1	Die 28 Agrarumweltindikatoren (EUROSTAT 2022)	90
5.2	Indikatoren für ein Umweltmonitoring am Beispiel Boden	94
5.2.1	Grundlagen und Konzeption.....	94
5.2.2	Portfolio an möglichen Indikatoren	95
5.2.3	Anwendungsbeispiel: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung	97
6	ABBILDUNGEN	99
7	TABELLEN	100
8	LITERATUR	102
9	GESETZE UND VERORDNUNGEN	107

ZUSAMMENFASSUNG

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft soll neben vielfältigen produktionstechnischen und arbeitswirtschaftlichen Vorteilen eine Verringerung des Produktionsmittelaufwandes und eine umweltschonendere landwirtschaftliche Produktion ermöglichen. Eine Bewertung der tatsächlichen Umweltverträglichkeit und der Umweltauswirkungen des Technologieeinsatzes fehlt allerdings oft, und mögliche negative Umwelteffekte werden nur selten diskutiert. Das Ziel dieser Studie ist die Entwicklung eines Konzepts und von Kriterien zur Bewertung der Umweltauswirkungen bei der Anwendung von digitalen Technologien in der Landwirtschaft. Das erarbeitete Umweltbewertungskonzept beschreibt Möglichkeiten der qualitativen und, soweit möglich, quantitativen Bewertung von Umweltwirkungen mittels Indikatoren. Es ist allgemein gültig und offen für zukünftige Technologieentwicklungen. Es bietet eine Anleitung zum Erfassen potenzieller Umweltwirkungen in aller Breite und lässt auch indirekte Wirkungen nicht außer Acht.

Bewertungssysteme und -indikatoren

Die Erfassung von Umweltwirkungen baut auf bestehenden Bewertungssystemen im Bereich Landwirtschaft und Umwelt auf. Dafür wurden Indikatoren und Elemente aus verschiedenen Konzepten gesichtet und auf ihre Anwendbarkeit hin beurteilt:

- die Agrarumweltindikatoren im Kontext der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP),
- die SAFA-Guidelines der FAO zur Nachhaltigkeitsbewertung von landwirtschaftlichen Systemen und Betrieben,
- das darauf aufbauende Bewertungsinstrument SMART des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL),
- Merkmale der Ökobilanzierung (Konzept der einzelbetrieblichen Ökobilanzierung für landwirtschaftliche Betriebe in Österreich aus dem Projekt FarmLife, basierend auf der Schweizerischen Ökobilanzierungsmethode SALCA),
- Elemente der Anleitung zur Umweltverträglichkeitserklärung (UVE), und
- Ansätze für die Bewertung von Ökosystemleistungen als ein integratives Konzept, das die Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Nutzung und Bereitstellung dieser Leistungen betrachtet.

Zusammengefasst nach Umweltkriterien werden die Umweltindikatoren in einer umfassenden Umweltwirkungstabelle aufgelistet. Zusätzlich werden zu den Umweltkriterien sogenannte Praxis-Indikatoren bzw. Erhebungsfragen vorgeschlagen, die von Anwender:innen leicht handhabbar sind. Vier Themenfelder mit zentraler Bedeutung für nachhaltige Entwicklung: Effizienz, Suffizienz, Resilienz und Konsistenz bilden die Hauptgliederung.

Das Ziel des Verfahrens ist es, die möglichen Umweltauswirkungen der Anwendung digitaler Technologien in landwirtschaftlichen Betrieben umfassend zu beleuchten und auch indirekte Wirkungen in die Überlegungen aufzunehmen. Die Bewertung der einzelnen Umweltauswirkungen erfolgt über die Beurteilung der

einzelnen Kriterien durch Beantworten der Fragen oder Angaben zu einzelnen Umweltindikatoren. Die Angaben können je nach Kenntnisstand und Informationslage qualitativ oder quantitativ ausfallen. Diese Beurteilung kann bei Vorliegen neuer Erkenntnisse laufend verbessert werden. Ein solches iteratives Vorgehen ermöglicht es, Entwicklungen der digitalen Technologien, aber auch des Erkenntnisstandes zu ihren Umweltauswirkungen zu reflektieren und in die Umweltbewertung aufzunehmen.

vier Schritte Das Konzept folgt im Ablauf der Bewertung vier aufeinander folgenden Schritten:

1. Zu Beginn wird eine agronomische Technologiecharakterisierung (Beschreibung der landwirtschaftlichen Anwendung der Technologie und Definition des Bewertungsrahmens) vorgenommen. Diese umfasst die Feststellung der Haupt-Zielrichtung der Technologieanwendung und des Untersuchungsrahmens; dafür werden das Referenzsystem bzw. die Vergleichstechnologie oder das Vergleichsverfahren, die Systemgrenzen und die Wirkungsdimensionen definiert.
2. Danach werden die agronomischen Haupt-Folgewirkungen sowie die agronomischen Begleitwirkungen beschrieben. Als Grundlage dafür können vorhandene Studien, Erhebungen bei Pilotbetrieben, Praxis-Indikatoren oder das Wissen und die Einschätzungen von Expert:innen herangezogen werden. Die funktionelle Einheit als Bezugsgröße der Umweltbewertung (zum Beispiel Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche) wird in diesem Schritt ebenfalls festgelegt.
3. Die Umweltwirkungen der Haupt- und der Begleitwirkungen werden anschließend anhand der Kriterien bzw. der Indikatoren in der Umweltbewertungstabelle erfasst. Jedes Kriterium erhält eine positive, neutrale oder negative Bewertung der Umweltwirkung, die durch die agronomischen Wirkungen aus Schritt 2 entstehen. Viele der Kriterien mögen dabei im konkreten Anwendungsfall irrelevant erscheinen, sollten aber dennoch auf indirekte Wirkungen geprüft werden.
4. Zusammenfassend werden die Einträge zu den Umweltkriterien innerhalb der vier Themenfelder jeweils gemittelt: Betriebsmitteleffizienz, Produktions-Suffizienz, Ökologische Resilienz und Ökosystem-Konsistenz. Zu jedem dieser vier Themen wird so eine Zusammenfassung aus der Bewertung zu den entsprechenden Kriterien erstellt. Der Überblick über die Umweltwirkungen der Technologie in den vier Themenfeldern erlaubt eine Grundcharakterisierung hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen.

Zusätzlich lassen sich aus den Umweltkriterien Ansätze für mögliche Umweltindikatoren zur weiteren Beobachtung und Bewertung von Umweltauswirkungen ablesen. Innerhalb der vier Schritte kann die inhaltliche Eindringtiefe und der Detaillierungsgrad jeweils an die vorhandene Informationslage angepasst werden.

Das entwickelte Konzept wurde im Zuge dieser Studie an vier verschiedenen Anwendungen digitaler Technologien (Use Cases) exemplarisch getestet. Für den

Sektor Boden wurden zudem Ansatzpunkte für ein Umweltmonitoring abgeleitet und dafür geeignete Indikatoren zusammengestellt.

**Potenziale und
Grenzen des
erarbeiteten Konzepts**

Durch die Synopse einer Vielzahl an bestehenden Methoden zur Umweltbewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme deckt das vorgeschlagene Konzept eine große Bandbreite an relevanten Umweltbereichen ab. Es bietet somit den Rahmen für die Beurteilung von möglichen Umweltwirkungen. Durch die umfassende Umweltindikatorenliste können sowohl qualitatives Wissen und Expert:inneneinschätzungen verwertet als auch bei verbesserter Informationslage quantitative Erkenntnisse berücksichtigt werden. Auch das derzeit in vielen Bereichen noch unvollständige Wissen über neue Technologien ist somit für eine Ersteinschätzung ihrer Umweltfolgen nutzbar. Aus dieser Ersteinschätzung kann der Bedarf für genauere Beobachtung oder Analyse der Umweltauswirkungen abgeleitet werden.

Das Konzept bietet eine Anleitung zur Bewertung von potenziellen Umweltfolgen in Form von Umweltkriterienlisten und einem strukturierten Ablauf. In der Anwendung muss es sich dabei auf vorhandene Informationen stützen, die zur Funktionsweise einer Technologie und zu ihren Wirkungen im agronomischen System vorliegen. Das Konzept liefert keine Bewertungsgrundlagen etwa in Form von Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Solche Informationen müssen bei der Anwendung des Konzeptes als Grundlagen bereitgestellt werden.

Durch die Erstellung eines Umweltbewertungskonzepts soll es in Zukunft möglich sein, den Einsatz von digitalen Technologien aus Umweltsicht praxisrelevant zu beurteilen. Das vorgestellte Konzept bietet einen ersten Ansatz zur strukturierten Vorgehensweise für die Umweltbewertung dieser Technologien. Durch die rasanten Veränderungen und Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft ist eine stetige Weiterentwicklung und Anpassung notwendig.

SUMMARY

In addition to a wide range of production-related and labour-economic advantages, digitalisation in agriculture is expected to deliver a reduction of production resources and in general a more environmentally friendly agricultural production. However, an assessment of the actual environmental impact and the environmental performance of the use of technology is often lacking, and possible negative environmental effects are rarely discussed. The aim of this study is to develop a concept and criteria to assess the environmental impacts of the application of digital technologies in agriculture. The concept developed for this purpose describes the possibilities of qualitative and, where possible, quantitative evaluation of environmental effects by means of indicators. It is generally valid and open to future technology developments. It provides guidance for detecting potential environmental impacts and recognises indirect effects.

assessment systems and indicators

The assessment of environmental impacts builds on existing assessment systems in the field of agriculture and the environment. For this purpose, indicators and elements from different concepts were screened and assessed for their applicability:

- agri-environmental indicators in the context of the Common Agricultural Policy (CAP);
- FAO's SAFA guidelines on sustainability assessment of agricultural systems and farms;
- the evaluation tool SMART (based on SAFA) of the Research Institute for Organic Agriculture (FiBL),
- characteristics of life cycle assessment (the concept of individual farm life cycle assessment for agricultural holdings in Austria from the FarmLIFE project, based on the Swiss Life Cycle Assessment Method SALCA),
- elements of the Environmental Impact Statement (EIS) guidance, and
- approaches to the assessment of ecosystem services as an integrating approach that considers agriculture between the potentially conflicting priorities of use and delivery of these services.

The environmental indicators are listed in a comprehensive environmental impact table, summarised according to ecological criteria. In addition to the ecological criteria, practical indicators and survey questions are proposed. The main grouping uses four thematic areas of central importance for sustainable development: Efficiency, sufficiency, resilience and consistency.

The aim of the process is to comprehensively examine possible environmental impacts of the application of digital technologies on farms and to include indirect effects into the considerations. The assessment of each environmental impact is carried out by assessing the specific criteria by answering questions or providing information on specific environmental indicators. The information may be qualitative or quantitative, depending on the level of knowledge and information. This assessment can be continuously improved in the event of new

findings. Such an iterative approach makes it possible to reflect developments in digital technologies as well as the level of knowledge about their environmental impacts and to include those findings in the environmental assessment.

four steps The concept follows four successive steps during the evaluation process:

1. Initially, an agronomic technology characterisation (description of the agricultural application of the technology and definition of the evaluation framework) is carried out. This includes the identification of the main objective of the technology application and of the investigative framework; for this purpose, the reference system or the comparative technology/comparison method, the system boundaries, and the impact dimensions are defined.
2. Afterwards, the main agronomic effects as well as the agronomic accompanying effects are described. Existing studies, expert knowledge, surveys on pilot plants, practitioners' indicators or expert assessments can be used as the basis for this. The functional unit as a reference for the environmental assessment (e. g. hectares of agricultural land) is also defined in this step.
3. The environmental impact of the main as well as the accompanying effects is then recorded on the basis of the criteria or indicators in the environmental assessment table. Each criterion receives a positive, neutral or negative assessment of its environmental impact resulting from the agronomic effects of step 2. Many of the criteria may seem irrelevant in the specific case of use, but should nevertheless be examined for indirect effects.
4. In summary, the entries for the ecological criteria are averaged within the four thematic areas: Resource efficiency, sufficiency of production, ecological resilience, and ecosystemic consistency. For each of these four topics, a summary will be drawn up from the evaluation of the relevant criteria. The overview of the environmental impacts of the technology in the four thematic areas allows a basic characterisation with regard to their environmental effects.

In addition, the ecological criteria suggest approaches for possible environmental indicators for further monitoring and assessment of environmental impacts. Within the four steps, the depth of intrusion and the degree of detail can be adapted to the existing level of information.

The developed concept was tested exemplarily in the course of this study on four different applications of digital technologies (Use Cases). For the soil sector, starting points for environmental monitoring have also been derived and appropriate indicators have been compiled for this purpose.

potentials and limitations of the developed concept

Through the synopsis of a variety of existing methods for environmental assessment of agricultural production systems, the proposed concept covers a wide range of relevant environmental areas. It thus provides the framework for assessing possible environmental impacts. The comprehensive list of environmental indicators enables both qualitative knowledge and expert assessments to be used, and quantitative insights can be taken into account when information is

improved. The currently incomplete knowledge in many areas of new technologies can therefore be used for an initial assessment of their environmental impact. From this initial assessment, the need for closer observation or analysis of the environmental impact can be derived.

The concept provides guidance on the assessment of potential environmental impacts in the form of lists of ecological criteria and a structured process. In the application, it must rely on existing information on the operating principles of a technology and its effects on the agronomic system. The concept does not provide an assessment basis, for example, in the form of cause-effect relationships. Such information must be provided as a basis when applying the concept.

By developing an environmental assessment concept, it should be possible in the future to assess the use of digital technologies from an environmental point of view. The presented concept provides first steps to a structured approach to environmental assessment of these technologies. Due to the rapid changes and framework conditions in agriculture, continuous further development and adaptation is necessary.

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation

Die Digitalisierung ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken und hat auch in der Landwirtschaft schon lange Einzug gehalten. Neben produktionstechnischen und arbeitswirtschaftlichen Vorteilen wird ein großer Nutzen durch eine Steigerung der Erträge, eine Verringerung des Produktionsmittelaufwandes und eine umweltschonendere Produktion gesehen (Lovarelli et al. 2020). Bei der Bewertung von digitalen Technologien werden bisher meist praktische Erfahrungen zu produktionstechnischen und ökonomischen Kriterien herangezogen. Die Bewertung der Umweltverträglichkeit und der Umweltleistungen des Technologieeinsatzes fehlen allerdings oft und mögliche negative Umwelteffekte werden nur selten diskutiert (Garske et al. 2021).

Hieraus begründete sich das Vorhaben, ein Konzept und Kriterien zur Bewertung von Umweltauswirkungen bei der Anwendung von digitalen Technologien auszuarbeiten. Die Umsetzung erfolgte im Rahmen eines Projektes im Cluster „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ (2020–2022) mit den Projektpartnern HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Umweltbundesamt und AGES und der fachlichen Begleitung von Agroscope (CH) (LE.1.2.6/0756-PR/4B /2019).

1.2 Ziel: Konzeptionelle Beschreibung einer Methodik zur Bewertung

Das Ziel lag in der Entwicklung eines Konzepts für eine Umweltbewertung des Einsatzes bzw. der Anwendung von digitalen Technologien im europäisch-alpenländischen Kontext.

zentrale Elemente des Konzepts

Aufbauend auf Expert:innenwissen und den mit dem Software- und Methodenpaket FarmLife (Herndl et al. 2015) für Pilotbetriebe modellierten Umweltwirkungen wurde ein Umweltbewertungskonzept erarbeitet, das Möglichkeiten der qualitativen und – soweit möglich – quantitativen Bewertung von Umweltwirkungen mittels Indikatoren umfasst. Zentrale Elemente darin sind die Erfassung der agronomischen Wirkungen der digitalen Technologie und der betroffenen Prozessschritte im landwirtschaftlichen Betrieb. Diese werden anhand eines Sets an Indikatoren auf ihre Umweltwirkungen untersucht. Das Ergebnis ist ein Überblick über die mit einer Technologieanwendung verbundenen Umweltwirkungen und die Zuordnung einer Technologie-Umwelt-Wirkgruppe inklusive Ansätze für mögliche Indikatoren zur weiteren Bewertung der Umweltauswirkungen. Durch die Erstellung eines Umweltbewertungskonzeptes soll es in Zukunft möglich sein, den Einsatz von digitalen Technologien aus Umweltsicht praxisrelevant zu beurteilen.

1.3 Technologie im Kontext der Bewertung landwirtschaftlicher Systeme

Die Begriffe „Technologie“ und „technologische Innovation“ werden breit verwendet. Der Begriff Technologie bezeichnet einerseits die Erforschung von Techniken der Produktion und zugleich auch die einzelne Produktionstechnik. In dieser Studie wird eine landwirtschaftliche Produktionstechnik alias „Technologie“ als ein kohärentes und für den landwirtschaftlichen Produktionszweck anwendbares Set an Prozessen und Methoden definiert. Es wird auf digitale Technologien als relativ neuartige Innovation in der Landwirtschaft fokussiert, mit dem Potenzial, sich zu entwickeln mit in der Folge lokal und/oder global bedeutenden Umweltauswirkungen. Für die Umweltbewertung einer Technologie sind dabei die folgenden Aspekte relevant (Rotolo et al. 2015; Sharp und Miller 2016):

Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands

- **Reifegrad der Technologien:**
Viele digitale Technologien sind in Entstehung und Entwicklung, um aber deren Einsatz in der Landwirtschaft bewerten zu können, ist ein Mindestmaß an Technologiereife erforderlich. Eine zu bewertende Produktionstechnik sollte bereits in der Landwirtschaft im Einsatz sein bzw. muss jedenfalls der Nachweis der erfolgreichen Einsetzbarkeit für den Produktionszweck bestehen.
- **Kohärente Technologien:**
Es sollen ganze Technologien, also für den Produktionszweck verwendbare, zusammenhängende Prozesse und Methoden, bewertet werden. Nicht-Gegenstand ist die Bewertung von isolierten Teilprozessen, beispielsweise von einzelnen Software-Algorithmen oder elektronischen Bauteilen. Auch für den Fall, dass einzelne Technikbestandteile noch in Entwicklung sind, muss die erfolgreiche Integration bzw. das Zusammenspiel als kohärente Technologie darstellbar sein.
- **Entwicklungsstabilität der Technologien:**
Die Technologie und deren Einsatzfeld sind bereits so weit entwickelt, dass keine maßgeblichen Veränderungen der Technologiefunktion und des Einsatzfeldes zu erwarten sind. Das grundlegende Ziel des Technologieeinsatzes muss für deren Bewertbarkeit stabil sein.
- **Isolierbarkeit der Technologie:**
Es muss möglich sein, die Technologie für das landwirtschaftliche Produktionsumfeld analytisch isoliert zu beschreiben. Soweit es sich um Grundlagentechnologien handelt, die in einem breiten Anwendungsfeld Niederschlag finden, beispielsweise Smartphones, wird hierfür keine Technologiebewertung vorgesehen.
- **Anwendbarkeit der Technologie:**
Zugleich sollte eine zu bewertende Technologie eine gewisse Breite an Anwendungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft bieten. Eine Bewertung des Einsatzes von Nischentechnologien steht nicht im Vordergrund.

Das Umweltbewertungskonzept soll also für digitale Technologien, die im Landwirtschaftsbetrieb im Einsatz sind bzw. potenziell im Betrieb zur Anwendung

kommen können, entwickelt werden. Das Attribut „digital“ kann ein breites Set an Eigenschaften beschreiben. Es kann hierunter die direkte Verwendung von Computern, Laptops und anderen digitalen Endgeräten fallen, aber auch die Einbettung von digitalen Modulen oder Algorithmen in landwirtschaftliche Prozesse, insoweit diese die landwirtschaftliche Produktionstechnik als Ganzes modifizieren (Charakteristikum einer Technologie). Ein Beispiel wäre die Verwendung von Melkrobotik, welche nicht nur den Prozess des Melkens beeinflusst, sondern auch Einfluss auf betriebliche Abläufe bis hin zur Betriebsgröße nimmt.

2 UMWELTBEWERTUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT – EIN ÜBERBLICK

Umweltbewertung in der Landwirtschaft ist ein vielfach bearbeitetes Thema. Nicht zuletzt die gemeinsame Agrarpolitik der EU hat die Umweltfolgen landwirtschaftlicher Tätigkeiten in den Blick genommen. In der politischen Umsetzung werden meist Indikatorsysteme verwendet, um Zustand, Veränderungen und Wirksamkeit von Maßnahmen messen und Zielwerte festlegen zu können. Aber auch international hat beispielsweise die FAO Konzepte entwickelt, um die Nachhaltigkeit und damit auch die Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Systeme untersuchen und verbessern zu können.

Bewertungsansätze

Ein Bewertungskonzept für Umweltfolgen von Technologieeinsatz in der Landwirtschaft kann sich auf diese und einige andere Bewertungsansätze stützen. In den folgenden drei Unterkapiteln werden diese Grundlagen dargestellt. In Kapitel 2.4 folgt dann die Zusammenschau der Indikatoren zur Erfassung von potenziellen Umweltfolgen. Dieses Ergebnis wird in der Beschreibung des Vorgehens in Kapitel 3.3 dann als Werkzeug eingesetzt.

2.1 Umweltindikatoren in Zusammenhang mit der gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP)

2.1.1 EU-Agrarumweltindikatoren

Seit 2006 wird mit Hilfe von 28 Agrarumweltindikatoren (Agri-environmental indicators, AEI) die Einbeziehung von Umweltbelangen in die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) auf EU-, nationaler und regionaler Ebene überprüft (EK 2006). Die Agrarumweltindikatoren geben damit – anhand ausgewählter Kennzahlen – einen Überblick über Umweltauswirkungen der Landwirtschaft auf nationaler bzw. sektoraler Ebene.

Kontext- und Wirkungsindikatoren

Im Anhang sind die 28 Agrarumweltindikatoren beschrieben. Sie werden regelmäßig aktualisiert und einige von ihnen werden auch als GAP-Kontext- und Wirkungsindikatoren zur Evaluierung der Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik in den einzelnen Ländern verwendet. Kontextindikatoren sind Indikatoren, die einer allgemeinen Beschreibung der gegenwärtigen Situation des unter den GAP-Strategieplan fallenden Gebiets dienen (gemäß Artikel 115, Absatz 2 der GAP-Strategieplan-VO (EU) 2021/2115). Bezugnehmend auf diese werden Wirkungsindikatoren abgeleitet, mit Hilfe derer die Erreichung umwelt- und klimabezogener Ziele (Beitrag zum Klimaschutz, Verbesserung der Luftqualität, Wasserqualität etc.) durch die GAP-Strategiepläne evaluiert wird.

2.1.2 Evaluierung der Programmperiode 2015–2022

Für die Programmperiode 2015–2022 (ursprünglich geplant 2014–2020, verlängert bis 2022) der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik gilt der gemeinsame Monitoring- und Bewertungsrahmen CMEF (Common Monitoring and Evaluation Framework). In den Verordnungen (EU) Nr.808/2014 und 834/2014 wurden Kontext-, Wirkungs-, Ergebnis- und Outputindikatoren des CMEF festgelegt. Outputindikatoren geben das direkte „Produkt“ der Maßnahme an (z. B. Anzahl der über eine Maßnahme finanzierten Energieeinsparungsinvestitionen), Ergebnisindikatoren hingegen die direkte, unmittelbare Wirkung der Maßnahme/ bzw. des Programms im Zusammenhang mit den spezifischen Zielen der GAP (z. B. Hektar teilnehmende Fläche, Anzahl der Teilnehmer:innen an Weiterbildungsmaßnahmen, Anzahl der durch eine Investitionsmaßnahme geschaffenen Arbeitsplätze). Wirkungsindikatoren gehen über die direkte, unmittelbare Wirkung hinaus, betrachten die längerfristige Entwicklung und stehen in Zusammenhang mit den allgemeinen Zielen und Prioritäten der GAP (Verordnung (EU) Nr. 1305/2013), auch im Bereich Umwelt (Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der biologischen Vielfalt, Verbesserung der Wasserwirtschaft, Verhinderung der Bodenerosion und Verbesserung der Bodenbewirtschaftung, Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung, Verringerung der aus der Landwirtschaft stammenden Treibhausgas- und Ammoniak-Emissionen etc.). Eine Reihe von Kontextindikatoren liefert die Informationen über den allgemeinen Zustand der Umwelt und der Wirtschaft.

Evaluierung „Ländliche Entwicklung“

Die vertiefende Evaluierung des Programms Ländliche Entwicklung 2019 war zugleich die Halbzeitbewertung des Programms Ländliche Entwicklung (LE) 2014–2020. Dabei wurde die Zielerreichung des Programms anhand von 30 gemeinsamen Bewertungsfragen (vgl. Durchführungsverordnung, Verordnung (EU) Nr. 808/2014; Anhang V), den gemeinsamen Indikatoren des CMEF (siehe Kapitel 2.1.2) sowie zusätzlichen programmspezifischen Indikatoren bewertet.

Für Österreich wurden zusätzliche programmspezifische Umweltindikatoren v. a. im Nationalen Detailbericht zur Evaluierung des ÖPUL-Programms für die Umweltbereiche Biodiversität, Boden und Wasser erarbeitet und dargestellt (BaB 2019).

Umweltauswirkungen

Weiters umfasst der Umweltbericht zur Strategischen Umweltprüfung (SUP) (gemäß EU-Richtlinie über die Prüfung von Umweltauswirkungen (SUP-RL, RL 2001/42/EG)) des Programms für ländliche Entwicklung in Österreich 2014–2020 neben der Charakterisierung des derzeitigen Umweltzustandes – vor Programmbeginn – auch die Darstellung der voraussichtlich erheblichen Umweltauswirkungen des Programms sowie eine Beschreibung und Bewertung vernünftiger Alternativen. Im Rahmen der SUP wurden Schutzgüter und Schutzinteressen sowie Umweltschutzziele und auch Umweltindikatoren definiert. Diese Indikatoren bildeten die Basis für die Darstellung des Umweltzustandes und relevanter Umweltprobleme (Prettenthaler et al. 2014).

2.1.3 Evaluierung der Programmperiode 2023–2027

Für die zukünftige Gemeinsame Agrarpolitik ab 2023 sind gemäß GAP-Strategieplan-Verordnung (EU) 2021/2115 Kontext- und Wirkungsindikatoren (Context and Impact Indicators) im Rahmen des Performance Monitoring and Evaluation Framework (PMEF) vorgesehen (EK 2022a). Zudem sind Ergebnisindikatoren (Result Indicators) vorgegeben (EK 2022b). Umweltrelevant sind v. a. Indikatoren zu den Bereichen Landwirtschaftlicher Boden, Viehbestand, Biologische Vielfalt, Wasser, Boden, Energie, Klima, Luft und auch Gesundheit (Pestizide, Antibiotika).

Die nationalen Werte für einige Kontextindikatoren zur Beschreibung der gegenwärtigen Situation des unter den GAP-Strategieplan fallenden Gebiets sind in der Studie „Gemeinsame Agrarpolitik GAP 2020+ – Grundlagen für die SWOT-Analyse der Umweltziele (d), (e) und (f) in Österreich“ (Umweltbundesamt 2019b) dargestellt.

strategische Umweltprüfung

Zusammen mit der Ex-ante Bewertung des GAP-Strategieplans 2023–2027 (Rosinak&Partner und WIFO 2021), der 2022 von der EK genehmigt wurde (BML – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft 2022), wurde eine strategische Umweltprüfung des GAP-Strategieplans durchgeführt (ÖIR GmbH & Universität für Bodenkultur 2021). Die Umweltauswirkungen wurden in nachfolgenden Schutzgütern zusammengefasst und aktuelle Haupt-Umweltziele formuliert, die mittels Umweltindikatoren dargestellt wurden:

Umweltziele und -indikatoren

- **Biologische Vielfalt** (Tiere, Pflanzen, Ökosysteme, Lebensräume):
Erhaltung und, wo relevant, Verbesserung und Wiederherstellung der Lebensräume und Arten als Basis für biologische Vielfalt; Erhaltung und, wo relevant, Verbesserung der Wirkungen des Waldes und des Waldzustandes inklusive des Waldbodens; Erhalt der genetischen und biologischen Vielfalt und Verbesserung des Artenschutzes; Schutz der Flora vor negativer Ozon-einwirkung
- **Gesundheit des Menschen:**
Erhalt und, wo relevant, Verbesserung der Lebensbedingungen und Lebensqualität sowie Schutz der menschlichen Gesundheit; Vermeidung schädlicher Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen durch Umgebungslärm
- **Landschaft:**
Erhalt bzw. Wiederherstellung der Vielfalt, Eigenart und Schönheit der Kulturlandschaft inklusive der Landschaftselemente
- **Boden:**
Sparsame Flächeninanspruchnahme und Verringerung von Bodenversiegelung; langfristiger Erhalt der landwirtschaftlichen Produktionsgrundlagen und nachhaltige Nutzung sowie Erhalt natürlicher Ressourcen; Erhalt und, wo relevant, Verbesserung und Wiederherstellung des chemischen, biologischen und physikalischen Zustands des Bodens (inklusive Bodenkohlenstoff) sowie Verringerung der Erosion

- **Belastung von Grund- und Oberflächengewässern:**
Erhaltung und, wo relevant, Verbesserung des biologischen und chemischen Zustandes der aquatischen Ökosysteme; Verringerung der Schadstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer; Erhaltung und, wo relevant, Verbesserung der Grundwasserqualität und Quantität; Erhalt und Verbesserung der Trinkwasserqualität
- **Luft:**
Verringerung schädlicher Umweltwirkungen durch Luftschadstoffe; Senkung der Luftschadstoff-Emissionen, insbesondere der Ammoniak-Emissionen
- **Klima:**
Senkung der Treibhausgas-Emissionen; Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien; Steigerung der Energieeffizienz
- **Sachgüter, Rohstoffe und Kulturgüter:**
Erhalt von Denkmälern, Bodendenkmälern und des Natur- und Kulturerbes; Verringerung der Ressourceninanspruchnahme

2.2 Umweltbewertung auf Betriebs- und Regionsebene

2.2.1 SAFA-Guidelines

vier Nachhaltigkeitsdimensionen

Die FAO erarbeitete 2013–2015 umfangreiche Dokumente zur Nachhaltigkeitsbewertung von landwirtschaftlichen Systemen und Betrieben. SAFA steht für „Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems“ (FAO 2013a, 2013b, 2014). Die Arbeiten sind gegliedert in vier Nachhaltigkeitsdimensionen (Governance, Nature, Economy, People), die Nachhaltigkeitsdimension „Nature“ wird durch 52 Indikatoren geprüft (FAO 2014). Landwirtschaftliche Betriebe (food and agriculture enterprises) sind – unter anderen – als Adressaten der Richtlinien und Indikatoren für Nachhaltigkeitsbewertung genannt. Die Umweltbereiche umfassen Atmosphäre – Treibhausgase und Luftqualität, Wasser – Wasserentnahme und Wasserqualität, Boden – Bodenqualität und Bodendegradation sowie Flächeninanspruchnahme, Biodiversität – Ökosystemvielfalt, Artenvielfalt, genetische Vielfalt, Stoff- und Energieeinsatz: Material- und Energieeinsatz, Abfallvermeidung und -verwertung, Tierwohl – Tiergesundheit und Stressfreiheit.

2.2.1.1 Untersuchungsrahmen

Fokussierung durch „cut-off“ Kriterien

Die Systemgrenzen werden auch als „Abschneidekriterien“ (cut-off criteria) nach ISO 14044 und in der Lebenszyklusanalyse (LCA) bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens definiert. Sie sollen helfen, die SAFA-Bewertung zu fokussieren. Die Grenzfestlegung muss pragmatisch, gut definiert und spezifisch sein. Jedenfalls sollten die Systemgrenzen der Beurteilung im Leistungsbericht dokumentiert werden (FAO 2014). Beispielsweise befinden sich die Systemgrenzen in der Versorgungs- bzw. Wertschöpfungskette beim landwirtschaftlichen Milchviehbetrieb entlang der Betriebsgrenzen. Sobald die Milch den Betrieb verlässt,

sind aus Sicht des Lebensmittelhändlers alle Prozessschritte inklusive des Weges ins Geschäft in den Systemgrenzen inkludiert.

SAFA soll die Aktivitäten des landwirtschaftlichen Betriebs für ein Jahr abdecken. Für einige Indikatoren sollten mehrjährige Trends bewertet oder Nachhaltigkeitsauswirkungen einem längeren Zeitraum zugeordnet werden. In diesen Fällen wird in der Regel ein Zeitraum von fünf Jahren vorgeschlagen bzw. ist der spezifische Zeitrahmen bei den einzelnen Indikatoren basierend auf Expertenkonsultationen und wissenschaftlichen Erkenntnissen festgelegt (FAO 2014).

2.2.1.2 Daten für die Umweltindikatoren

Qualitätshierarchie der Daten

Empirische Grundlage der Umweltbewertung sind Daten in folgender hierarchischer Qualität:

1. Primärdaten: Die vom Betrieb für die SAFA-Bewertung selbst erhobenen Primärdaten gelten als von höchster Qualität:
 - direkte Probenahme oder Untersuchung (z. B. Bodenuntersuchungen, Abwasseruntersuchungen)
 - betriebliche Aufzeichnungen über den aktuellen Ressourcenverbrauch, wie z. B. Elektrizität, Wasser oder Treibstoff für den Transport
 - visuelle Inspektion des Geländes und der Einrichtungen von einer dritten Partei oder einer geschulten Person außerhalb des Unternehmens.
2. Sekundärdaten werden als Proxy verwendet, um eine verallgemeinerte, aber fundierte Annahme bezüglich des Betriebs zu treffen. Vorzugsweise stammen Statistiken oder wissenschaftliche Informationen, die als Sekundärdaten verwendet werden, aus einer dem Peer-Review unterzogenen Quelle.
3. Schätzungen auf der Grundlage allgemeiner Informationen über den Betrieb, die nicht auf Primär- oder Sekundärdaten basieren.

2.2.1.3 Bewertung und Interpretation der Umweltindikatoren (Indicators for Environmental Integrity)

Die Ergebnisse des SAFA-Nachhaltigkeitsbewertungs-Prozesses für die einzelnen Indikatoren werden auf Basis vorgegebener Bewertungsskalen nach einer fünfteiligen Skala eingestuft, ähnlich dem Schulnotensystem, je nachdem, wie viele Maßnahmen den Nachhaltigkeitszielen entsprechen.

Aggregation erfordert Transparenz

Die Ergebnisse der einzelnen Umweltindikatoren-Rankings werden nach Unterthemen (Wasserentnahme, Wasserqualität etc.) und Themen (Atmosphäre, Wasser, Boden etc.) aggregiert. Dazu wird festgehalten, dass alle Arten der Aggregation zwar die Kommunikation des Umweltbewertungsergebnisses erleichtern, jedoch mit einem Informationsverlust einhergehen und dass die Gefahr besteht, dass relevante Informationen ausgeblendet werden. Jede aggregierte Berichterstattung sollte daher transparent sein und jede Entscheidung im SAFA-

Leistungsbericht klar begründet werden. Unterthemen und Themen mit niedrigen Punktzahlen sind nützlich, um Bereiche mit Verbesserungsbedarf zu ermitteln und sollten im SAFA Leistungsbericht hervorgehoben werden (FAO 2014).

2.2.1.4 SAFA-Kleinbetriebs-App

Die SAFA-App für landwirtschaftliche Kleinbetriebe wurde entwickelt, um die Anwendbarkeit und Umsetzung der SAFA-Richtlinien für Praktiker:innen weiter auszubauen (FAO 2015). Dazu gehörte die Entwicklung einer Reihe von Indikatoren, auch für die Dimension Umwelt (Environmental Integrity), die für Kleinproduzent:innen relevant und auch praktisch erhebbar sind, sowie eine Anwendung zur Durchführung von Bewertungen vor Ort mit Hilfe von Smartphones und Tablets.

Nachhaltigkeitsbewertung via FAO-App

Die SAFA-Kleinbetriebs-App (Smallholders App) (version 2.0.0) ist eine frei verfügbare und benutzerfreundliche Open-Source-Software, die von der FAO angeboten wird, um die SAFA-Guidelines (version 3.0) zur Nachhaltigkeitsbewertung von landwirtschaftlichen Kleinbetrieben umzusetzen (FAO 2015). Sie umfasst 21 Themen und 44 Indikatoren, davon 14 umweltrelevante Indikatoren mit insgesamt 36 Fragen, die Landwirt:innen im Zuge der Bewertung ihres Betriebes beantworten können.

2.2.1.5 Anwendung der SAFA-Guidelines am Beispiel SMART

Mit SMART – Sustainability Monitoring and Assessment Routine – hat das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) ausgehend von den SAFA-Guidelines ein Bewertungsinstrument für den mitteleuropäischen Raum entwickelt. Dieses soll es landwirtschaftlichen Betrieben und Unternehmen des Agrar- und Lebensmittelsektors ermöglichen, ihre Nachhaltigkeitsleistungen glaubwürdig, transparent und vergleichbar zu analysieren und zu bewerten (SfS 2017). Im Wesentlichen besteht SMART aus einer eigens entwickelten Datenbank inklusive ausgefeilter Bewertungsmethodik sowie einem umfangreichen Indikatoren-Pool. Nachhaltigkeitsleistungen sollen damit analysiert und bewertet werden. SMART bewertet die Zielerreichung [0–100 %] der SAFA-Ziele.

Anwendungsbeispiel Österreich

Für Österreich wurde SMART für die Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten einer großen österreichischen Handelskette eingesetzt. Darin werden über 300 wissenschaftlich entwickelte Indikatoren (mit numerischen, J/N Antworten etc.) je nach Betriebstyp, Größe und Region und ca. 1 400 Wirkungsbeziehungen untersucht. Die Datenerhebung erfolgt unter Einbezug bereits durchgeführter Aufnahmen (z. B. Bio-Kontrolle, GlobalGap, RISE, Ökobilanzen, Carbon Footprint etc.). Die Ergebnisse werden in Form von Spinnendiagrammen dargestellt (Herndl et al. 2019).

SMART ist mit den SAFA-Leitlinien vollständig konform und ermöglicht deren effiziente Anwendung (SfS 2017). Die betrachteten Umweltbereiche decken sich mit den SAFA-Richtlinien (FAO 2014).

2.2.2 Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe am Beispiel FarmLife

Ökobilanz Lebenszyklus Die Ökobilanzierung ist nach den Normen ÖNORM 14040 und 14044¹ definiert. Sie ist eine Multikriterien-Analyse zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines Unternehmens. Die Ökobilanz ist gemäß ÖNORM EN ISO 14040 in vier Phasen unterteilt:

1. Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

einzelbetriebliche Bewertung Das Konzept der einzelbetrieblichen Ökobilanzierung für landwirtschaftliche Betriebe wurde im Projekt FarmLife für Österreich entwickelt (Herndl et al. 2019). Dazu wurde die Ökobilanzierungsmethode SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) für die Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich angepasst (Herndl et al. 2015).

Die Schweizer Ökobilanz-Methode SALCA besteht aus mehreren Bewertungsmodulen:

- SALCA-Pflanzenschutzmittel: Untersuchung der Risiken und Umweltwirkungen von Pflanzenschutzmitteln für fünf Hauptkulturen (Waldvogel et al. 2018)
- SALCA Nitrat (Richner et al. 2014)
- SALCA Phosphor (Prasuhn 2006)
- SALCA Schwermetalle (Freiermuth 2006)
- SALCA Biodiversität (terrestrisch) (Jeanneret et al. 2009): Die Wirkungskategorie Biodiversität umfasst elf Indikatoren: Grünlandflora, Segetalflora, Vögel, Säugetiere (Kleinsäuger), Amphibien, Mollusken, Bienen, Spinnen, Laufkäfer, Tagfalter und Heuschrecken. Das Biodiversitätspotenzial bezogen auf die Artenvielfalt und die Artenzusammensetzung jedes Indikators wird in zwei Schritten ermittelt: Als erstes werden die landwirtschaftlichen Aktivitäten aufgrund ihrer Auswirkungen auf die Organismen benotet. In einem zweiten Schritt werden die definierten Habitattypen nach ihrer Wichtigkeit für die Indikatoren gewichtet. Die Endnote ergibt sich aus der Multiplikation der Noten aus beiden Teilschritten.
- SALCA Bodenqualität (Oberholzer et al. 2006)

Aus der Diskussion mit einer wissenschaftlichen Begleitgruppe ergab sich in FarmLife eine Reihe von Anpassungen an die österreichischen Verhältnisse – so wurden die SALCA-Modelle für Phosphor-, Nitrat-, Schwermetall-, Ammoniak-,

¹ ÖNORM EN ISO 14040:2006 (Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen), ÖNORM EN ISO 14044:2006 (Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen)

Stickoxid-, Lachgas- und Methan-Emissionen verändert und für Österreich adaptiert.

Systemgrenzen
FarmLife

Die Systemgrenze von FarmLife ist das Hoftor des Betriebs. Nicht zum landwirtschaftlichen Betrieb gezählt werden Haushalt, Agrotourismus, Hofladen, die Verarbeitung von Produkten, außerlandwirtschaftliche Tätigkeiten und Lohnarbeiten für Dritte sowie der Wald.

Betrachtete Inputs:

- Infrastruktur:
 - Gebäude, Einrichtungen
 - Maschinen
- Pflanzenbau:
 - Energieträger
 - Düngemittel
 - Pflanzenschutzmittel (PSM)
 - Saatgut
- Tierproduktion:
 - Futtermittel, Stroh
 - Tiere
- Übrige Inputs (Wasser, Silofolie etc.)

Wirkungskategorien

Folgende Umwelt-Wirkungskategorien werden ähnlich den Vorgaben bei Berechnungen mit SALCA (Nemecek et al. 2010) allgemein berücksichtigt und kommen in den Auswertungen in FarmLife zur Anwendung (Herndl et al. 2015):

- Bedarf an nicht erneuerbaren Energieressourcen (Indikator: Energieverbrauch in MJ-Äq pro ha) gemäß ecoinvent, (Hischier et al. 2010)
- Treibhauspotenzial (Indikator CO₂-Emissionen in kg CO₂-Äq. pro ha) (IPCC 2007)
- Ozonbildungspotenzial (Hauschild und Potting 2005)
- Eutrophierungspotenzial (Nährstoffbelastung Stickstoff und Phosphor in empfindlichen Ökosystemen (Indikator N-Input in kg N-Äq. pro ha) (EDIP03)
- Versauerungspotenzial (Versauerung von empfindlichen Ökosystemen) (EDIP03)
- Terrestrische Ökotoxizität (Wirkungen von Schadstoffen auf den Boden) (CML01)
- Aquatische Ökotoxizität (Wirkungen von Schadstoffen auf Gewässer) (Indikator Toxpunkte pro ha) (CML01)
- Humantoxizität (Wirkungen von Schadstoffen auf die menschliche Gesundheit) (CML01)
- Ressourcenbedarf: mangels zufriedenstellender Wirkungsabschätzungsmethoden werden diese Indikatoren auf Sachbilanzebene betrachtet:
 - Ressourcenbedarf P (in kg Nährstoff)

- Ressourcenbedarf K (in kg Nährstoff)
- Flächenbedarf (in m² während eines Jahres)
- Abholzung (in m²)
- Wasserbedarf (in m³)

Für die betriebsbezogenen Auswertungen im Projekt FarmLife wurden für jeden landwirtschaftlichen Betrieb ein bis zwei Wirkungskategorien der Ökobilanzierung ausgewählt, die jeweils als repräsentativ betrachtet werden können. Durch diese Beschränkung auf wenige Wirkungskategorien wurde die Kommunikation der Ergebnisse erleichtert.

2.2.3 Umweltverträglichkeitserklärung (UVE) gemäß UVP-Gesetz 2000

Das Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit ist seit 1994 in Kraft und wurde seither mehrmals novelliert (BGBl. Nr. 697/1993 idGF BGBl. I Nr. 80/2018); seit der Novelle im Jahr 2000 wird es als Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 bezeichnet (UVP-G 2000) (BMNT 2019).

UVE-Leitfaden Mit der UVP-Änderungsrichtlinie (UVP-ÄndRL, RL 2014/52/EU) wurden neue bzw. erweiterte Prüfbereiche (biologische Vielfalt, Flächenverbrauch, Klimawandel, Katastrophenrisiken) aufgenommen. Diese Anforderungen wurden im UVP-G 2000 umgesetzt. Der aktuelle UVE-Leitfaden (BMNT 2019) zur Erstellung von Umweltverträglichkeitserklärungen (UVE) enthält allgemeingültige und für möglichst viele Vorhabentypen relevante Grundsätze und Leitgedanken, die bei der Erstellung einer UVE beachtet werden sollen.

Die Umweltverträglichkeitserklärung (UVE) ist das Kernstück sowohl im UVP-Verfahren als auch im vereinfachten Verfahren (gemäß UVP-G 2000). Neben einer Beschreibung des geplanten Vorhabens hat die UVE primär sämtliche umweltrelevanten Angaben zu diesem zu enthalten. Über die im UVP-G 2000 explizit geforderten Angaben hinaus sind auch weitere Merkmale und Eigenschaften des Vorhabens zu beschreiben, wenn diese zur Ermittlung der wesentlichen Umweltauswirkungen notwendig sind. Insgesamt ist darauf zu achten, dass sich die Beschreibung des Vorhabens auf die für die Bewertung der Umweltauswirkungen notwendigen Angaben konzentriert.

2.2.3.1 UVP-Festlegung des Untersuchungsrahmens

Das UVP-G 2000 gibt in § 6 Abs. 1 die Inhalte der UVE vor. Die Festlegung des (vorläufigen) Untersuchungsrahmens (Scoping) ist ein wesentlicher Bestandteil des UVE-Konzeptes bzw. der UVE und trägt dazu bei, dass sich die UVE auf jene Fragen konzentriert, die für die Beurteilung der Auswirkungen wesentlich sind (z. B. durch Gliederung der Angaben in „prioritär“ oder „nicht prioritär“).

Der Untersuchungsrahmen wird durch folgende Aspekte determiniert:

- inhaltlicher Untersuchungsrahmen (Was wird in welcher Tiefe untersucht?)
- örtlicher Untersuchungsraum (schutzgutspezifisch verschieden)
- zeitlicher Untersuchungsrahmen.

2.2.3.2 Relevanzmatrix – Darstellung voraussichtlicher Umweltauswirkungen

Die Darstellung voraussichtlicher Umweltauswirkungen kann anhand einer Relevanzmatrix illustrativ abgebildet werden. In einer Relevanzmatrix wird für jede Phase (Bau, Betrieb, gegebenenfalls Stilllegung bzw. Nachsorge) sowie gegebenenfalls bei einer vorhabenbedingten Anfälligkeit für schwere Unfälle oder Naturkatastrophen angegeben, ob und in welcher Form das Projekt Auswirkungen auf seine Umgebung haben könnte.

Diese Matrix kann beispielsweise verwendet werden, um

- die prioritären, nicht prioritären und nicht relevanten Umweltauswirkungen, sowie
- die mittelbaren und unmittelbaren Auswirkungen

übersichtlich aufzuzeigen (BMNT 2019). In der Matrix werden umweltbezogene Wirkfaktoren (Ursachen) und Schutzgüter gegenübergestellt. Die Schutzgüter umfassen Mensch, Biologische Vielfalt, Fläche und Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Sach- und Kulturgüter. Wirkfaktoren sind quantitative und qualitative Veränderungen von Flächen, Materialien und Energie sowie Emissionen und visuelle Wirkungen.

2.3 Ökosystemleistungen im Bereich der Landwirtschaft

2.3.1 Überblick

Von der Natur erbrachte Ökosystemleistungen (ÖSL) wie fruchtbarer Boden, sauberes Trinkwasser oder der Schutz vor Naturgefahren, werden vom Menschen genutzt, um sein Wohlergehen zu gewährleisten und seine Lebens- und Ernährungsgrundlagen zu sichern.

Erhaltung und Beeinträchtigung von Ökosystemleistungen

Das Verhältnis zwischen Ökosystemleistungen und Landwirtschaft ist komplex. Einerseits greift die Landwirtschaft auf Ökosystemleistungen (z. B. Bodenfruchtbarkeit) zurück, andererseits stellt sie Ökosystemleistungen (z. B. Agrobiodiversität) zur Verfügung, von denen viele als Koppelprodukt der landwirtschaftlichen Produktion anfallen. Aufgrund ihrer umfangreichen Flächennutzung und der vielfachen Bewirtschaftungsformen hat die Landwirtschaft einen maßgeblichen Einfluss auf viele Ökosystemleistungen, wie Wasserbereitstellung, Wasserqualität, Bodenschutz und Klimaschutz. Die Landwirtschaft ist also sowohl an der Be-

reitstellung von Ökosystemleistungen durch die Gestaltung von Agrarökosystemen beteiligt als auch Nutzerin von Ökosystemleistungen (Umweltbundesamt 2011) (Abbildung 1). Landwirtschaft ist mit 980 Mrd. US\$ Handelswert pro Jahr die bedeutendste „ecosystem-services industry“ (MEA 2005).

Sie trägt einerseits zur Erhaltung derartiger Leistungen bei, kann aber andererseits auch durch Beeinträchtigung von Ökosystemen deren Fortbestand gefährden. Die Auswirkungen von Digitalisierungstechnologien auf Ökosystemleistungen im Bereich landwirtschaftlicher Ökosysteme sollten daher im Rahmen einer Umweltbewertung mitbetrachtet werden.

Gliederung Ökosystemleistungen

Das Millenium Ecosystem Assessment (MEA 2005) gliedert die Ökosystemleistungen in

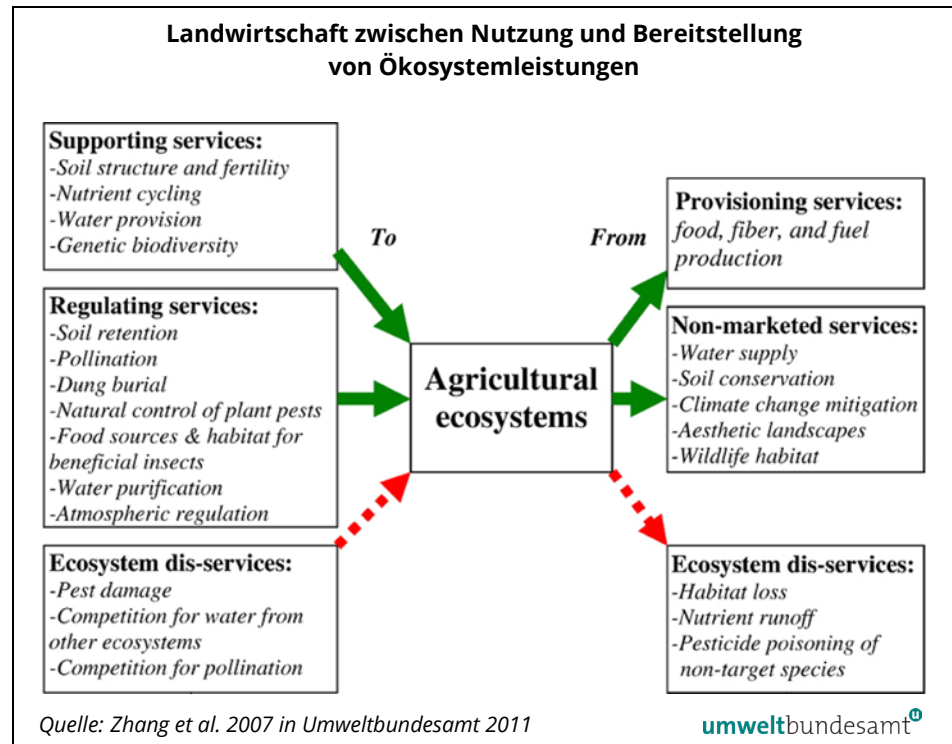
- versorgende Leistungen (provisioning services), wie das Zurverfügungstellen von Nahrungsmitteln, Trinkwasser, Holz, Brennstoffen
- selbstregulierende Leistungen (regulating services), wie Klimaregulierung, Luftreinigung, Verhinderung von Überschwemmungen (z. B. durch das Wasserrückhaltevermögen von Boden und Vegetation in Flussauen), Ausgleich bei Schädlingsbefall
- kulturelle Leistungen (cultural services), wie zum Beispiel Erholung, Erleben und Bildung in der Natur, Spiritualität, Befriedigung eines ästhetischen Empfindens
- Basisleistungen (supporting services), wie Photosynthese, Stoffkreisläufe, Bodenbildung

Indikatoren für Ökosystemleistungen

Eine nachhaltige Landwirtschaft erbringt eine Vielzahl verschiedener Leistungen für den Menschen, die zu den nachfolgenden Kategorien zusammengefasst werden können. Entsprechende Indikatoren zur Darstellung der ÖSL und dazu notwendige Datengrundlagen wurden in einem Inventar zusammengetragen (Umweltbundesamt 2011).

- Kulturlandschaft
- biologische Vielfalt
- Bodenfunktion
- Wasserqualität und Wasserverfügbarkeit
- Klimastabilität
- Reduktion der Hochwassergefahr
- Reduktion der Lawinengefahr
- Reduktion der Erosionsgefahr
- Nahrungsmittelsicherheit
- Genetische Vielfalt

Abbildung 1:
Landwirtschaft zwischen
Nutzung und
Bereitstellung von
Ökosystemleistungen



Für Österreich wurden wichtige Ökosystemleistungen mit geeigneten Indikatoren quantitativ erfasst und auch kartografisch dargestellt (Umweltbundesamt 2019a).

2.3.2 Ausgewählte Ökosystemleistungen und Ansätze zur Bewertung

Einige Ökosystemleistungen können besonders im Zusammenhang mit der Digitalisierung in der Landwirtschaft stehen bzw. durch diese beeinflusst werden und sollten daher in einer darauf abzielenden Umweltbewertung untersucht werden. Die entsprechend relevanten Ökosystemleistungen werden im Folgenden gemeinsam mit möglichen Indikatoren zur Bewertung dargestellt (Umweltbundesamt 2011):

2.3.2.1 Lebensraumfunktion und Kulturlandschaft

Vorteile vielfältiger Kulturlandschaften

Die vielfältige österreichische Kulturlandschaft ist das Ergebnis einer Jahrtausende alten Landbewirtschaftung und wichtiger Ausdruck des natürlichen und kulturellen Erbes des Landes. Besonders wenn ein Mosaik an unterschiedlichen Landnutzungen auf kleinem Raum vorkommt (Acker- und Grünlandflächen, Obstgärten, Wälder und Gebüsche) hat dies positive Auswirkungen auf die Biodiversität, da eine größere Anzahl an Nahrungsquellen und Habitaten zur Verfügung steht. Kleinstrukturierte, vielfältige Kulturlandschaften besitzen außerdem einen hohen landschaftsästhetischen Wert, bieten dem Menschen einen wichtigen Erholungsraum und tragen zur Lebensqualität bei (Umweltbundesamt 2011).

Indikatoren Indikatoren für diese Ökosystemleistung wurden bisher in Bezug auf die Erholungsleistung der Kulturlandschaft und das Wohlbefinden der Menschen (Nutzungskategorie Gesundheit) erarbeitet (Umweltbundesamt 2011). Aber auch Indikatoren aus dem Bereich Biologische Vielfalt, wie der Grad der Fragmentierung von biodiversitätsrelevanten Biotoptypen oder das Vorkommen von FFH-Lebensraumtypen², können dafür herangezogen werden.

2.3.2.2 Biologische Vielfalt

Wechselwirkungen biologische Vielfalt – Ökosystemleistungen Die biologische Vielfalt von Ökosystemen ist eine entscheidende Grundlage für die Bereitstellung der Ökosystemleistungen. Der Erhalt verschiedener Ökosysteme trägt damit zur Sicherung der biologischen Vielfalt und der Ökosystemleistungen bei.

Wenn man davon ausgeht, dass die Digitalisierung z. B. eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes herbeiführt, dann kann dadurch – in Abhängigkeit vom spezifischen Pflanzenschutzmittel, der ausgebrachten Menge und den Zielorganismen sowie der Definition von biologischer Vielfalt – potenziell eine positive Auswirkung auf die biologische Vielfalt gegeben sein.

Indikatoren Indikatoren für die biologische Vielfalt in Agrarökosystemen sind beispielsweise der Farmland Bird Index (FBI), der Bestand an Kulturlandvögeln (in %), High Nature Value Farmland (HNVF) (in %) oder der landwirtschaftliche Ertrag diverser von Bestäubung durch Insekten abhängiger Kulturpflanzen (in Tonnen pro Hektar).

2.3.2.3 Bodenfunktionen

Das Verhältnis zwischen Ökosystemleistungen und Landwirtschaft ist komplex. Ohne die Ökosystemleistung „Bodenfruchtbarkeit“ gäbe es keine landwirtschaftliche Produktion.

Bedeutung der Böden Gesunde Böden mit intakten Bodenfunktionen stellen eine wichtige Basis für die nachhaltige und somit langfristige Nahrungs- und Futtermittelproduktion dar. Darüber hinaus repräsentieren intakte Böden wichtige Kohlenstoffspeicher und sind Grundlage für den Erhalt der biologischen Vielfalt und der Landschaft sowie für das Wassermanagement.

Indikator Als Indikator kann die natürliche Ertragsfähigkeit des landwirtschaftlich genutzten Bodens dienen. Sie wird von der Finanzbodenschätzung ermittelt und umfasst Werte von 1 bis 100, welche sowohl die Boden-, Gelände-, Klima- und Wasserverhältnisse als auch die Einschätzung der landwirtschaftlichen Böden nach ihrer natürlichen Ertragsfähigkeit widerspiegeln (Umweltbundesamt 2019a).

² Lebensraumtypen nach Anhang I der Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen

2.3.2.4 Kohlenstoffspeicherung

**Faktoren für
Speicherkapazität**

Das Potenzial landwirtschaftlicher Böden, sowohl Kohlenstoffquelle als auch -senke darzustellen, hängt unter anderem stark von deren Bewirtschaftung ab (die Senke ist am größten, wenn geringe Bodenstörungen und geringer Abbau organischen Materials stattfinden). Andere wichtige Einflussfaktoren auf die Kohlenstoffspeicherkapazität sind Bodentyp, Bodenfeuchtigkeit und Vegetationsmuster.

Indikatoren

Als Indikatoren können die Veränderung in der Treibhausgasspeicherung pro Jahr durch Landnutzungsänderungen von und zu landwirtschaftlicher Nutzung (Tonnen CO₂ pro Jahr) und die CO₂-Vorräte für die einzelnen Landnutzungsformen Acker und Grünland dienen (als Vergleich werden die Vorräte 1990 herangezogen; Basis = 100 %) (Umweltbundesamt 2020).

2.3.2.5 Reduktion der Erosionsgefahr

Auslöser für Erosion

Bodenerosion durch Wasser und Wind trägt massiv zur qualitativen Verschlechterung landwirtschaftlicher Flächen bei. Die Anfälligkeit von Böden für Erosion hängt neben der Hangneigung auch von der Oberflächentextur des Bodens ab, die unter anderem durch den Ton-, Lehm- und Sandanteil bestimmt wird. Die Schäden auf landwirtschaftlichen Flächen beruhen auf verringerter Produktivität sowie auf erhöhtem Oberflächenabfluss von Wasser und Verlust von Nährstoffen. Durch eine entsprechende Bodenbedeckung, Wahl der Fruchtfolge und eine adäquate, standortgerechte Bewirtschaftung kann die Landwirtschaft stark zur Verminderung der Erosion beitragen. Da der Bodenverlust auf Ackerflächen das Zwölfwache des Verlustes im Dauergrünland ausmacht, kommt der Bewirtschaftung von Wiesen- und Weidesystemen als Dauergrünlandflächen eine besondere Bedeutung zu.

Indikator

Als Indikator kann der Erosionsschutzfaktor landwirtschaftlicher Nutzflächen herangezogen werden, der in vier Klassen eingeteilt wird (1 – sehr hoher Beitrag zum Erosionsschutz, 2 – hoher Beitrag zum Erosionsschutz, 3 – geringer Beitrag zum Erosionsschutz, 4 – sehr geringer Beitrag zum Erosionsschutz). Dazu werden Informationen zur potenziellen Erosionsgefährdung und zum Erosionsschutz mit der aktuellen Landnutzung in Beziehung gesetzt (Umweltbundesamt 2019a).

2.3.2.6 Produktionsfunktion: Nahrungsmittelsicherheit und nachwachsende Rohstoffe

**Inputfaktoren und
Indikatoren**

Die Nahrungsmittelsicherheit gehört zu den wichtigsten Leistungen des Sektors Landwirtschaft. Gemeinsam mit der Produktion von nachwachsenden Rohstoffen stellt sie die Produktionsfunktion dar. Da Ertragsteigerungen aber oft mit nachteiligen Umweltauswirkungen verbunden sind, sind sie nur in Zusammenhang mit einer nachhaltigen Produktion zu befürworten, die eine Bereitstellung von Nahrungsmitteln auf lange Sicht gewährleistet (Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Erhaltung der Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen). Basale Ökosystemleistungen, die als Inputfaktor in die Nahrungsmittelproduktion eingehen,

sind die Bodenfruchtbarkeit, die Bestäubungsleistung und die natürliche Schädlingsbekämpfung sowie die Bereitstellung von Futterpflanzen und organischen Düngemitteln. Die Leistung der Ökosysteme geht in die (vom menschlichen Einfluss geprägten) Leistungen der Landwirtschaft über.

Als Indikator dienen die Erträge der Produktion von Getreide und Mais oder auch der Ertrag des Grünlandes in Tonnen pro Jahr.

Nutztiere Das Tierwohl und die Gesundheit landwirtschaftlicher Nutztiere stellen wichtige Grundlagen für die Produktion qualitativ hochwertiger Lebensmittel dar. Geeignete landwirtschaftliche Tierhaltungssysteme und Managementmaßnahmen (Weidehaltung) stellen wichtige Voraussetzungen für die Ökosystemleistung Produktionsfunktion dar.

2.4 Synopse der Umweltkriterien und -indikatoren

Tabelle als Leitfaden zur Erfassung der Umweltwirkungen

Die in den Kapitel 2.1–2.3 beschriebenen Umweltkriterien und dazu gehörende Umweltindikatoren wurden umfassend in Tabelle 1 bis Tabelle 4 zusammengestellt. Ergänzend wurden zu vielen der Umweltkriterien sogenannte „Praxis-Indikatoren“ entwickelt, die im landwirtschaftlichen Betrieb leichter zu erheben sind als Umweltindikatoren, die aufgrund einer Bewertung (z. B. im Bereich biologische Vielfalt, Toxizität von Pflanzenschutzmitteln) durch Expert:innen und/oder aufgrund einer Datenerhebung und Berechnung (z. B. N-Bilanz, Treibhausgas-Emissionen, Ammoniak-Emissionen) erhoben werden müssen. Zum Beispiel werden hier Indikatoren zum Energieverbrauch, Zukaufsdaten an Dünge- und Futtermitteln, Wasserverbrauch, Größe der landwirtschaftlichen Nutzfläche etc. abgefragt.

Bewertung der Umweltauswirkungen

Auch Fragen, mit denen Umweltauswirkungen leichter erfasst und qualitativ, aber nicht quantitativ bewertet werden können, werden an die Anwender:innen der digitalen Technologie gestellt und in der Tabelle dargestellt. Beispiele dafür sind: Änderung des Treibstoffverbrauchs oder des Verbrauchs von Primärenergie bzw. Änderung des Energiebedarfs durch den Einsatz digitaler Technologien, Änderung der Zukäufe verschiedener Betriebsmittel durch die digitale Technologie etc.

Arbeiten mit der Tabelle: Iterativer Bewertungsvorgang

Diese Tabelle stellt ein Werkzeug dar, mit dem die möglichen Umweltauswirkungen eines Einsatzes von digitalen Technologien abgefragt, durchdacht, und erfasst werden können. Sie unterstützt außerdem die Ansprache nicht direkt auf der Hand liegender, also indirekter Begleitwirkungen. Sowohl qualitative als auch quantitative Angaben können – je nach Kenntnisstand – berücksichtigt werden. Mit der Verfügbarkeit neuer Erkenntnisse werden die Angaben laufend verbessert und dadurch kann sich dann auch das Ergebnis der Umweltbewertung ändern. Dieser iterative Vorgang ist wesentlich, um Entwicklungen der digitalen Technologie, aber auch des Erkenntnisstandes reflektieren und in die Umweltbewertung aufnehmen zu können.

Die Synopse der Umweltkriterien – gegliedert in Haupt- und Subaspekte – wurde in vier Umwelt-Wirkgruppen (siehe auch Kapitel 3.4) gegliedert und passende Umweltindikatoren und Fragen wurden den Umweltkriterien zugeordnet. Ausschnitte sind in Tabelle 1 bis Tabelle 4 dargestellt, die gesamte Tabelle ist bei den Autor:innen zu erfragen.

Tabelle 1: Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Betriebsmitteleffizienz. FarmLife: siehe Kap. 2.2.2, SAFA: siehe Kap. 2.2.1, GAP: siehe Kap. 2.1, AEI: siehe Kap. 2.1.1, UVE: siehe Kap. 2.2.3

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
Betriebsmitteleffizienz Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieeinsatz	Energieverbrauch	FarmLife: Nicht erneuerbare Energieressourcen. SAFA: Praktiken der Energieeinsparung, Energieverbrauch. GAP: C.42 Energieverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft sowie Lebensmittelindustrie R.16 Verbesserung der Energieeffizienz: Energieeinsparungen in der Landwirtschaft. AEI8: Energieverbrauch: Direkter Energieverbrauch (feste Brennstoffe, Mineralölerzeugnisse, Gas, Elektrizität, erneuerbare Energieträger, Wärme) in der Landwirtschaft UVE: Umweltwirkfaktor Energieverbrauch.	Energieverbrauch in kWh pro Jahr und ha; Treibstoffverbrauch pro Jahr und ha.
		Beitrag zur Bewirtschaftung erneuerbarer Energien	SAFA: Ziel für die Nutzung erneuerbarer Energien, Anteil erneuerbare und nachhaltige Energie. GAP: C.41 Erzeugung erneuerbarer Energie. I.12 Erhöhung erneuerbarer Energie aus der Landwirtschaft – Erzeugung erneuerbarer Energie aus Land- und Forstwirtschaft. R.15 Grüne Energie aus der Land- und Forstwirtschaft: Geförderte Investitionen in die Kapazitäten zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen, auch biobasiert. AEI24: Erzeugung erneuerbarer Energien: Erzeugung von erneuerbarer Energie aus Land- und Forstwirtschaft und Anteil der Landwirtschaft an der Erzeugung von erneuerbarer Energie	Anteil erneuerbarer Energie (EE) am Energieverbrauch.
	Materialeinsatz	Dünger- und Nährstoffeinsatz	SAFA: Nährstoffbilanz des Betriebs (N, P): N- und P-Effizienz. FarmLife: Phosphorverbrauch. AEI5: Verbrauch an mineralischen Düngemitteln. AEI15: Bruttostickstoffbilanz für die landwirtschaftlichen Flächen. AEI16: Phosphorbilanz für die landwirtschaftlichen Flächen. SAFA: Materialeinsatzpraktiken, erneuerbare und recycelte Materialien, Intensität des Materialeinsatzes. UVE: Art und Menge der verwendeten Materialien und Ressourcen, Umweltauswirkungen infolge der Nutzung natürlicher Ressourcen.	Zukauf an Düngemitteln, gesamt und N, P, K in kg pro Jahr und ha.
		Futtermittelbedarf (Energie, Protein)		Zukauf an Futtermitteln, nach Art inkl. Umrechnung in Rohprotein und Energiegehalt.
		Sonstige Betriebsmittel (Stroh etc.)		Sonstige Zukäufe, nach Art, in kg/Jahr.

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
		Pflanzenschutzmittel-Einsatz inkl. Toxizität	FarmLife: Menge und Art der Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Toxizität GAP: C. 48, I.27 Nachhaltige Verwendung von Pestiziden (1. Verkauf von Pestiziden, 2. Harmonisierte Risikoindikatoren (HRI), 3. Verkauf gefährlicher Pestizide). R.37 Nachhaltige Verwendung von Pestiziden: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die spezifische, mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden bestehen, um die Risiken und Auswirkungen von Pestiziden zu verringern. AEI6: Verbrauch an Pestiziden (Verkaufszahlen nach 6 Substanzgruppen). AEI17: Pestizidrisiko: Harmonisierte Risikoindikatoren.	Zukauf an PSM in kg/Jahr und ha.
	Wassereinsatz	Wasserverbrauch/-effizienz	SAFA: Wassereinsparungsziel, Wassereinsparungspraktiken, Entnahmen von Grund- und Oberflächenwasser. GAP: C. 18 Bewässerbare Fläche. C.37 Wassernutzung aus der Landwirtschaft (mittlere Bewässerungsmenge über fünf Jahre vor der DigTech vgl. mit Wassergabe mit DigTech in aufgrund des natürlichen Niederschlages vergleichbaren Jahren). I.17 Verringerung des Drucks auf Wasserressourcen: Wasserverbrauchsindex Plus (WEI+). R.22 Nachhaltige Nutzung von Wasser: Anteil der bewässerungsfähigen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur Verbesserung des Wasserhaushalts bestehen. AEI7: Bewässerung: Landwirtschaftliche Gesamtfläche, die für die Bewässerung ausgerüstet ist (bewässerbare Fläche) und tatsächlich bewässerte Fläche. AEI20: Wasserentnahme: Menge des für die Bewässerung verwendeten Wassers und Anteil der Bewässerung an der gesamten Wasserentnahme. UVE: Schutzgut Wasser: Grund- u. Oberflächengewässer: Umweltauswirkungen infolge der Nutzung natürlicher Ressourcen. Umweltwirkfaktor Veränderung des Wasserhaushalts (quantitativ).	Wasserverbrauch in m ³ /Jahr; Größe der bewässerten Fläche in ha.
	Landnutzung	Ausmaß und Wertigkeit der Flächen	FarmLife: Landnutzung. GAP: C.17 Landwirtschaftlich genutzte Fläche, C.45, I.9: Ökologische Resilienz: Erfassung der Wertigkeit der Flächen. AEI9: Änderung der Landnutzung (Ackerland, Grünland, Dauerkulturen, Sonstige). AEI10: Anbauformen: Landwirtschaftliche Nutzfläche und Verteilung der wichtigsten landwirtschaftlichen Bodenbedeckungstypen: Ackerland, Dauergrünland, Dauerkulturen und Hausgärten.	Größe der LN in ha, unterteilt nach Ackerland, Grünland, Dauerkulturen, Sonstige

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
	Nutztiere	Tierzugang, Nachzucht		zugekaufte Tiere/Jahr, zugekaufte Tiere/Jahr und ha
	Arbeitskraft/Zeit			Arbeitszeit/Woche
<i>Schnittstelle Sozioökonomie</i>	<i>Arbeitseinsatz</i>			
	<i>Kosten</i>		<i>AEI12: Intensivierung/Extensivierung: Anteil der von Betrieben mit geringer, mittlerer und hoher Intensität bewirtschafteten landwirtschaftlichen Fläche. Durchschnittliche Inputausgaben pro Hektar in konstanten Inputpreisen (% der LN, €/ha in konstanten Inputpreisen).</i>	

Tabelle 2: Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Produktionssuffizienz. FarmLife: siehe Kap. 2.2.2, SAFA: siehe Kap. 2.2.1, GAP: siehe Kap. 2.1, AEI: siehe Kap. 2.1.1, UVE: siehe Kap. 2.2.3

Umwelt-Wirkgruppe	Haupt-aspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
Produktions-suffizienz	Produkte/ Erträge	Produktmenge, Lebensmittelkonversion, Brutto- und Nettooutput		Erträge in kg/ha, Nebenprodukte in kg/ha, produzierte Biomasse/Energie
	Stoffausträge	Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser/Boden; Wasserqualität (N, P, Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel, Abwasserqualität)	<p>SAFA: Nährstoffbilanz.</p> <p>GAP: C.38 Wasserqualität: Bruttonährstoffbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen N, P, I.15 Verbesserung der Wasserqualität: Bruttonährstoffbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen,</p> <p>I.16 Nitrat im Grundwasser.</p> <p>FarmLife: Stickstoffeintrag in Wasser, Phosphoreintrag in Wasser, Wirkung Schwermetalle auf Wasser, Wirkung Schwermetalle auf Menschen, Wirkung Pestizide auf Wasser, Wirkung Pestizide auf Menschen.</p> <p>SAFA: Ziel für sauberes Wasser, Praktiken zur Verhinderung von Wasserverschmutzung, Konzentration von Wasserschadstoffen, Abwasserqualität.</p> <p>GAP: C.38 Wasserqualität: Nitrat im Grundwasser; I.16 Verringerung der Nährstoffauschwemmung: Nitrat im Grundwasser, R.20 Schutz der Wasserqualität: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen bezüglich der Wasserqualität bestehen, R.21 Nachhaltige Nährstoffbewirtschaftung: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen im Zusammenhang mit einer besseren Nährstoffbewirtschaftung bestehen.</p> <p>AEI15: Bruttostickstoffbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen.</p> <p>AEI16: Phosphorbilanz auf landwirtschaftlichen Flächen.</p> <p>AEI27.1: Wasserqualität – Verunreinigung durch Nitrate.</p> <p>AEI27.2 (archiviert): Wasserqualität – Verunreinigung durch Pestizide.</p> <p>UVE: Schutzgut Wasser: Grund- u. Oberflächengewässer; Umweltwirkfaktor Veränderung des Wasserhaushalts (qualitativ), Umweltwirkfaktor flüssige Emissionen inkl. Oberflächenentwässerung.</p>	Nährstoffbilanz: betrieblich und schlagbezogen, kg N und P/ha; Teilnahme an Maßnahmen zum verbesserten Nährstoffmanagement und nachhaltigen Pflanzenschutzmitteleinsatz.
Output, Emissionen				
Ertragsstrategie (standortangepasster Ertrag?), Produkte, Emissionen inkl. THG-Emissionen, Lärm				
Optimierung im Gesamtsystem				

Umwelt-Wirkgruppe	Haupt-aspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
		Nährstoff- und Schadstoff-austräge in die Luft; Luft und Klima (THG-, NH ₃ -Emissionen, Konzentrationen)	FarmLife: Treibhausgas-Emissionen, Ammoniak-Emissionen. SAFA: THG-Reduktionsziel, THG-Minderungspraktiken, THG-Bilanz, Ziel zur Verringerung der Luftverschmutzung, Praktiken zur Vermeidung von Luftverschmutzung, Immissionskonzentration von Luftschadstoffen; GAP: C.43 THG-Emissionen, I.10 Beitrag zum Klimaschutz: Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft, I.11 Ausweitung der CO ₂ -Bindung: Gehalt an organischem Kohlenstoff im landwirtschaftlichen Boden, R.17 Aufgeforstete Flächen: Geförderte Flächen zur Aufforstung und Anlage von Wäldern, einschließlich Agrarforstwirtschaft, C.46 Ammoniak-Emissionen, I.14 Verbesserung der Luftqualität: Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, R.13 Verringerung der Emissionen im Tierhaltungssektor, R.19 Verbesserung der Luftqualität: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur Verringerung der Ammoniak-Emissionen bestehen; AEI11c: Lagerung von Wirtschaftsdüngern: Betriebe mit Lagermöglichkeiten für Wirtschaftsdünger, unterteilt in Festmist, Flüssigmist und Gülle. AEI18: Ammoniak-Emissionen (archiviert) (in t); AEI19: Treibhausgas-Emissionen, aufgeschlüsselt nach Quellensektoren gemäß IPCC (t CO ₂ -Äquivalent, %); UVE: Schutzgut Luft, klimatische Faktoren; Umweltwirkfaktor gas- und partikelförmige Emissionen; Ozon-, PM ₁₀ -, NO ₂ -Immissionssituation; NH ₃ -, NO _x -, NMVOC-Emissionen	Anwendung von THG-Minderungspraktiken; Ammoniak-Minderungspraktiken.
	Abfälle	Arten, Menge und Entsorgung von Abfällen	SAFA: Abfallreduktionsziel, Praktiken zur Abfallreduzierung, Abfallentsorgung, Reduktion von Lebensmittelverlust und -abfall, Anteil der Lebensmittelabfälle, der wiederverwendet, recycelt oder verwertet wird.	Abfallmengen pro Jahr und ha, Anteil Lebensmittelabfälle, der verwertet wird.
	nichtstoffliche Austräge	Schallemissionen/Lärm, Erschütterungen, optische Störungen / visuelle Wirkungen, Licht, Geruch, Wärme und Strahlung, Staub	UVP: Umweltwirkfaktoren Schallemissionen/Lärm, Erschütterungen, optische Störungen / visuelle Wirkungen, Licht, Wärme und Strahlung, Schutzgut Mensch: Gesundheit und Wohlbefinden, Raum, Wohnen und Erholen, Schutzgut Landschaft (inkl. Erholung)	Verminderung oder Erhöhung nichtstofflicher Austräge; Änderung visuelle Wirkungen / Landschaft
<i>Schnittstelle Sozioökonomie</i>	<i>Abfallmanagement</i>	<i>Abfallreduktionsziele und -praktiken</i>		
	<i>Umsatzwachstum</i>			
	<i>Arbeitsumfang</i>			
	<i>Familieneinkommen</i>			

Tabelle 3: Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Ökologische Resilienz. FarmLife: siehe Kap. 2.2.2, SAFA: siehe Kap. 2.2.1, GAP: siehe Kap. 2.1, AEI: siehe Kap. 2.1.1, UVE: siehe Kap. 2.2.3

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
Ökologische Resilienz geringe Vulnerabilität durch Tierwohl, Biodiversität, guten Bodenzustand	Biologische Vielfalt	Lebensraumvielfalt und -konnektivität, Vielfalt und Abundanz von Schlüsselarten, genetische Vielfalt wildlebender Arten, Agrobiodiversität	GAP: C.36 Trends zu Arten und Lebensräumen, I.19 Erweiterung des Schutzes der Biodiversität: Anteil der mit der Landwirtschaft zusammenhängenden Arten und Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse mit stabilen oder zunehmenden Trends, R.27 Erhaltung von Lebensräumen und Arten: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zum Erhalt oder zur Wiederherstellung der Biodiversität bestehen, C.19 Landwirtschaft in Natura-2000-Gebieten, R.28 Unterstützung von Natura 2000: Anteil der Flächen innerhalb von Natura-2000-Gebieten, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zum Schutz, zur Erhaltung und zur Wiederherstellung bestehen, C.20 Benachteiligte Gebiete, C.21 Landschaftselemente (LSE), I.20 Verbesserte Bereitstellung von Ökosystemleistungen: Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche mit Landschaftselementen, R.29 Erhaltung von Landschaftselementen: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur Bewirtschaftung von Landschaftselementen, einschließlich Hecken, bestehen, C.35 Farmland Bird Index, I.18 Erhöhung der Feldvogelpopulationen: Farmland Bird Index, AEI2: Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche im Rahmen von Natura 2000, AEI22: Genetische Vielfalt, AEI25: Bestand der Feldvögel (Farmland Bird Index, FBI) (Populationsindex). UVP: Schutzgut Biologische Vielfalt, Tiere, Pflanzen, Lebensräume; SAFA: Plan zur Erhaltung der Lebensräume in der Landschaft, Praktiken zur Verbesserung der Ökosystemdienstleistungen (funktionelle Zusammenhänge), Strukturelle Diversität von Ökosystemen, Konnektivität von Ökosystemen, Veränderung der Landnutzung und Landbedeckung; Artenschutzziel, Praktiken des Artenschutzes, Vielfalt und Abundanz von Schlüsselarten, Diversität der Produktion; Praktiken zur Förderung der wildlebenden genetischen Vielfalt, Agrobiodiversität in-situ-Erhaltung, Lokal angepasste Sorten und Rassen, Genetische Vielfalt bei wildlebenden Arten, Erhalt von Saatgut und Rassen.	Änderung der Anzahl/Fläche/ Konnektivität von Landschaftselementen; Änderung der durchschnittlichen Schlaggröße; Änderung der Kulturarten- und Sortenvielfalt; Schnitthäufigkeit der Grünlandflächen; Schnittzeitpunkt erster Schnitt der Grünlandflächen; Entwicklung ausgewählter Indikatorarten; Veränderung des Anteils alter Tierassen und seltener Saatgutsorten
	Anpassung an den Klimawandel, Veränderungs-/Anpassungs-	Kulturartenvielfalt, resiliente Kulturen / Pflanzenbestand, Bodenbedeckung, Gebäudekühlung, Wasserversorgung	GAP: C.44 Resilienz, I.9 Erhöhung der landwirtschaftlichen Resilienz gegen den Klimawandel, R.12 Anpassung an den Klimawandel: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die	

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
	/Entwicklungspotenzial, Resilienz gegenüber Schadereignissen (Wetter, Schadorganismen, Dürre)		mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur Verbesserung der Anpassung an den Klimawandel bestehen, C.45 Katastrophenbedingte direkte Verluste in der Landwirtschaft.	
	Bodenfruchtbarkeit und -degradation	Bodenphysikalische Struktur, bodenchemische Qualität, biologische Qualität des Bodens, Nettoverlust/-gewinn an produktivem Land	SAFA: Bodenphysikalische Struktur, Bodenchemische Qualität, Biologische Qualität des Bodens, Organische Bodensubstanz. GAP: C.39 Organische Substanz in Ackerland, I.11 Ausweitung der CO ₂ -Bindung: Gehalt an organischem Kohlenstoff im landwirtschaftlichen Boden, R.14 Verringerung landnutzungsbedingter Emissionen und Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Boden und in Biomasse: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen bestehen, Emissionen zu verringern, die Speicherung von CO ₂ beizubehalten und/oder auszuweiten (Dauergrünland, landwirtschaftliche Flächen in Torfgebieten, Wälder usw.); C.40 Bodenerosion durch Wasser; I.13 Verringerung der Bodenerosion: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen mit mittlerer und schwerer Bodenerosion; R.18 Verbesserung der Bodenqualität: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen für eine bodenschonende Bewirtschaftung bestehen; AEI11: Landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmethoden: AEI11a: Bodenbedeckung: Anteil der Ackerflächen, die mit Winterkulturen, Ernterückständen, Deck-/Zwischenfrüchten oder mehrjährigen Kulturen über Winter bedeckt sind. Anteil des Dauergrünlands an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Anteil der mit Mais (Grün- und Körnermais) bebauten Ackerfläche, AEI11b: Bodenbearbeitungsmethoden: Anteil der drei Bodenbearbeitungsmethoden: konventionelle Bodenbearbeitung, konservierende Bodenbearbeitung und Null-Bodenbearbeitung an der gesamten Ackerfläche und der gesamten bearbeitbaren Fläche, AEI21 Bodenerosion: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, die von einer bestimmten Rate der Bodenerosion durch Wasser betroffen sind. Prozentsatz der von mäßiger oder schwerer Bodenwassererosion betroffenen Fläche, AEI26: Bodenqualität (archiviert): Es wurde ein Agrarumweltindex für die Bodenqualität entwickelt, der aus vier Teilindikatoren mit ähnlichem Gewicht besteht: Produkti-	

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
			vitätsindex, Düngemittelreaktionsrate, Produktionsstabilitätsindex, Index der Umweltleistungen des Bodens. UVP: Schutzgut Boden: Boden und Untergrund (inkl. Altlasten), Umweltwirkfaktor Bodenveränderung. SAFA: Plan zur Erhaltung und Sanierung des Bodens, Bodenerhaltungs- und -sanierungspraktiken, Nettoverlust/-gewinn an produktivem Land. UVE: Schutzgut Fläche: Flächeninanspruchnahme und -versiegelung inkl. Beseitigung von Vegetationsstrukturen.	
	Vielfalt an Ökosystemleistungen (ÖSL)	Sicherung multipler Ökosystemleistungen Produktionsfunktion, Erholungsfunktion, Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt, Bodenfunktionen, Kohlenstoffspeicherung, Reduktion der Erosionsgefahr, Nahrungsmittelsicherheit/Rohstoffe)	Produktionsfunktion: Ertrag der Produktion von Getreide und Mais, Ertrag des Grünlandes; Lebensraumfunktion und Biologische Vielfalt: Insektenbestäubungsabhängiger landwirtschaftlicher Ertrag; Bodenfunktionen: Fruchtbarer Boden für die landwirtschaftliche Nutzung in der Wertzahl der Finanzbodenschätzung (1–100); Reduktion der Erosionsgefahr: Erosionsschutzfaktor landwirtschaftlicher Nutzflächen (vier Klassen).	
	robuste Tierbestände	Gesunde Tiere, Weideausmaß, Zucht/Selektion	SAFA: Tiergesundheitspraktiken, Tiergesundheit; GAP: C.47/I.26 Beschränkung des Einsatzes antimikrobieller Mittel bei Nutztieren: Verkäufe/Verwendung von antimikrobiellen Mitteln bei der Lebensmittelgewinnung dienenden Tieren; R.36 Beschränkung des Einsatzes antimikrobieller Mittel: Anteil der Großvieheinheiten, für die – zur Förderung der Gesundheit oder verstärkter Biosicherheitsmaßnahmen – geförderte Maßnahmen zur Beschränkung des Einsatzes antimikrobieller Mittel (keine antimikrobiellen Mittel bzw. geringere Mengen an antimikrobiellen Mitteln) durchgeführt wurden.	Einsatz von Antibiotika
<i>Schnittstelle Sozioökonomie</i>	<i>Betriebsdiversität, Diversifizierung in Produkten und Betriebszweigen; Sekundäreinkommen der Landwirtschaft (Tourismus, Schule/Bildung, Green Care etc.)</i>	<i>Aktivitäten im Artenschutz, Betriebszweiganzahl</i>	<i>AEI13: Spezialisierung: Anzahl und Anteil der landwirtschaftlichen Betriebe nach Spezialisierung: Spezialist für Pflanzenbau, Spezialist für Viehzucht, gemischte Landwirtschaft, nicht klassifizierbare Betriebe (FSS-Daten). Anteil der nach Spezialisierungsarten bewirtschafteten LF (Anzahl, %).</i>	

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
	Ökonomische Resilienz		<i>AEI14: Risiko der Flächenaufgabe (Indikator archiviert): Das Risiko der Aufgabe landwirtschaftlicher Flächen wurde anhand einer statistischen Analyse der wichtigsten Faktoren geschätzt, die zu einem zusammengesetzten Index zusammengefasst wurden: schwacher Bodenmarkt, geringes landwirtschaftliches Einkommen, fehlende Investitionen in den Betrieb, hoher Anteil von Betriebsinhabern über 65 Jahren, hoher Anteil von Betriebsinhabern mit geringer Qualifikation, geringe Betriebsgröße, Abgelegenheit und geringe Bevölkerungsdichte, geringer Anteil von Betrieben, die sich an spezifischen Regelungen zur Weiterführung der Landwirtschaft beteiligen.</i>	
	Arbeitsbelastung			<i>Nachhaltigkeitsindikator für die Arbeitsbelastung (Verhältnis von benötigten zu auf dem Betrieb vorhandenen Arbeitskräften bzw. Arbeitszeitbedarf im Verhältnis zu den auf dem Hof vorhandenen Arbeitskräften) Verhältnis zu den laut AGIS-Daten vorhandenen Arbeitskräften auf dem Hof</i>
	Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen	Arbeitsfreude		<i>Finanzielles und Arbeitsbedingungen, Wohnbedingungen, Gesundheit, Work-Life-Balance, Bildung und Fähigkeiten, Soziale Beziehungen, Bürgerengagement und Governance, Subjektives Wohlbefinden</i>

Tabelle 4: Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Ökosystemare Konsistenz. FarmLife: siehe Kap. 2.2.2, SAFA: siehe Kap. 2.2.1, GAP: siehe Kap. 2.1, AEI: siehe Kap. 2.1.1, UVE: siehe Kap. 2.2.3

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
Ökosystemare Konsistenz (Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur)	Ertragsstrategie und Standortkenntnis	Erfahrung in der Bewirtschaftung, standortangepasste Ertragserswartung	GAP: I.1 Wissensaustausch und Innovation: Anteil von Wissensaustausch und Innovation am GAP-Haushalt, R.1 Steigerung der Leistung durch Wissen und Innovation: Anzahl der Personen, die für Beratung, Schulung, Wissensaustausch oder Beteiligung an operativen Gruppen im Rahmen der EIP Unterstützung erhalten, R.24 Umwelt-/Klimaleistungen durch Wissen: Anzahl der Personen, die von Beratung, Schulung, Wissensaustausch im Zusammenhang mit Umwelt-/Klimaleistungen profitieren, die im Rahmen der GAP unterstützt werden, C.33 Bewirtschaftungsintensität (Inputkosten/ha), AEI3: Ausbildungsniveau der Landwirt:innen und Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Beratungsdiensten (% der Betriebsinhaber:innen mit Basis- oder Vollausbildung oder ausschl. praktischer Erfahrung).	Berufsjahre, Abschluss. Anzahl Weiterbildungen in den letzten 5 Jahren
	Ökosystemares Denken, geschlossene Nährstoffkreisläufe	Aus- und Weiterbildung für umweltrelevante Inhalte; Nährstoff-, Humusbilanz (Hoftorbilanz bzw. kleinregional)	GAP: C.38 Wasserqualität: Bruttonährstoffbilanz N, P, GAP: R.37 Nachhaltige Verwendung von Pestiziden: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen, für die spezifische, mit einer Unterstützung verbundene Verpflichtungen zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden bestehen, um die Risiken und Auswirkungen von Pestiziden zu verringern, C.32 Biolandbauflächen, AEI4: Fläche mit ökologischem Landbau (ha, % LN).	ausgeglichene Nährstoffbilanz; ausgeglichene/positive Humusbilanz; Anteil hofeigene Futtermittel an den gesamten Futtermitteln, Anteil hofeigener Wirtschaftsdünger am Gesamtdüngereinsatz, Anteil biologisch bewirtschafteter Fläche

Umwelt-Wirkgruppe	Hauptaspekte	Subaspekte	Agrar-Umweltindikatoren	Praxis-Umweltindikatoren
	Standortangepasste, naturverträgliche Bewirtschaftung	Angepasste Flächennutzung, Intensität und Kulturartenverteilung, Viehbesatz, abgestufte Nutzung, intensive und extensive Flächen	Flächennutzungseffizienz, Ausmaß an High Nature Value Farmland; GAP: C. 22 Viehbestand, C.23 Viehdichte; AEI1: Agrarumweltverpflichtungen: Anteil (%) der Flächen mit Agrarumweltverpflichtungen an der gesamten LN; AEI10: Tierhaltungsformen: Index der Viehbesatzdichte je ha LN, Index der Weideviehdichte: Weidevieh (Rinder, Schafe, Ziegen und Equiden) auf Futterflächen (Dauergrünland und Futterpflanzen auf Ackerland), Viehbestand insgesamt und nach Kategorie (Rinder, Schweine, Geflügel, Schafe, Ziegen, Einhufer); AEI23: Landwirtschaftliche Flächen mit hohem Naturwert: Anteil der landwirtschaftlichen Flächen mit hohem Naturschutzwert (High Nature Value Farmland) an der landwirtschaftlichen Nutzfläche, AEI28 (archiviert): Landschaft – Zustand und Vielfalt: Der Indikator war in drei Komponenten gegliedert: Physische Struktur der Landschaft, Hemerobie-Index, gesellschaftliches Bewusstsein für die Agrarlandschaft.	Tierbestand in GVE und GVE/ha; Nährstoffbilanz Fläche und Anteil an Landschaftselementen
	Tierwohl	Artgerechte Haltung, Mensch-Tier-Beziehung	R.38 Verbesserung des Tierschutzes: Anteil der Großvieheinheiten, für die geförderte Maßnahmen zur Verbesserung des Tierschutzes durchgeführt wurden. SAFA: Humane Praktiken im Umgang mit Tieren, an Bedürfnisse angepasste Tierhaltung, Stressfreiheit.	Verändert sich durch die DigTech die Wahrnehmung von Tierwohlaspekten?
<i>Schnittstelle Sozioökonomie</i>	<i>Wissen und Kooperation</i>			
	<i>Integriertes Betriebsmanagement</i>			
	<i>Lebensqualität, Zufriedenheit</i>			

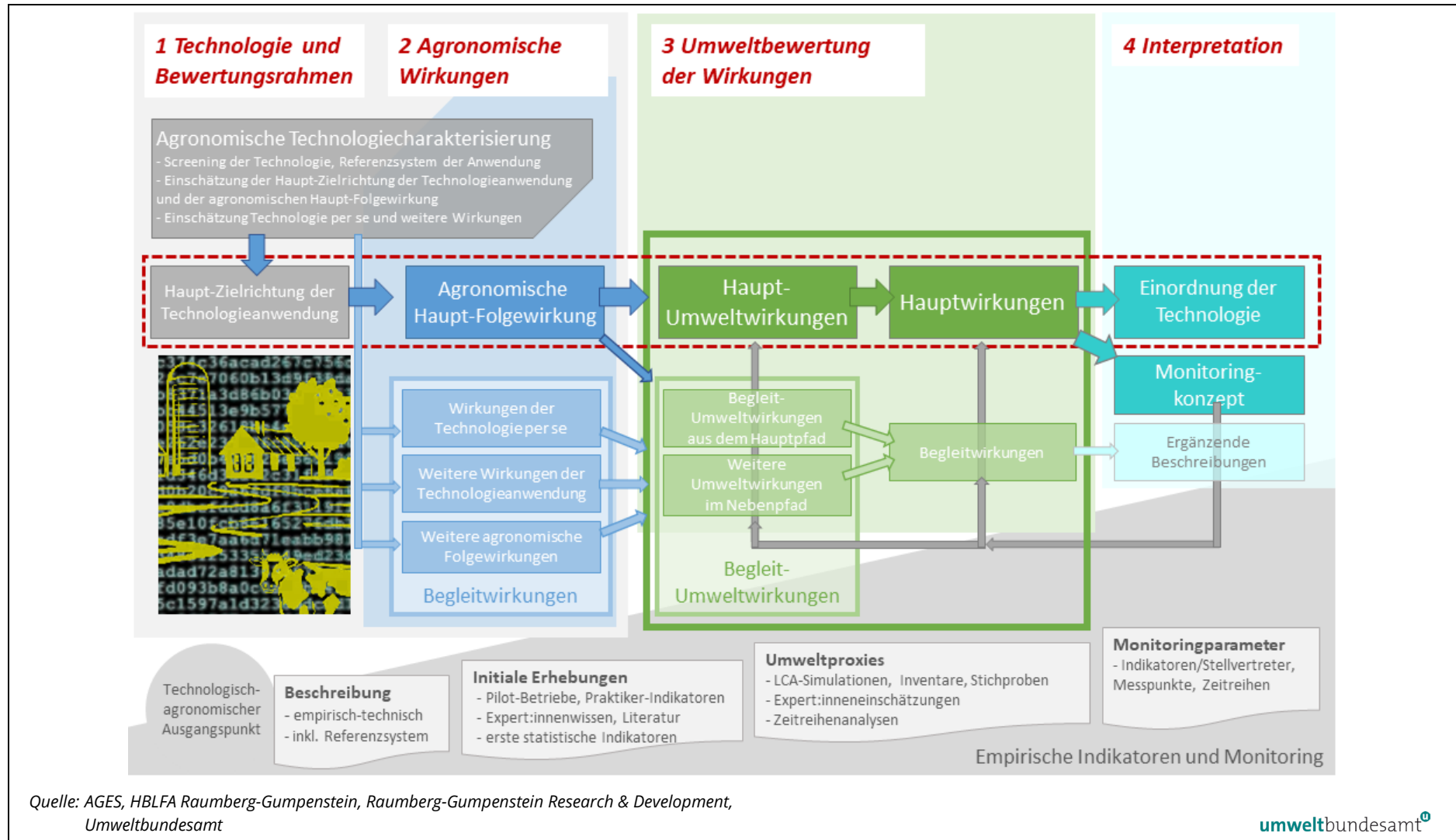
3 VORGANGSWEISE FÜR DIE UMWELTBEWERTUNG DIGITALER TECHNOLOGIEN

In Kapitel 2 wurde die Herleitung eines Sets an Indikatoren beschrieben, die zur Erfassung von potenziellen Umweltfolgen dienen. In diesem Kapitel wird nun ein Leitfaden präsentiert, der die Anwendung dieser Indikatorenliste und die darauf aufbauende Bewertung aus Umweltsicht beschreibt. In vier Stufen (entsprechend den vier Unterkapiteln) wird ein Verfahren dargestellt, das von der Klärung und Strukturierung der Problemstellung über die Erfassung der Wirkungen, die Umweltbewertung bis zur zusammenfassenden Kurzdarstellung reicht (Überblick in Abbildung 2).

Unterscheidung von Hauptwirkung und Begleitwirkung

Als übergeordnetes methodisches Prinzip wird eine Unterscheidung zwischen Haupt- und Begleitwirkungen vorgeschlagen: Der Einsatz einer Technologie hat bestimmte agronomische Hauptwirkungen zum Ziel, und es ergeben sich direkt daraus agronomische Folgewirkungen; diese werden als agronomische Haupt-Folgewirkungen bezeichnet. Diese wiederum können Haupt-Umweltwirkungen auslösen. Analog dazu werden weitere Effekte, die nicht direkt beabsichtigt sind, als Begleitwirkungen und ihre Umweltwirkungen als Begleit-Umweltwirkungen bezeichnet. Diese Unterscheidung ermöglicht es, sich in den komplexen Wirkungszusammenhängen eines landwirtschaftlichen Betriebes und seiner Umweltbeziehungen auf die dominanten Effekte zu konzentrieren. Die Begleitwirkungen werden aber auch berücksichtigt und können bei starken Effekten ebenfalls in die Bewertung eingehen.

Abbildung 2: Struktur des Umweltbewertungskonzeptes im Überblick



3.1 Technologie und Bewertungsrahmen

Die agronomische Technologiecharakterisierung (Beschreibung der landwirtschaftlichen Anwendung der Technologie) bildet die Basis der Bewertung. Sie umfasst die Feststellung der Haupt-Zielrichtung des landwirtschaftlichen Technologieeinsatzes und des betrachteten Untersuchungsrahmens (Anwendungsumfeld mit Referenzsystem, Systemgrenzen und Wirkungsdimensionen).

Charakterisierung der Technologie und Referenzsystem

Die agronomische Technologiecharakterisierung umfasst die Beschreibung ihrer Funktionen verbunden mit der Einschätzung über ihren Einsatzzweck bzw. über realistische Technologieanwendungen und die Anwendungsumgebungen. Unterschiedliche empirische Quellen, wie technische Beschreibungen, Expertisen, dokumentierte Anwendungen, Studien und/oder eigene Erhebungen, können diesen Punkt unterstützen.

3.1.1 Haupt-Zielrichtung

Abbildung 3:
Agronomische Technologiecharakterisierung zur Identifikation der Haupt-Zielrichtung und Hauptwirkung der Technologie



Zunächst ist eine Fokussierung auf die Haupt-Zielrichtung der Technologieanwendung erforderlich. Hier soll das hauptsächliche Ziel der landwirtschaftlichen Anwendung der Technologie beschrieben werden.

3.1.2 Bewertungsrahmen (Referenzsystem und Systemgrenzen)

Im Zuge der agronomischen Technologiecharakterisierung ist auch das Referenzsystem der Technologieanwendung zu erfassen und festzuhalten (Abbildung 3). Das Referenzsystem beschreibt die Anwendungsumgebung ohne den Einsatz der zu bewertenden Digitalisierungstechnologie. Im Fall der Bewertung einer Innovation zu einer bereits bestehenden digitalen Technologie („Upgrade“) bildet die zuvor bestehende Technologie die Referenz. Die eingangs definierte Funktion der Technologie wird im Referenzsystem auf eine andere Art und Weise (durch eine andere Technologie) umgesetzt und/oder kann in vermindertem Ausmaß oder gar nicht gegeben sein, sodass sich mit der neuen Technologie Prozesse verändern und gegenüber dem Referenzsystem zu beschreiben sind.

Systemgrenzen und Wirkungsdimensionen

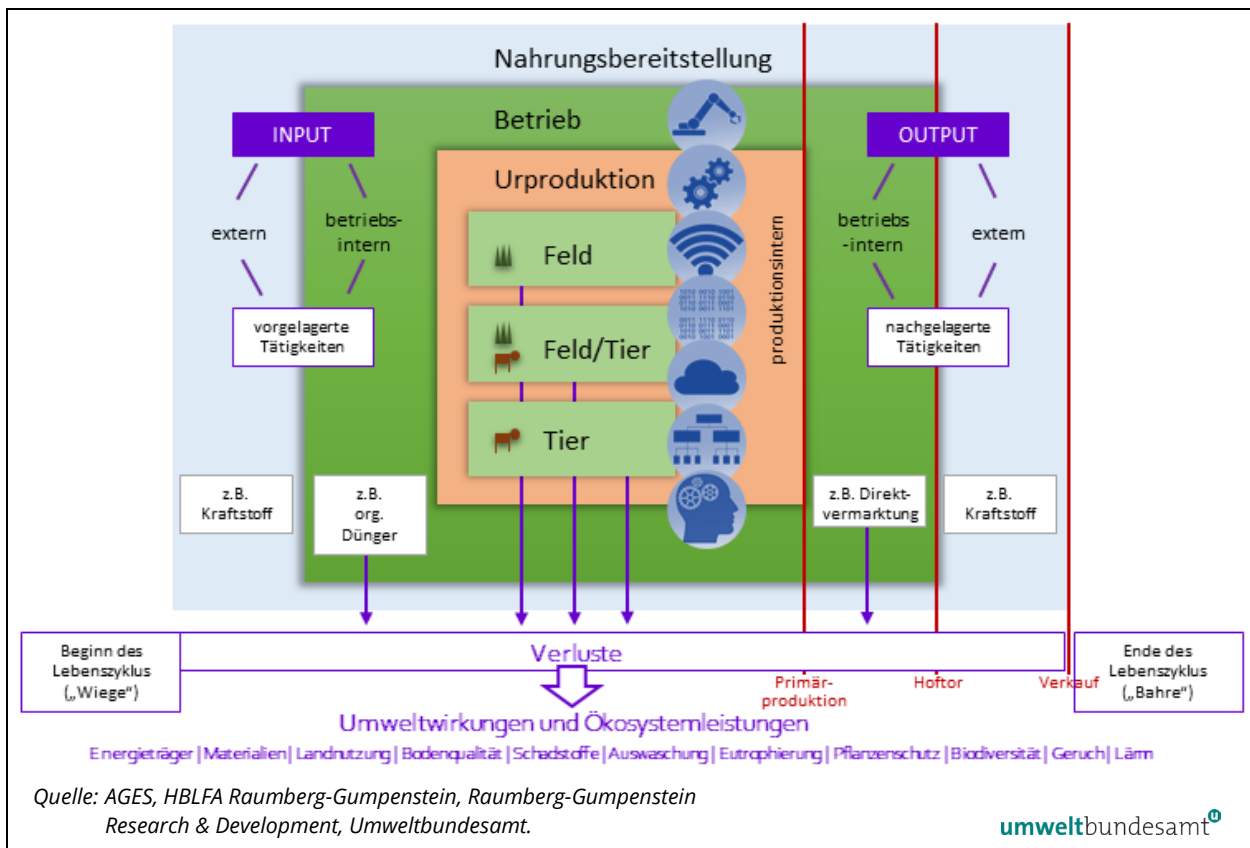
Parallel zur Definition der Haupt-Zielrichtung und des Referenzsystems der Technologie ist das Augenmerk auf die Bestimmung der Systemgrenzen und auf die Abbildung der betrachteten Dimensionen zu legen. Soweit sich die definierte Funktion der Technologieanwendung auf die Urproduktion am Landwirtschaftsbetrieb bezieht, kann insbesondere die Wahl einer Systemgrenze am Hoftor unter Berücksichtigung der notwendigen Inputs begründet sein (Abbildung 4). In den meisten Fällen wird die Anwendung einer Digitalisierungstechnologie eine Veränderung der Vorleistungen implizieren.

Abhängig von der Technologie und vom Produktionssystem können

- Prozesse im Bereich von Feldbewirtschaftung und Pflanzenbau,
- Prozesse im Bereich der Tierhaltung,
- Interaktionen zwischen Feldbewirtschaftung und Tierhaltung oder auch
- der Urproduktion nachgelagerte Verarbeitungsschritte, die innerhalb der landwirtschaftlichen Produktion liegen,

betroffen sein.

Abbildung 4: Darstellung von räumlichen und prozessualen Systemgrenzen landwirtschaftlicher Produktion



Bei Anwendungsfällen, deren Haupt-Zielrichtung über die einzelbetriebliche Urproduktion hinausgeht, kann auch die Wahl einer anderen räumlichen Systemgrenze, etwa auf der regionalen Ebene, erforderlich sein.

zeitliche Dimension, Prozessketten

Für die Festlegung des betrachteten Systems und seiner Grenzen hat, neben den oben angeführten räumlichen und prozessualen Bezugspunkten der Technologieanwendung, in jedem Fall auch eine Berücksichtigung von zeitlichen Systemgrenzen zu erfolgen. Die zeitliche Dimension umfasst die Fristigkeit der betrachteten Wirkungen. Darüber hinaus sind Modifikationen entlang der Prozesskette, stoffliche oder energetische Wirkungen und die Frage unterschiedlicher funktioneller Einheiten in die Überlegungen miteinzubeziehen, um die Wirkungsdimensionen umfassend darzustellen. Jede Wirkungsdimension ist zu beschreiben, beispielsweise ist die Wahl einer funktionellen Einheit bzw. das Herausgreifen einer bestimmten landwirtschaftlichen Funktion zu begründen bzw. sind gegebenenfalls auch mehrere Funktionen parallel zu diskutieren.

3.2 Agronomische Wirkungen

3.2.1 Agronomische Haupt-Folgewirkung

methodische Herangehensweise

Auf Stufe 2 erfolgt eine Feststellung der agronomischen Haupt-Folgewirkung und der Begleitwirkungen, ausgehend von der Technologiecharakterisierung. Der Fokus liegt wiederum auf dem Hauptwirkungspfad und nunmehr auf der Herstellung der kausalen Beziehung zwischen der auf Stufe 1 definierten Haupt-Zielrichtung der Technologieanwendung und der agronomischen Haupt-Folgewirkung. Methodisch kann dies auf der theoretischen Ebene u. a. durch Prozessdiagramme erfolgen, die beginnend vom technologischen Eingriff und dessen Intention den Pfad hin zu den agronomischen Auswirkungen nachvollziehbar darstellen. Auf der empirischen Ebene können vorhandene Studien und Expert:innenwissen, oder bei jüngeren Technologien eigene initiale Erhebungen auf Pilotbetrieben, Praxis-Indikatoren oder Expert:inneneneinschätzungen eine Grundlage für die Einordnung darstellen.

Beispiele funktioneller Einheiten

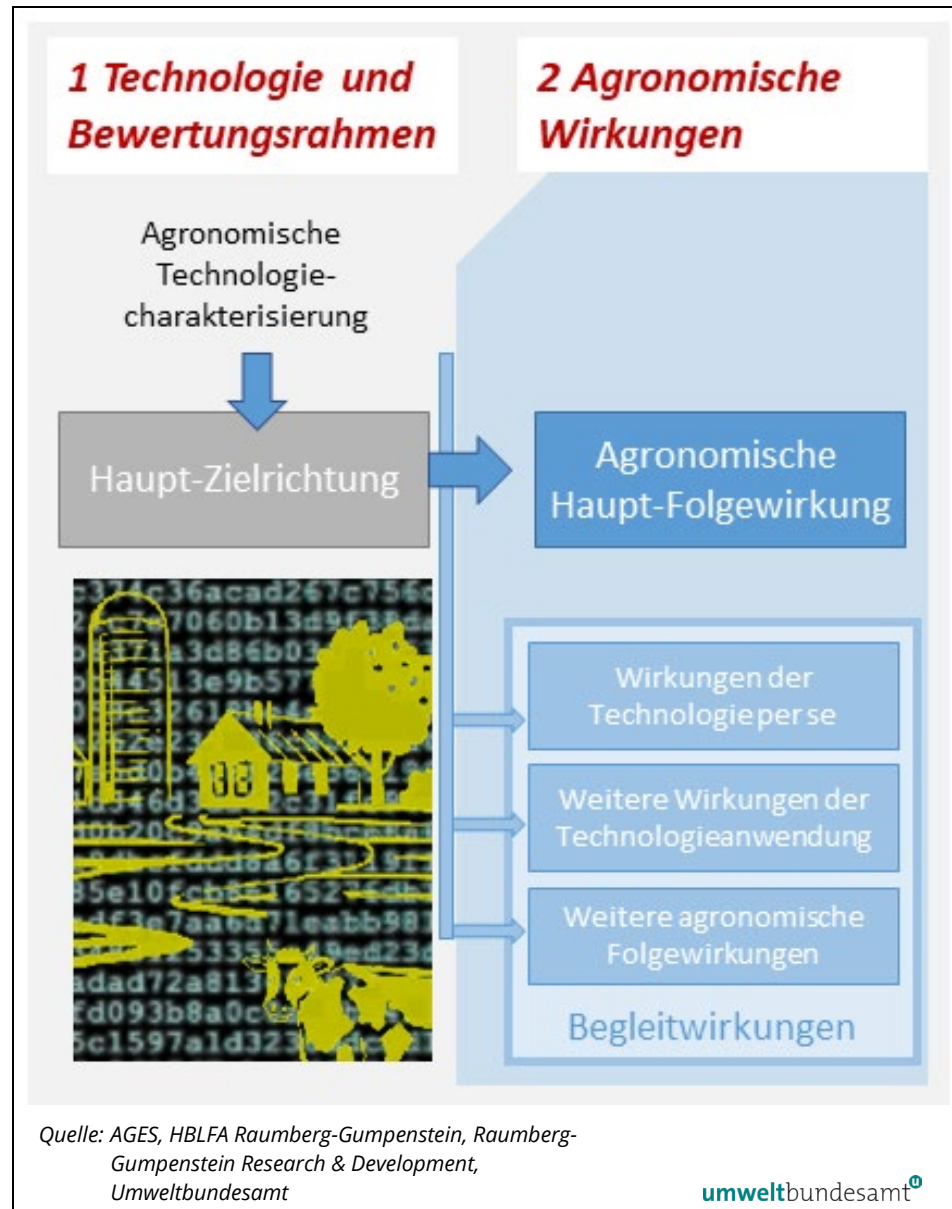
Folgende Funktionen und funktionelle Einheiten können für die Umweltbewertung angedacht werden:

- Produktiverhalt der Flächen: Bewirtschaftung von Flächen und Bewahrung Böden – Beispiel für funktionelle Einheit: 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche
- Produktionsfunktion: Erzeugung von Nahrungsmitteln, Biomasse – Beispiel für funktionelle Einheit: 1 MJ verdauliche Energie für menschliche Ernährung
- Betriebswirtschaftliche Funktion: Erwirtschaftung eines Einkommensbeitrags für die bäuerliche Familie – Beispiel für funktionelle Einheit: 1 € Ergebnisbeitrag
- Ökologische Funktion: Vielfältige Lebensräume, Voraussetzungen für Biodiversität – Beispiel für funktionelle Einheit: % Anteil extensiver Flächen an der Nutzfläche

Es soll eine funktionelle Einheit ausgewählt werden. Die Auswahl sollte sich an der agronomischen Haupt-Folgewirkung orientieren.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass im Falle einer Technologieänderung oder bei einer veränderten technologischen Haupt-Zielrichtung sowie bei neuen Erkenntnissen zu der agronomischen Haupt-Folgewirkung auch die Umweltbewertung zu überarbeiten ist.

Abbildung 5:
Ableitung der agronomischen Haupt-Folgewirkung und von Begleitwirkungen



3.2.2 Agronomische Begleitwirkungen

Parallel zur Ausarbeitung der agronomischen Haupt-Folgewirkung erfolgt die Erfassung und Dokumentation der agronomischen Begleitwirkungen. Diese gliedern sich in drei Bereiche:

- Die Wirkungen der Technologie per se umfassen die (physisch) unmittelbaren Wirkungen des Technologieeinsatzes, ohne agronomische Implikationen. Ein Beispiel wäre das Hinzukommen eines digitalen Prozesselements mit einem entsprechenden Energiebedarf.
- Weitere Wirkungen der Technologieanwendung können durch indirekte Auswirkungen des Technologieeinsatzes entstehen. Ein Beispiel wäre ein erhöhtes Erntevolumen bei einer Technologie, deren Haupt-Zielrichtung nicht in der Ertragsänderung liegt.

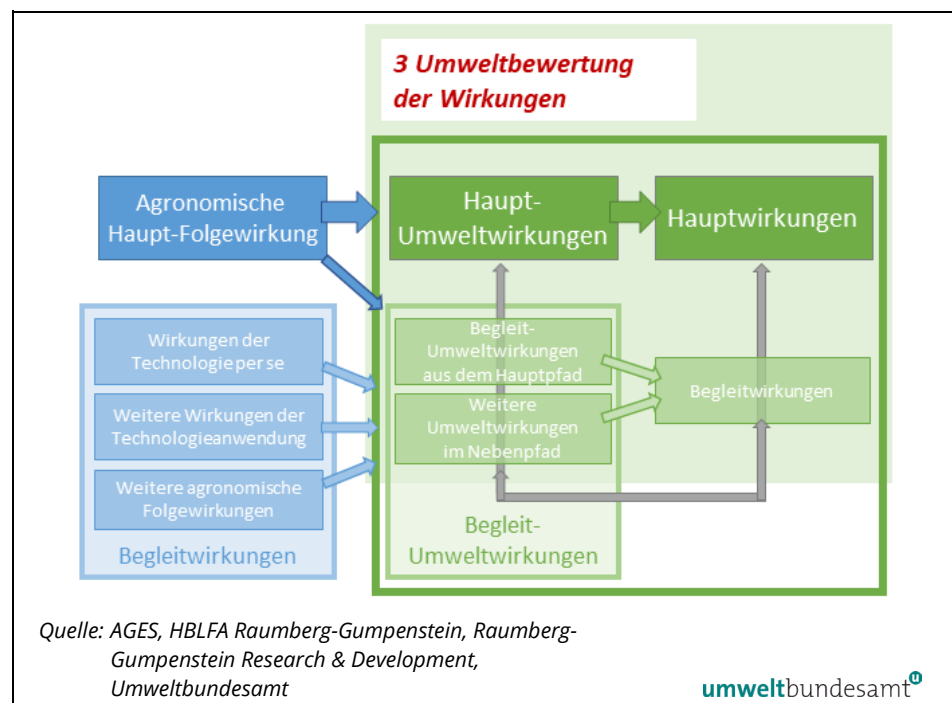
- Es können zudem weitere agronomische Folgewirkungen auftreten. Diese sind keine Auswirkungen des Technologieeinsatzes, sondern entstehen erst infolge der agronomischen Wirkungen des Technologieeinsatzes.

3.3 Umweltbewertung der Wirkungen

Haupt- und Begleit-Umweltwirkungen

Ausgehend von den in Stufe 2 beschriebenen agronomischen Wirkungen werden auf Stufe 3 diese Wirkungen hinsichtlich ihrer potenziellen Umweltimplikationen analysiert. Als Instrument für die Prüfung der möglichen Umweltwirkungen wurde eine Tabelle der möglichen Umweltwirkungen erstellt (siehe Kapitel 2.4). Mithilfe dieser Tabelle ist die systematische Prüfung einer Vielzahl von möglichen Umweltwirkungen, die mit den beschriebenen agronomischen Wirkungen einhergehen können, möglich. Im Zuge der Prüfung werden die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Umweltwirkungen und die Stärke des Effektes untersucht. Wiederum liegt der Fokus auf der agronomischen Haupt-Folgewirkung und den Umweltwirkungen, die hieraus potenziell entstehen. Wenn Umweltwirkungen aus der agronomischen Haupt-Folgewirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit und in hoher Stärke resultieren, so werden diese als Haupt-Umweltwirkungen bezeichnet. Diejenigen von geringer Wahrscheinlichkeit und Stärke sowie aus den agronomischen Begleitwirkungen resultierende Umweltwirkungen werden als Begleit-Umweltwirkungen bezeichnet.

Abbildung 6:
Umweltbewertung der
agronomischen
Wirkungen



Die in Kapitel 2.4 entwickelte Tabelle ermöglicht es, für jede technische und agronomische Wirkung alle Umweltwirkungskategorien Schritt für Schritt und im

Detail zu überprüfen. Diese Prüfung ergibt dann die potenziellen Umweltwirkungen, die durch die Anwendung einer Technologie entstehen können.

***Iterative
Aktualisierung***

Diese Analyse der agronomischen Wirkungen und ihrer umweltrelevanten Folgen beruht immer auf dem aktuellen Stand des Wissens über die Technologie, die Mechanismen und Folgen. Wenn durch Beobachtungen während der Anwendung, durch Auswertung von Monitoringdaten oder durch gezielte Versuche neue Erkenntnisse entstehen, sollen diese in die Bewertung integriert werden können. Das kann in Form eines iterativen Prozesses geschehen, der die obigen Analyseschritte zur Ermittlung von agronomischen Folgen und daraus entstehenden Umweltwirkungen neu durchläuft (dargestellt durch die grauen Loop-back-Pfeile in Abbildung 6). Gegebenenfalls kann auch die erste Stufe der Technologiecharakterisierung und Festlegung der agronomischen Haupt-Folgewirkung mit Hilfe neuer Informationen wiederholt werden; dies würde dann der Betrachtung einer neuen Technologie entsprechen.

***Umweltbewertung der
agronomischen
Wirkungen***

Zur Bewertung wird zuerst die in Stufe 2 identifizierte agronomische Haupt-Folgewirkung bei den relevanten Umweltbereichen in die Bewertungstabelle eingetragen und kurz beschrieben (siehe Tabelle 5, „Agronomische Haupt-Folgewirkung“). In welchen Zeilen ein Eintrag erfolgt, hängt davon ab, ob die agronomische Haupt-Folgewirkung den jeweiligen Umweltwirkungsbereich berührt oder nicht. Wird in einem Umweltwirkungsbereich keine Wirkung erwartet, so bleibt das betreffende Feld leer. Potenzielle agronomische Begleitwirkungen werden in der entsprechenden Spalte dokumentiert.

Tabelle 5: Umweltbewertung von agronomischer Haupt-Folgewirkung und von agronomischen Begleitwirkungen, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Umweltwirkungen	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen
Betriebsmitteleffizienz: Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieverbrauch				
	Erneuerbare Energien				
	Nährstoffeinsatz				
	Futtermittelbedarf				
	Sonstige Betriebsmittel				
	PSM-Einsatz				
	Wasserverbrauch				
	Tierzugang, Nachzucht				
Produktionssuffizienz: Output, Emissionen, standortangepasster Ertrag, Produkte	Produktmenge				
	Bewirtschaftete Flächen				
	Emissionen in Wasser/ Boden				
	Emissionen in die Luft				
	Entsorgung von Abfällen				
	Lärm, Geruch, Wärme und Strahlung, Staub				
Ökologische Resilienz: geringe Vulnerabilität durch Tierwohl, Biodiversität, guten Bodenzustand	Biologische Vielfalt, Lebensräume, Arten				
	Anpassung Klimawandel, resiliente Kulturen				
	Bodenfruchtbarkeit und -degradation				
	Sicherung vielfältiger Ökosystemleistungen				
	Robuste Tierbestände, gesunde Tiere				
Ökosystemare Konsistenz: Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur	Erfahrung in der Bewirtschaftung				
	Ökosystemares Denken				
	Angepasste Flächennutzung, Intensität				
	Artgerechte Haltung, Mensch-Tier-Beziehung				

Auf die einzelnen Einträge zur agronomischen Haupt-Folgewirkung bzw. Begleitwirkung folgt die Umweltbewertung. Hierbei wird für jeden Eintrag geprüft, ob die agronomische Wirkung potenziell zu keiner, zu einer geringen, zu einer positiven oder zu einer negativen Wirkung auf die Umwelt führt. Basierend auf der textuellen Beschreibung dieser Umweltbewertung erfolgt die Einstufung der Relevanz, des Ausmaßes und der Wirkrichtung der Umweltauswirkungen mit Hilfe eines Symbols gemäß der in Tabelle 6 dargestellten Legende.

Tabelle 6: Symbole und Legende zur Einstufung der Umweltauswirkungen von agronomischer Haupt-Folgewirkung und Begleitwirkungen. (Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt)

Symbole und Legende	
▲	umwelt-positiv
●	geringe Wirkung
▼	umwelt-negativ
	keine Wirkung

3.4 Interpretation und Bericht

Vier ökologische Themenfelder

Die Umweltauswirkungen in der Umweltwirkungstabelle (Tabelle 5) werden den vier Themenfeldern Effizienz, Resilienz, Suffizienz und Konsistenz zugeordnet. Diese Kategorisierung hat zum Ziel, die Haupt- und Nebenwirkungen der Technologien auf die Umwelt strukturiert darstellen und die Ergebnisse der Umweltbewertung vereinfacht zusammenfassen zu können. Auf Basis der agronomischen Haupt-Folgewirkung, ihrer Umweltbewertung und deren Zuordnung zu den Themenfeldern wird je nach ihrer Wirkung auf die Umwelt eine Kurzcharakterisierung als Schnellaussage ermöglicht. Diese werden „Umwelt-Wirkgruppen“ genannt und stellen eine Schnellaussage zu den Umweltwirkungen dar.

Diese vier ökologischen Nachhaltigkeitsfelder stehen für unterschiedliche strategische Ansatzpunkte, wie nachhaltige Entwicklung aus Umweltsicht erreicht werden kann. Die vier Felder haben einen engen Konnex zu unterschiedlichen landwirtschaftlichen Funktionen und lassen sich auch den Zielen des Europäischen Green Deals (EGD, (EK - Europäische Kommission 2019)) zuordnen:

- (Betriebsmittel-)Effizienz: Ressourceneinsatz, der benötigt wird, um ein Ergebnis zu erzielen
Beispielziel EGD: Ressourcen effizient nutzen
Fragestellung: Ändert sich durch den Einsatz der digitalen Technologie der benötigte Input an Energie, Material, Wasser oder weiteren Vorleistungen? Diese Inputs sind eng mit der Produktionsfunktion der Landwirtschaft verknüpft. Hier werden unter dem Ziel der (Betriebsmittel-)Effizienz nur die Inputs (der Ressourceneinsatz) bewertet und der erreichte Output wird als konstant angenommen.

- (Produktions-)Suffizienz: Veränderung des Outputs (Erträge, Produkte, Emissionen, Menge und Zusammensetzung). Durch die Verwendung einer anderen Technologie können Austräge in die nachgelagerten Technologie- und Ökosysteme (Produkte, Emissionen) verändert werden. In einem allgemeinen Kontext wird der Begriff auch in Zusammenhang mit der Veränderung des Lebensstils diskutiert: „Nicht Verzicht, sondern rechtes Maß“.
Beispielziel EGD: Zero Pollution. Hier wird die Frage nach den Emissionen der Produktion gestellt.
Fragestellung: Ändert sich durch die digitale Technologie die Höhe der Outputs (Erträge, Produkte, Emissionen) bzw. das ökologisch bewertete Intensitätsniveau des landwirtschaftlichen Betriebs?
Die (Produktions-)Suffizienz ist eng gekoppelt mit der funktionalen Einheit der bewirtschafteten bzw. „produktiv erhaltenen Fläche“. Bei verringertem Output sinken die absoluten Umweltwirkungen (aber nicht unbedingt auch die Wirkungen pro Outputeinheit, siehe Effizienz oben).
- (Ökologische) Resilienz: das Vermögen eines landwirtschaftlichen Betriebs, störende Einflüsse abzufedern bzw. nach einer „Störung“ wieder funktionsfähig zu werden. (Biologische) Vielfalt ist ein entscheidender Faktor für resiliente Systeme.
Beispielziel EGD: Erhaltung und Wiederherstellung der Biodiversität, von vielfältigen und widerstandsfähigen Ökosystemen.
Fragestellung: Ändert sich durch die digitale Technologie die Robustheit und Stabilität der betrieblichen Ausstattung bzw. Prozesse gegenüber Einflüssen von außen? Charakterisiert werden kann diese durch eine Vielfalt und Vitalität, beispielsweise hinsichtlich Bodenfunktionen, Diversität der Flächennutzung, Ökosystemleistungen, robusten Nutztieren, betrieblichen Standbeinen und Humanressourcen. Hilft die Technologie einem Betrieb dabei, in funktionsfähigen Agrarökosystemen und Prozessen zu wirtschaften und bei Störungen von außen relativ stabil zu bleiben bzw. sich schnell wieder zu stabilisieren?
Die Kategorie der (Ökologischen) Resilienz hat damit einen engen Konnex zur landwirtschaftlichen Funktion des Erhalts von vielfältigen, biodiversen und vitalen Ökosystemen, die auch eine Erholungs-, Schutz- und Pufferfunktion aufweisen. Beispielsweise geht eine Steigerung der Resilienz häufig mit verbesserten Bodenfunktionen einher.
- (Ökosystemare) Konsistenz: Arbeiten mit naturverträglichen Technologien, welche die Stoffe und die Leistungen der Ökosysteme nutzen, ohne sie zu zerstören. Natürliche Prozesse sollen durch landwirtschaftliche Prozesse nicht gestört, sondern sogar gestärkt werden. Energie- und Materialflüsse sollen naturverträglich gestaltet werden.
Beispielziel EGD: Ausweitung der Kreislaufwirtschaft
Fragestellung: Ändert sich durch die digitale Technologie die Gestaltung der Stoffflüsse in Richtung Kreislaufwirtschaft? Welche Strategie für die Betriebsentwicklung gibt es? Ändert sich durch die Technologie die Bewirtschaftungskompetenz in Richtung Kreislaufwirtschaft und naturverträglicher Bewirtschaftung, d. h. dass natürliche Prozesse nicht gestört, sondern gestärkt werden? (Frage nach dem edukativen Effekt der digitalen Technologie)

Das Nachhaltigkeitsfeld der Konsistenz hat einen engen Bezug zur Funktion einer ökologisch verträglichen Bewirtschaftung, die in Einklang mit dem Standort und den Produktionsvoraussetzungen steht und auf ethische Maximen Bedacht nimmt.

Mittelwertbildung Diese vier Themen dienen als Raster, in dem die Umweltbewertung nach Tabelle 5 zusammengefasst wird. Dazu wird aus den Umweltbewertungen der Haupt-Folgewirkungen und der Begleitwirkungen jeweils innerhalb eines Themenfeldes ein Mittelwert gebildet. Er gibt an, ob die Umweltwirkung sämtlicher agronomischer Haupt-Folgewirkungen bzw. Begleitwirkungen im Mittel überwiegend umwelt-positiv, neutral oder umwelt-negativ zu bewerten ist. Aus den gemittelten Umweltbewertungen der Haupt-Wirkungen wird dann eine Kurz-Charakterisierung der Technologie hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen in den vier Themenfeldern zusammengestellt; analog sollten die Begleitwirkungen gemittelt und beschrieben werden.

Bei dieser vereinfachenden Mittelwertbildung werden alle bewerteten Umweltwirkungen unabhängig von Stärke und Eintrittswahrscheinlichkeit gleich gewichtet. Dadurch können mehrere kleine Effekte einen großen überkompensieren, obwohl dieser quantitativ größer sein kann als die Summe der kleinen Effekte; dies sollte bei der Kommunikation der Resultate berücksichtigt werden. Im Zweifelsfall sind begleitende Analysen notwendig (z. B. eine Ökobilanz).

Indikatorenset als Werkzeug für weitere Beobachtung Als ein weiteres Ergebnis der Anwendung des vorgelegten Konzeptes ergibt sich eine Liste an Indikatoren, die in der Umweltwirkungstabelle als relevant angesprochen wurden. Diese können als Ansatzpunkt für weitere Beobachtungen dienen. Aufbauend auf dieses Indikatorenset kann nach weiterer Schärfung und Anpassung an Verfügbarkeit und Machbarkeit ein Monitoringkonzept entworfen werden, das für weitere Datenerhebung genutzt werden kann. Wird es in der Praxis umgesetzt, können dann Informationen gewonnen werden, die als verbesserte Erkenntnisse in die Umweltbewertung eingefüttert werden können. So kann eine schrittweise Schärfung, Konkretisierung und Verbesserung der Aussagekraft in der Umweltbewertung erreicht werden. Für den Umweltbereich „Boden“ ist diese Selektion von Indikatoren für ein Monitoring im Anhang 5.2 beispielhaft vorgestellt und für einen Anwendungsfall durchgeführt.

Im folgenden Kapitel wird die vorgeschlagene Vorgangsweise der Umweltbewertung anhand einiger Anwendungsbeispiele digitaler Technologien in der Anwendung vorgestellt.

4 ANWENDUNGSBEISPIELE

4.1 Futteranschieberoboter

Durch den Futteranschieberoboter kommt es zum ständigen Anschieben und Auflockern sowie zu einer Durchmischung des Futters. Damit steht den Rindern ständig frischeres und attraktiveres Futter zur Verfügung, wodurch kaum Futterreste überbleiben und die Futteraufnahme zunimmt. Durch die ad-libitum-Fütterung ist der pH-Wert im Pansen stabiler, die Tiere sind gesünder und fühlen sich wohler, eine längere Lebensdauer ist möglich. Es findet eine höhere Grundfutteraufnahme statt und das Leistungspotenzial der Tiere wird dadurch vermehrt ausgeschöpft (höhere Leistung). Der Umweltindikator Emissionen/kg Produkt (z. B. Milch) verbessert sich dadurch. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht kommt es zu einer Entlastung der Landwirt:innen.

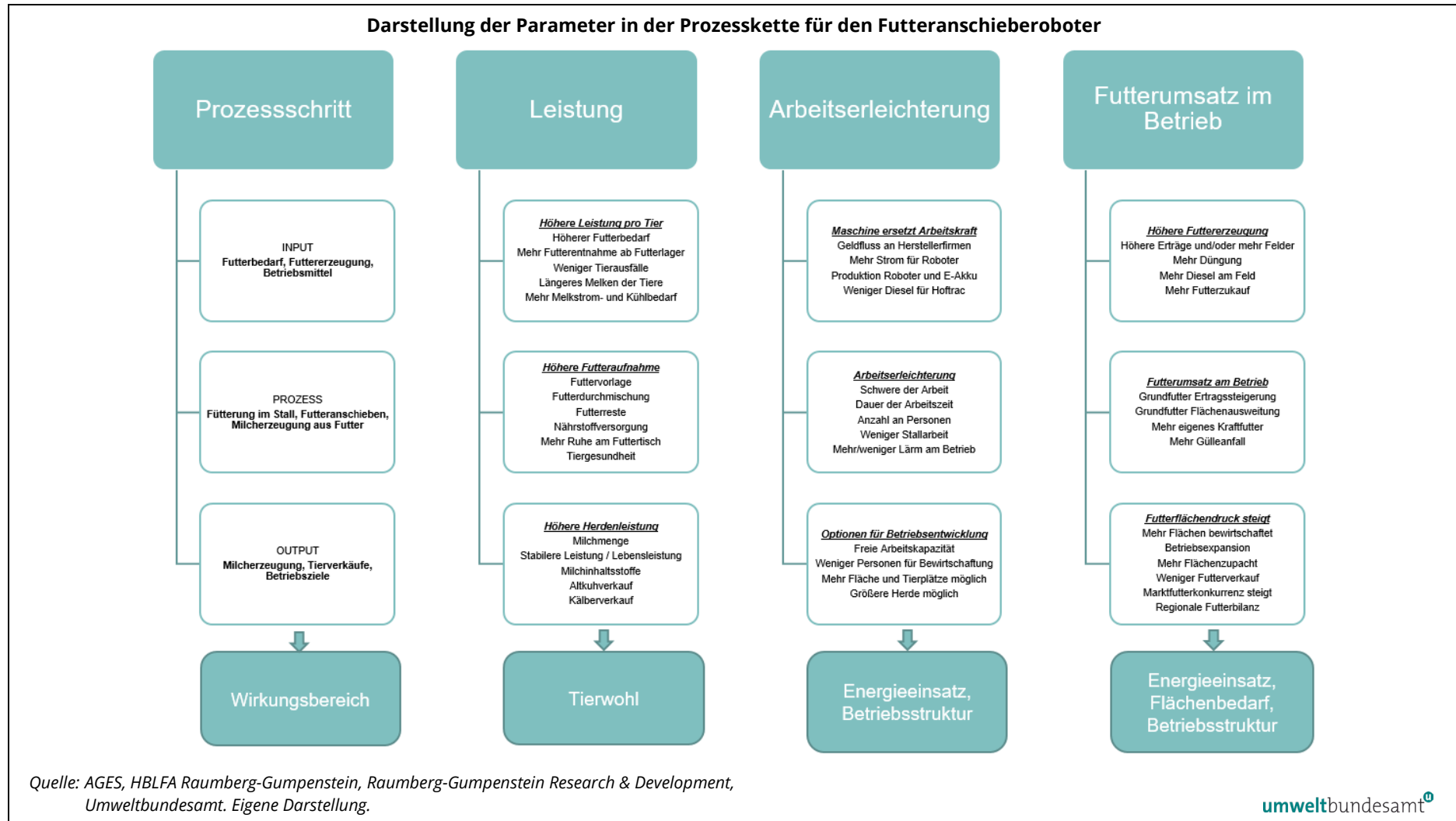
Infobox 1: Beschreibungen des Herstellers

Der Futteranschieberoboter soll durch ein kontinuierliches Futteranschieben eine Steigerung der Grundfutteraufnahme und eine verbesserte Futtereffizienz bewirken. Dadurch sollen eine erhöhte Milchleistung, ein gesteigertes Wohlbefinden der Tiere sowie Zeitersparnis für die Landwirt:innen erzielt werden.

Die Intervalle, in welchen das Futter zum Futtertisch geschoben werden soll, können frei konfiguriert und auf Futtermenge und Vorlagezeitpunkt abgestimmt werden. Eine zusätzliche Lockfütterung ist über eine Kraftfutterdosierung per aufsteckbarem Lockfutterbehälter möglich. Mithilfe einer Förderschnecke wird das Futter während des Anschiebens gelockert und durchmischt. Die Bedienung funktioniert über das Gerätedisplay oder auch per Handy, Tablet oder PC. Die Spurführung erfolgt durch im Vorfeld montierte Magnete entlang des Futtertisches und der definierten Fahrwege. Der Roboter wird bedarfsorientiert über eine intelligente Ladestation aufgeladen. Der Futteranschieberoboter wird durch zwei Gel-Zyklusbatterien betrieben und hat laut Herstellerangabe einen täglichen Stromverbrauch von ca. <4 kWh bei 100 Kühen, 14 Fahrten und Lockfütterung.

Die einzelnen Prozessschritte des Futteranschieberoboters wurden von mit der Technik vertrauten Expert:innen definiert und von vier Betriebsleiter:innen, die den Roboter im Einsatz haben, validiert. Die Darstellung Abbildung 7 war die Basis für weitere Expert:innengespräche sowie für die Bewertung der Wirkungen.

Abbildung 7: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für den Futteranschieberoboter



Eine weitere Erkenntnis aus den Expert:innengesprächen war, dass die Motivation hinter der Anschaffung einer digitalen Technologie in der Regel nicht primär im Umweltschutz begründet ist. Obwohl prinzipiell auch eine Anwendung der Digitalisierungstechnologie mit Zielrichtung auf Reduktion der Umweltbelastung angedacht werden könnte (inkl. Arbeitserleichterung und mehr Zeit für die Landwirt:innen für andere Tätigkeiten oder Arbeiten), überwog der Tenor, dass mit der Anschaffung eines Futteranschieberoboters eher das Ziel höherer Leistungen (höhere Outputs generell) verfolgt wird – auch deshalb, weil der Roboter Kosten verursacht. Dabei wird voraussichtlich die Anzahl der Stallplätze erhöht und mehr Fläche für Grundfutter bewirtschaftet bzw. mehr Futter zugekauft. Auch die empirischen Daten aus den Befragungen von Landwirt:innen im Projekt zeigen die Tendenz zur Inputsteigerung.

Der Skalierungsfaktor für Betriebsänderungen wird durch die digitalen Technologien eher vergrößert, da die Begrenzungen bzw. limitierenden Faktoren dadurch meist deutlich angehoben werden können. Zur Beurteilung der Veränderung der Effizienz (Verhältnis Output zu Input) durch den Einsatz einer Technologie ist es zudem entscheidend, wo sich der Betrieb bzw. das Tier auf der Effizienzkurve schon befindet.

Im Fall des Futteranschieberoboters wird durch die höhere Grundfutteraufnahme das Leistungspotenzial der Tiere vermehrt ausgeschöpft (höhere Leistung), und die Effizienz (in Emissionen/kg Produkt wie z. B. Milch) verbessert.

Die Verbesserung der Tiergesundheit könnte durch Parameter wie „Reduktion der Stoffwechselprobleme“ oder „weniger Antibiotikaeinsatz“ verifiziert werden. Eine ökonomische Bewertung der Anschaffung und des Betriebs des Roboters wäre wichtig, um zu klären, ob die Wertschöpfung im Betrieb gedeckt werden kann und ob es zu sektoralen Verschiebungen kommt. Die längere Nutzungsdauer der Kühe aufgrund der verbesserten Gesundheit sollte dabei in die ökonomischen Betrachtungen miteinbezogen werden.

Potenzielle Umweltauswirkungen des Futteranschieberoboters sehen Expert:innen besonders in den Bereichen Nutzungsintensität und Betriebsstruktur, Energieeinsatz, Tierwohl und Flächeninanspruchnahme.

4.1.1 Technologie und Bewertungsrahmen

Ziel ist der Vergleich der Verwendung eines Futteranschieberoboters mit der Alternative einer gängigen landwirtschaftlichen Praxis des Futteranschiebens. Die Ergebnisse richten sich an Technologieentwickler und Landwirt:innen, die den Futteranschieberoboter weiterentwickeln bzw. nutzen.

4.1.1.1 Haupt-Zielrichtung

Der Futteranschieberoboter erfüllt die Funktion des Anschiebens und Durchmischens von Grundfutter (bzw. Mischration). Dies kann mit einer Auflockerung

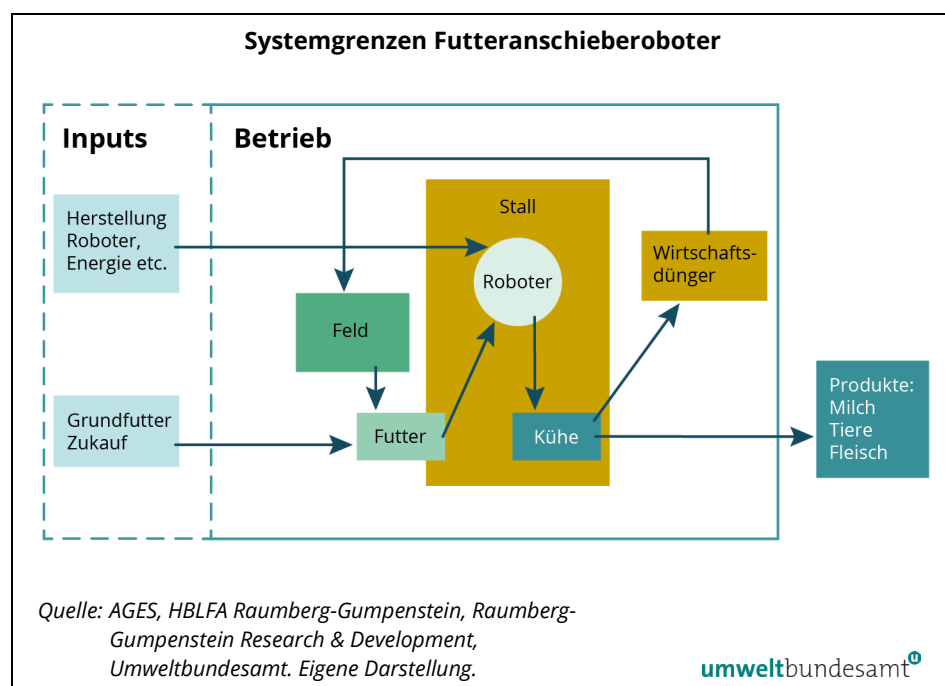
und Homogenisierung des Futters für die Wiederkäuer und einer höheren Futteraufnahme verbunden sein. Eine zusätzliche Lockfuttergabe ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Die Funktion kann alternativ (a) durch mechanisch unterstütztes Futteranschieben, (b) durch händisches Futteranschieben oder (c) nicht erfüllt werden. Händisches oder mechanisches Futteranschieben kann als gute fachliche Praxis bezeichnet werden.

4.1.1.2 Bewertungsrahmen

Als Referenzsystem wird die Futteraufnahme bei Anwendung von (a) und/oder (b) herangezogen. Eine Studie zeigt, dass durch häufigeres Futteranschieben die Futteraufnahme um 600 g steigen kann (Grothmann et al. 2014). Eine eigene Expert:innenbefragung ergab eine Steigerung von bis zu 1,7 kg TM pro Kuh und Tag. Andere Autor:innen stufen die Auswirkungen einer erhöhten Fütterungsfrequenz auf die Milchleistung und die Milchezusammensetzung jedoch als gering ein (Oberschätzl-Kopp 2018; Kudrna 2003; Mäntysaari et al. 2006; Mattachani et al. 2015; Hart et al. 2014).

Abbildung 8:
Systemgrenzen Futteranschieberoboter (Details siehe ISO 14044, 4.2.3.3.2),



Die Systemgrenzen erstrecken sich bis zum Hofstor (Abbildung 8). Es findet keine Betrachtung der nachgelagerten Prozesse statt, weil sich die definierte Funktion auf die tierische Urproduktion bezieht. Entsprechende Effekte werden über die Umweltwirkungen an die nachgelagerten Schritte weitergegeben.

Die Effekte des Futteranschieberoboters auf die Arbeitserleichterung tragen nicht direkt zum Stoff- und Energiefluss in der tierischen Urproduktion bei und

werden nicht betrachtet. Eine Gabe von Lockfutter liegt außerhalb des Betrachtungsrahmens. Die angenommene Mehrfutteraufnahme resultiert aus einer besseren Durchmischung von Grund- und Mischfutter. Der relative Kraffutteranteil wird gleich belassen.

Methode Die Beschreibung der betroffenen Prozesse erfolgte aus den Befragungsergebnissen von Betrieben, die den Futteranschieberoboter im Einsatz haben.

Datenerhebung

4.1.2 Agronomische Wirkungen

**agronomische Haupt-
Folgewirkung**

Der Futteranschieberoboter dient dazu, die Futteraufnahme der Kühe durch ständiges Anschieben, Auflockern und eine Durchmischung des Futters zu verbessern. Die höhere Grundfutteraufnahme soll die Leistung der Tiere (Milch, Fleisch) steigern, erhöht aber auch die anfallende Wirtschaftsdüngermenge. Der höhere Futterbedarf kann durch Flächenerweiterung oder Intensitätssteigerung der Bewirtschaftung der bestehenden Flächen gedeckt werden (Steigerung der Produktionsleistung). Der Betrieb des Roboters ist mit Energieverbrauch (Strom) verbunden (Vergleich mit Referenzsystem: z. B. Hoftrac/Hoflader oder menschliche Arbeitskraft), ebenso wird bei Bewirtschaftung größerer Flächen mehr Diesel verbraucht. Die funktionelle Einheit der Umweltbewertung für die Hauptzielrichtung ist Hektar Futterfläche für die Milchproduktion.

**agronomische
Begleitwirkungen**

Bei potenzieller Erhöhung des Tierbestands durch den Robotereinsatz kommt es zu zusätzlichem Energieeinsatz für erhöhte Melkleistung, gesteigerten Kühlbedarf der größeren Milchmenge etc., aber auch potenziell zu höheren Einstreumengen. Bei höherem Tierbestand kann es zu höherer Viehdichte und aufgrund des höheren Wirtschaftsdüngeranfalls zu größeren Nährstoffüberschüssen auf den landwirtschaftlichen Flächen kommen, die in die Luft oder das Grundwasser ausgetragen werden bzw. im Boden verbleiben. Ebenso ist für die Herstellung des Roboters Energie- und Materialeinsatz notwendig, am Ende seiner Lebensdauer muss er als Abfall entsorgt werden. Im Betrieb können Lärmemissionen entstehen. Der stabilere pH-Wert im Pansen wirkt sich positiv auf das Tierwohl und die Lebensdauer aus. Durch die potenzielle Intensivierung der Flächennutzung kann die Bestäubungsleistung reduziert werden. Die Zeit für die Mensch-Tier-Beziehung wird durch den Roboter potenziell reduziert.

4.1.3 Umweltbewertung der Wirkungen

Betriebsmitteleffizienz

Haupt-Umweltwirkung: Im Bereich Effizienz im Betriebsmitteleinsatz ist der höhere Futtermittelbedarf (Input) mit infolge höherem Flächenbedarf oder gesteigerter Intensität der Bewirtschaftung als negativ zu bewerten. Mit dem erhöhten Futtermittelbedarf sind auch höhere Erträge in Form von Milch und Fleisch (Output) zu erwarten, die Energieeinsatz für Verarbeitung, Kühlung und Transport erfordern (Tabelle 7).

Begleit-Umweltwirkungen: Zur Herstellung des Roboters ist Energie- und Materialeinsatz notwendig, am Ende seiner Lebensdauer müssen Gehäuse, Elektronik und Batterie als Abfall entsorgt bzw. recycelt werden. Je nach Referenzsystem eines Futternachschiebens von Hand oder per Hoftrac ist dies als negativ oder als neutral zu bewerten. Der Mehraufwand für Einstreu und anfallenden Wirtschaftsdünger wird als marginal betrachtet und daher neutral bewertet.

Tabelle 7: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Futteranschieberoboter), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Betriebsmitteleffizienz: Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieverbrauch (Zukauf)				mehr Diesel am Feld mehr Melken, Kühlen Produktion Roboter und Akku	▼	mehr Energieeinsatz
	Futtermittelbedarf	mehr Futtermittelbedarf / Futtermittelzukaufe	▼	mehr Futtermittelbedarf führt zu Flächenausweitung und Transporten			
	Sonstige Betriebsmittel				Produktion Roboter und E-Akku	●	Materialverbrauch Produktion Roboter und E-Akku, erhöhter Ressourceneinsatz
	Wasserverbrauch				erhöhter Tränkewasserbedarf	●	steigender Wasserverbrauch
Mittelwert			▼			▼	

Produktionssuffizienz

Haupt-Umweltwirkung: In der Suffizienzbetrachtung bedeutet der höhere Futtermittelbedarf eine zusätzliche Landnutzung und ist als potenziell umwelt-negativ zu bewerten (Tabelle 8).

Begleit-Umweltwirkungen: In Hinblick auf die Produktionssuffizienz impliziert die gesteigerte Produktmenge (Milch, Fleisch) einen zusätzlichen Ressourcenaufwand für Transport, Kühlung, Verarbeitung etc. und ist tendenziell als umwelt-negativ zu bewerten.

Tabelle 8: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Produktionssuffizienz: Output, Emissionen, standortangepasster Ertrag, Produkte	Produktmenge	mehr Produktmenge (mehr Milch und Fleisch)	▼	zusätzlicher Ressourcenaufwand für Transport, Verarbeitung etc. ist umwelt-negativ			
	Bewirtschaftete Flächen	mehr bewirtschaftete Fläche	▼	zusätzliche Landnutzung ist potenziell umwelt-negativ			
	Emissionen in die Luft	mehr Futteraufnahme, mehr Verdauung, mehr Wirtschaftsdünger	▼	mehr Ammoniak- und Methan-Emissionen sind umwelt-negativ			
	Entsorgung von Abfällen				Entsorgung des Roboters nach Abschluss der Lebensdauer	▼	zusätzliche Abfälle entstehen, speziell E-Akkus als Sondermüll bedenklich
Mittelwert			▼			▼	

Der höhere Futterumsatz bzw. die höhere Viehdichte können aufgrund des höheren Wirtschaftsdüngeranfalls zu größeren Nährstoffüberschüssen auf den landwirtschaftlichen Flächen führen, die potenziell in Richtung Luft oder Grundwasser ausgetragen werden bzw. im Boden verbleiben. Die Entsorgung der Batterie am Ende der Lebensdauer ist aus Suffizienz-sicht als negativ zu bewerten.

ökologische Resilienz

Haupt-Umweltwirkung: Hinsichtlich der Kategorie „Ökologische Resilienz“ ist in der vorliegenden Bewertung keine Hauptwirkung zu erwarten (Tabelle 9). Der Robotereinsatz nimmt keine direkten Auswirkungen auf die Bereitstellung von Lebensräumen und Ökosystemleistungen oder andere Resilienzparameter.

Tabelle 9: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Ökologische Resilienz geringe Vulnerabilität durch Tierwohl, Biodiversität, guten Bodenzustand	Lebensraumvielfalt und -konnektivität, Arten- und genetische Vielfalt, Agrobiodiversität				mehr Flächeninanspruchnahme für Produktion	●	reduzierte Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt
	Sicherung multipler Ökosystemleistungen (Produktionsfunktion, Erholungsfunktion, Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt, Bodenfunktionen, Kohlenstoffspeicherung, Reduktion der Erosionsgefahr, Nahrungsmittelsicherheit/Rohstoffe)				mehr Lebensmittelproduktion aus Grundfutter	●	kann bessere Ernährungssicherheit ermöglichen
	Gesunde Tiere, Weideausmaß, Zucht/Selektion				bedarfsgerechte Futtermittellieferung wird erleichtert	●	verbesserte Fütterung kann die Tiergesundheit fördern
Mittelwert						●	

Begleit-Umweltwirkungen: Aus der erhöhten Flächeninanspruchnahme für die Produktion resultiert eine potenziell reduzierte Lebensraumfunktion. Als positiv zu werten ist, dass eine gesteigerte Lebensmittelproduktion aus Grundfutter potenziell zu einer besseren Ernährungssicherheit beitragen kann. Außerdem kann das Nachschieben eine bedarfsgerechte Futtermittellieferung erleichtern und die Gesundheit der Tiere begünstigen.

Ökosystemare Konsistenz

Haupt-Umweltwirkung: Hinsichtlich der Kategorie „Ökosystemare Konsistenz“ ist in der vorliegenden Bewertung keine Hauptwirkung zu erwarten (Tabelle 10).

Begleit-Umweltwirkungen: Eine potenziell gesteigerte Bewirtschaftungsintensität kann, abhängig von Ausgangsbedingungen, Standort und Management potenziell als positiv oder als negativ zu bewerten sein. Ebenso können die Auswirkungen auf die Mensch-Tier-Beziehung nicht a priori als klar positiv oder klar negativ eingeordnet werden.

Tabelle 10: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleit-wirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Ökosystemare Konsistenz: Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur	Angepasste Flächennutzung, Intensität und Kulturartenverteilung, Viehbesatz, abgestufte Nutzung, intensive und extensive Flächen			höhere Lebendmasse pro Fläche	● kann zu gesteigerter Bewirtschaftungsintensität beitragen
	Artgerechte Haltung, Mensch-Tier-Beziehung			direkte Tierbeobachtung während dem manuellen Futteranschieben kann wegfallen	● Mensch-Tier-Beziehung kann verringert werden
Mittelwert					●

4.1.4 Interpretation

Werden die durch Expert:inneneinschätzung angegebenen Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen und Begleitwirkungen nach dem in Kapitel 2.4 beschriebenen Konzept in die Umweltwirkungstabelle zur Umweltbewertung des Futteranschieberoboters eingetragen, ergibt sich folgendes Bild: Die erhöhte Grundfutteraufnahme bedingt primär einen höheren Futtermittelbedarf und ermöglicht eine größere Produktmenge. Als Folge davon wird eine verstärkte Landnutzung angenommen. Das Fazit der Umweltbewertung zum Futteranschieberoboter ist, dass es sich dabei um eine „**(Produktions-)Suffizienz-mindernde Technologie**“ handelt. Eine Übersicht der Umweltwirkungen ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Futteranschleberoboter, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Futteranschleberoboter	Umwelt-Wirkgruppe	Umweltwirkung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Umweltwirkung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
	Betriebsmitteleffizienz	▼	Futtermittelbedarf	▼ ●	Energiebedarf
	Produktionssuffizienz	▼ ▼	Landnutzung, Produktmenge	▼	Abfall
	Ökologische Resilienz			●	Lebensraumfunktion, Tiergesundheit, Ernährungssicherheit
	Ökosystemare Konsistenz			●	Bewirtschaftungs-intensität, Mensch-Tier-Beziehung
Umweltwirkung: mehr Landnutzung (höherer Futtermittelbedarf aufgrund höherer Produktmenge)					

Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen und der Begleitwirkungen werden in den vier Umwelt-Wirkgruppen als positive (grüner Pfeil), negative (roter Pfeil) oder geringe Wirkung (gelber Kreis) eingeteilt.

4.2 Bewegungssensor zur Brunsterkennung

Erkenntnisse aus Expert:innen- Gesprächen

Ein Sensor am Bein, Hals oder Ohr der Kuh erfasst Bewegungsmuster und andere physiologische Daten. Deren Auswertung erlaubt Rückschlüsse auf Brunstphase, optimale Besamungszeitpunkt und den allgemeinen Gesundheitszustand des Tieres. Die einzelnen Prozessschritte des Bewegungssensors wurden von mit der Technik vertrauten Expert:innen definiert und von vier Betriebsleiter:innen, die den Bewegungssensor im Einsatz haben, validiert. Diese Prozessschritte wurden in den Expert:innengesprächen diskutiert und werden in Abbildung 9 dargestellt.

Infobox 2: Beschreibungen des Herstellers

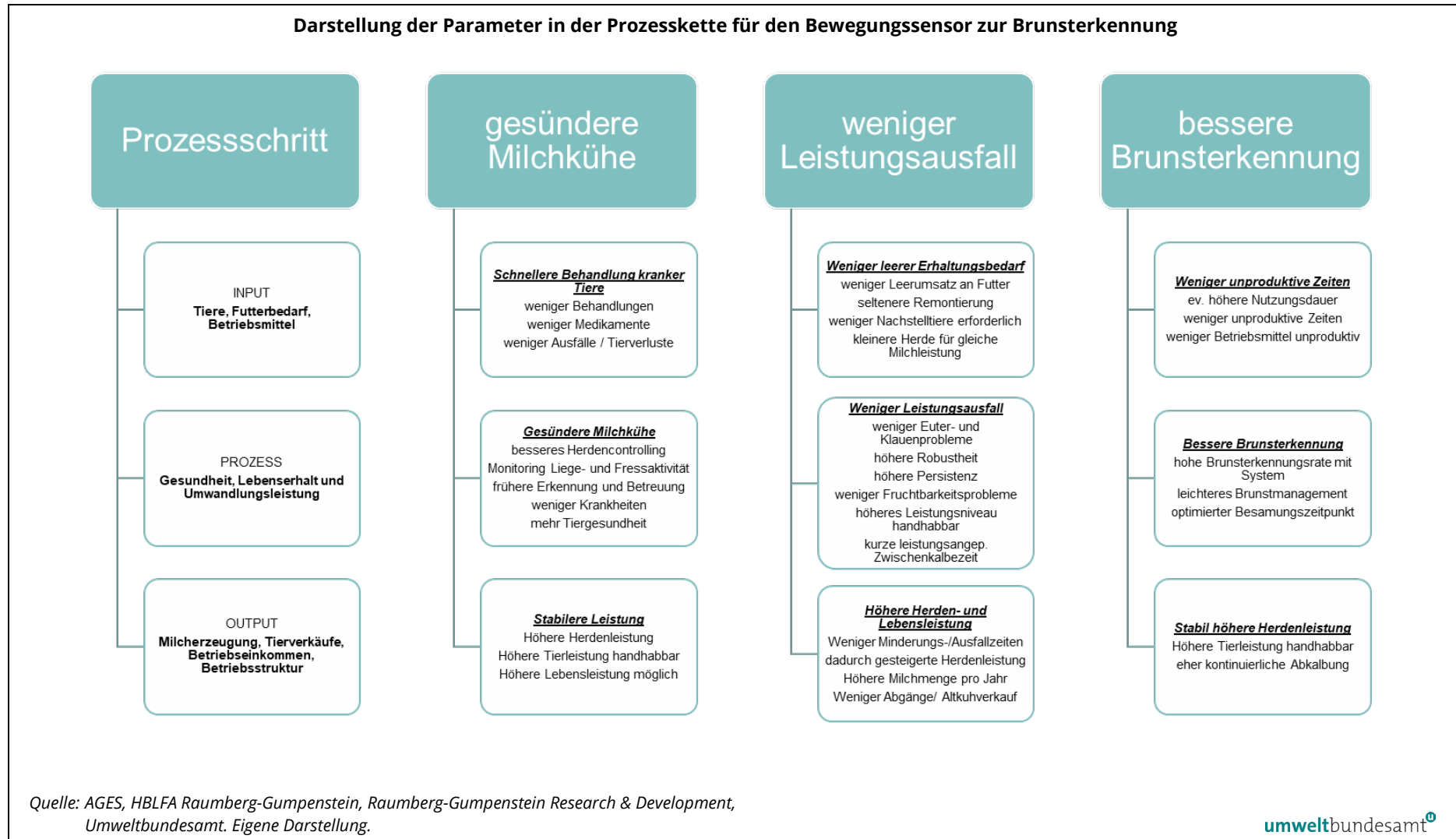
Das Brunsterkennungssystem arbeitet mit einem am Halsband montierten Sender oder optional mit einem Sensor am Bein des Tieres. Beide Sensoren erfassen eine Vielzahl an Daten, mit denen Brunstereignisse zuverlässig erkannt werden. Die Sensoren erfassen 24 Stunden täglich das Verhalten der Tiere und errechnen mittels Algorithmen den Gesundheitszustand. Anhand dieser Daten ist es möglich, Brunstanzeichen zu analysieren und den idealen Besamungszeitpunkt vorzuschlagen. Die Tierhalter:innen werden vom System automatisch benachrichtigt, wenn eine Kuh brünstig ist. Die Daten werden in Echtzeit übermittelt und können auf dem PC, Tablet und Smartphone eingesehen werden. Die Vorteile durch den Einsatz des Sensors sind nach Herstellerangaben höhere Brunsterkennungsraten (weniger verpasste Brunstzeiten), höhere Empfängnisraten (bessere Zeitplanung bei der künstlichen Besamung), höhere Trächtigkeitsraten, kürzere Kalbungsintervalle, mehr Laktationstage, mehr

Milch pro Kuh und eine Reduzierung der Reproduktions-/Besamungskosten (Nedap 2022).

Die primäre Motivation der Landwirt:innen für die Anschaffung der Bewegungssensoren ist die Reduktion der eigenen Arbeitszeit. Arbeitszeit ist neben Futtermitteln, Tieren oder Betriebsmitteln ein wichtiger Inputfaktor. Die durch die Technologie des Sensors eingesparte Arbeitszeit kann auf andere Bereiche verschoben werden. Die Sensortechnologie ermöglicht durch die Senkung des Arbeitszeitbedarfs größere Herden bzw. die Anschaffung einer Herde für Nebenerwerbslandwirt:innen, die potenziell weniger Zeit für die Landwirtschaft haben. Das Sensorsystem per se fördert jedoch keine größeren Tierbestände, sondern ist häufig eine Reaktion auf größere Tierbestände, die v. a. durch ökonomische Entwicklungen hervorgerufen werden. Technologien der Melktechnik und Fütterungstechnik (automatische Fütterungstechnik) sind hier viel entscheidender. Durch die (digitale) Technologie wird die Skalierung des Betriebs (die Größe der Flächen, die Anzahl der Tiere etc.) technikabhängig, der Mensch ist nicht mehr der begrenzende Faktor. Es stellt sich die Frage, ob der Sensor bewirkt, dass mehr Kühe gehalten werden, oder dass die Landwirt:innen vermehrt einer anderen Arbeit nachgehen können – dieses Management der Landwirt:innen beeinflusst die Umweltauswirkungen. Wenn der Sensor beispielsweise als Reaktion auf größere Tierbestände angeschafft wird, dann gehen damit auch größere Mengen an Stickstoff und Phosphor in Wirtschaftsdüngern einher. Dies beeinflusst Emissionen in Boden, Luft und Wasser.

Tiergesundheit ist laut Expert:innenbefragung ein wesentlicher Faktor beim Einsatz des Bewegungssensors. Ähnlich wie bei anderen Technologien im Innenwirtschaftsbereich können indirekte Effekte darin bestehen, dass die direkte Tierbeobachtung durch die Automatisierung wegfällt oder zumindest geringer wird. Dies kann negative Auswirkungen auf die Mensch-Tier-Beziehung haben, wenn die freiwerdende Arbeitszeit nicht in andere Tätigkeiten mit Tierkontakt investiert wird. Andererseits können Landwirt:innen durch die Sensortechnologie ihre Zeit gezielter jenem Tier widmen, welches gerade den größten Bedarf hat. Verdachtsfälle können so aus der Herde herausgefiltert und sich anbahnende Krankheiten früher erkannt und behandelt werden. Dadurch werden schwere Verläufe verhindert und der Medikamenteneinsatz potenziell reduziert. Eine bessere Gesundheit der Tiere kann zu längerer Nutzungsdauer und weniger Bedarf an Nachzucht führen. Das reduziert den „unproduktiven Grundumsatz“ der Herde und damit verbundene Emissionen (Methan, Stickstoff).

Abbildung 9: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für den Bewegungssensor zur Brunsterkennung.



Neben dem Tierwohl zählen laut Expert:inneneinschätzung der Einsatz von Primärenergie und entstehende Abfälle zu den bedeutendsten Umweltwirkungen des Sensoreinsatzes. Ein vermehrter Energiebedarf besteht aufgrund der notwendigen „aktiven“ Batterien des Sensors, die entweder jedes Jahr oder alle 3–4 Jahre getauscht werden müssen (vgl. ein Transponder ist passiv und wird durch ein Stromfeld aufgeladen). Parallel muss ein Computer durchgehend in Betrieb sein und über ein Funksystem Daten auslesen. Der Bedarf an Batterien verursacht Sondermüll und die Sensoren selbst müssen nach Ablauf der Lebensdauer entsorgt werden.

4.2.1 Technologie und Bewertungsrahmen

4.2.1.1 Haupt-Zielrichtung

Mit dem Bewegungssensor werden Bewegungsdaten von Milchkühen erfasst, mit denen Brunstereignisse zuverlässig erkannt werden und ein idealer Besamungszeitpunkt bestimmt werden kann.

4.2.1.2 Bewertungsrahmen

In der Referenzsituation – ohne Einsatz der Bewegungssensoren – muss der/die Landwirt:in die Kühe selbst beobachten, um Verhaltensänderungen der Tiere und somit eine Brunst zu erkennen. Dies bedeutet einen erheblichen Zeitaufwand. Außerdem werden deutlich weniger Brünste verlässlich erkannt. Dadurch kann es vermehrt zu unproduktiven Trockenstehzeiten kommen. Laut einer Studie der Innovation Farm kann das Brunsterkennungssystem die Brunst von Milchkühen mit einer Erkennungsrate von 90 % erfassen, wobei die Meldungen zu 95 % korrekt sein sollen. Aus einem Vergleich mehrerer Sensoren ging hervor, dass vier der sechs untersuchten Modelle eine höhere Treffsicherheit aufwiesen als der visuelle Beobachter, wobei 15–35 % mehr Brünste erfolgreich erkannt wurden (Lovarelli et al. 2020). In Anbetracht dessen, dass mit Direktbeobachtung eine Erkennungsrate von 50 % bis 75 % erreicht wird (Pfeiffer et al. 2018; Rutten et al. 2014), kann das elektronische System mehr brünstige Tiere erkennen, als es die Tierhalter:innen unter optimalen Bedingungen können (Huber 2020).

Es wird nur die Funktion der Brunsterkennung bewertet. Mögliche weitere Funktionen für die Tiergesundheit (z. B. Erkennung Mastitis, Gebärmutterentzündung) liegen außerhalb der Betrachtung. Es wird davon ausgegangen, dass die Tierbeobachtung in einem bestimmten Maß aufrechterhalten wird, sodass es nicht zu tiergesundheitlichen Nachteilen aufgrund fehlender Tierbeobachtung kommt.

4.2.2 Agronomische Wirkungen

Agronomische Haupt-Folgewirkung

Verbesserte Brunsterkennung führt zu stabilerer und höherer Herdenleistung (Milch) bei gleichzeitig geringeren unproduktiven Trockenstehzeiten der Kühe. Durch die höheren Herdenleistungen kann es potenziell zu einer notwendigen Steigerung der Futtermittelaufnahme der Kühe kommen. Die höhere Grundfuttermittelaufnahme erhöht auch die anfallende Wirtschaftsdüngermenge. Der höhere Futtermittelbedarf kann durch Flächenerweiterung oder Intensitätssteigerung der Bewirtschaftung der bestehenden Flächen gedeckt werden (Steigerung der Produktionsleistung). Bei der Bewirtschaftung größerer Flächen wird außerdem mehr Diesel verbraucht. Weiters sind weniger Nachstelltiere und Altkuhverkäufe notwendig. Die funktionelle Einheit der Umweltbewertung für die Hauptzielrichtung ist der produzierte Nahrungsmitteloutput (Kilogramm Milchleistung der Herde).

agronomische Begleitwirkungen

Der Betrieb des Sensors ist mit Energieverbrauch in Form von Batterien des Sensors und Stromverbrauch für die ständigen Auswertungen verbunden. Bei potenzieller Erhöhung der Herdenleistung durch den Bewegungssensor kommt es ebenfalls zu zusätzlichem Energieeinsatz für erhöhte Melkleistung, gesteigerten Kühlbedarf der größeren Milchmenge etc., aber auch potenziell zu höheren Einstreumengen aufgrund der höheren Wirtschaftsdüngermengen. Aufgrund des höheren Wirtschaftsdüngeranfalls kann es potenziell zu größeren Nährstoffüberschüssen auf den landwirtschaftlichen Flächen kommen, die in Richtung Luft oder Grundwasser ausgetragen werden bzw. im Boden verbleiben. Ebenso ist für die Herstellung des Sensors und der Auswertungsprogramme Energie- und Materialeinsatz (Kunststoff u. a. Materialien) notwendig, am Ende der Lebensdauer muss der Sensor als Abfall (Sondermüll) entsorgt werden. Im Betrieb können Strahlungs-Emissionen durch den Sensor entstehen. Eine Veränderung der Lebensdauer der Kuh durch die höhere Leistung ist möglich. Durch die potenzielle Intensivierung der Flächennutzung kann die Bestäubungsleistung reduziert werden. Die Zeit für die Mensch-Tier-Beziehung wird durch den Sensor potenziell reduziert, da Beobachtung durch automatisierte Messung ersetzt wird (Entfremdung).

4.2.3 Umweltbewertung der Wirkungen

Betriebsmitteleffizienz

Haupt-Umweltwirkung: Im Bereich Betriebsmitteleffizienz ist ein erhöhter Energiebedarf für Melken, Kühlen der Milch und Entmistung bei gesteigerter Herdenleistung zu erwarten. Ein damit einhergehender erhöhter Futtermittelbedarf führt potenziell zu einer Ausweitung der Futteranbauflächen und/oder zu vermehrten Transporten. Der zusätzliche Energieeinsatz sowie der Futtermittelaufwand sind als umwelt-negativ zu bewerten. Die Umweltwirkung einer potenziellen Steigerung des Düngereinsatzes bzw. des Wasserbedarfs wird als geringfügig und somit neutral eingestuft (Tabelle 12).

Tabelle 12: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Bewegungssensor), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Betriebsmitteleffizienz: Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieverbrauch (Zukauf)	mehr Melkstrom- und Kühlbedarf + Strom für Entmistung bei höherer Leistung Batterie für Sensor Strom für Auswerteeinheit (PC, Laptop, Tablet, ...)	▼	mehr Energieeinsatz	Produktion Sensor	▼	mehr Energieeinsatz
	Erneuerbare Energien	höherer Futterbedarf	●	mehr Düngereinsatz			
	Futtermittelbedarf	mehr Futtermittelbedarf	▼	mehr Futtermittelbedarf führt zu Flächenausweitung und Transporten und ist daher umwelt-negativ			
	Sonstige Betriebsmittel				Produktion Sensor, höherer Wirtschaftsdüngeranfall	●	mehr Materialeinsatz, mehr Einstreu
	Wasserverbrauch	mehr Herdenleistung	●	Wasserbedarf			
	Tierzugang, Nachzucht				mehr Nachzucht-tiere	●	weniger Zukauf an Nachstelltieren
Mittelwert			▼			▼	

Begleit-Umweltwirkungen: Bei der Produktion des Sensors wird zusätzliche Energie aufgewendet, was eine negative Umweltwirkung bedingt. Der Materialeinsatz bei der Produktion des Sensors bzw. der erhöhte Bedarf an Einstreu aufgrund eines vermehrten Wirtschaftsdüngeranfalls werden als geringfügig und demnach neutral eingestuft. Die gesteigerte Herdenleistung bedeutet mehr Nachzuchttiere, weshalb der Zukauf von Nachstelltieren reduziert wird. Dem Effekt wird ebenfalls eine vergleichsweise geringe Umweltwirkung zugeschrieben, er wird daher neutral bewertet.

Produktionssuffizienz

Haupt-Umweltwirkung: Die gesteigerte Produktmenge wird mit einem erhöhten Ressourcenaufwand für Transport, Verarbeitung etc. assoziiert und ist im Bereich Produktionssuffizienz als umwelt-negativ einzustufen (Tabelle 13).

Begleit-Umweltwirkungen: In der Umwelt-Wirkgruppe Produktionssuffizienz sind eine potenzielle Flächenausweitung bzw. vermehrte Transporte für Futtermittelzukaufe, vermehrte Nährstoffausträge in Boden, Luft und Wasser und entstehender Abfall bei der Entsorgung des Sensors zu erwarten. Die Umweltwirkung hierbei wird vergleichsweise gering und daher neutral bewertet.

Tabelle 13: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“ (Bewegungssensor), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Produktionssuffizienz: Output, Emissionen, standortangepasster Ertrag, Produkte	Produktmenge	Milchmenge, Fleischmenge	▼ erhöhte Produktmenge (höherer Ressourcenaufwand für Transport, Verarbeitung etc. ist umwelt-negativ)		
	Bewirtschaftete Flächen			mehr Futtermittelbedarf / Futtermittelzukäufe	● Flächenausweitung/ Transporte sind umwelt-negativ
	Emissionen in Wasser/Boden			höhere Milchleistung, höhere Düngermenge	● mehr Nährstoffüberschüsse/-austräge
	Emissionen in die Luft			höhere Milchleistung, höhere Düngermenge	● mehr Nährstoffüberschüsse/-austräge
	Entsorgung von Abfällen			Entsorgung Sensor	● mehr Abfall
	Lärm, Geruch, Wärme und Strahlung, Staub			negative optische Wirkung des Sensors, Strahlung des Sensors	●
Mittelwert			▼		●

Ökologische Resilienz

Haupt-Umweltwirkung: Im Bereich Ökologische Resilienz wird eine geringe Umweltwirkung einer potenziellen Intensivierung der Flächennutzung aufgrund der gesteigerten Herdenleistung angenommen, welche sich auf die Lebensraumfunktion und/oder die Biologische Vielfalt auswirken kann. Eine verbesserte Sicherung der Ökosystemleistungen durch eine gesteigerte Produktionsfunktion (Ernährungssicherheit) ist ebenfalls in diesem Bereich vorstellbar. Beides ist jedenfalls als geringfügig bzw. neutral in Bezug zur Umweltbewertung anzusehen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“ (Bewegungssensor), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Ökologische Resilienz geringe Vulnerabilität durch Tierwohl, Biodiversität, guten Bodenzustand	Lebensraumvielfalt und -konnektivität, Arten- und genetische Vielfalt, Agrobiodiversität	Intensivierung der Flächennutzung wegen höherer Herdenleistung	●	reduzierte Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt			
	Sicherung multipler Ökosystemleistungen (Produktionsfunktion, Erholungsfunktion, Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt, Bodenfunktionen, Kohlenstoffspeicherung, Reduktion der Erosionsgefahr, Nahrungsmittelsicherheit/Rohstoffe)	mehr Herdenleistung	●	gesteigerte Produktionsfunktion	Intensivierung der Flächennutzung	●	weniger Bestäubungsleistung
Mittelwert			●			●	

Begleit-Umweltwirkungen: Die Intensivierung der Flächennutzung aufgrund gesteigerter Herdenleistung geht möglicherweise mit einer verminderten Bestäubungsleistung einher. Der Effekt wird allerdings als vernachlässigbar gewertet.

Ökosystemare Konsistenz Haupt-Umweltwirkung: Im Bereich Ökosystemare Konsistenz ist von keiner Haupt-Folgewirkung und Umweltwirkung auszugehen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“ (Bewegungssensor), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Ökosystemare Konsistenz: Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur	Erfahrung in der Bewirtschaftung, standortangepasste Ertragserwartung				Kenntnis über Brunstzeit und -zyklus wird verbessert, optimierter Besamungszeitpunkt	●	
	Aus- und Weiterbildung für umweltrelevante Inhalte; Nährstoff-, Humusbilanz (Hoforbilanz bzw. kleinregional)						
	Angepasste Flächennutzung, Intensität und Kulturartenverteilung, Viehbesatz, abgestufte Nutzung, intensive und extensive Flächen	höherer Viehbestand	●				
	Artgerechte Haltung, Mensch-Tier-Beziehung				Tierbeobachtung entfällt, kurze leistungsangepasste Zwischenkalbezeit, Veränderte Lebensleistung, Lebensdauer	●	weniger Mensch-Tier-Beziehung
Mittelwert			●			●	

Begleit-Umweltwirkungen: Durch das intensive Befassen mit der neuen Technologie wird die Kenntnis über Brunstzeit und -zyklus und optimierten Besamungszeitpunkt verbessert. Kürzere leistungsangepasste Zwischenkalbezeiten und eine veränderte Lebensleistung sind durch die neue Technologie möglich. Die direkte Tierbeobachtung entfällt durch den Sensoreinsatz, weshalb von einer reduzierten Mensch-Tier-Beziehung auszugehen ist. Die genannten Effekte sind in der Umweltwirkung neutral zu bewerten.

4.2.4 Interpretation

Die verbesserte Brunsterkennung durch den Einsatz des Bewegungssensors steigert die Herdenleistung des Betriebes. Dies führt im Bereich der Betriebsmitteleffizienz zu einem erhöhten Energie- und Futtermittelbedarf (Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen). Auch die Weiterverarbeitung der gesteigerten Produktmenge (Kühlung, Transport etc.) wird als umweltnegativ eingestuft. Das Fazit der Umweltwirkungstabelle zum Bewegungssensor

ist, dass es sich dabei um eine „**(Betriebsmittel-)effizienzmindernde Technologie**“ handelt. Eine Übersicht der Umweltbewertungen in den vier Umwelt-Wirkgruppen ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Bewegungssensor zur Brunsterkennung, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Bewegungssensoren	Umwelt-Wirkgruppe	Umweltwirkung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Umweltwirkung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
	Betriebsmitteleffizienz	▼ ▼ ●	Energie- und Futtermittelbedarf ▼ ●
	Produktionssuffizienz	▼	Produktmenge ●
	Ökologische Resilienz	●	Lebensraum- und Produktionsfunktion ●
	Ökosystemare Konsistenz	●	Viehbestand ●
Umweltwirkung: mehr Energie- und Futtermittelbedarf aufgrund gesteigerter Herdenleistung			

Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen und der Begleitwirkungen werden in den vier Umwelt-Wirkgruppen als positive (grüner Pfeil), negative (roter Pfeil) oder geringe Wirkung (gelber Kreis) eingeteilt.

4.3 Unkrautnesterdetektion mittels Drohnen

**Erkenntnisse aus
Expert:innen-
Gesprächen**

In diesem Anwendungsbeispiel erfolgt eine optische Erkennung und Verortung von Unkrautnestern (Acker-Kratzdistel) im Feld mittels Drohne. Über eine Karte erfolgt die Ansteuerung einer Feldspritze mit Teilbreitenabschaltung, um damit die Acker-Kratzdistel am Feld punktuell zu bekämpfen. Die einzelnen Prozessschritte und potenzielle Umweltwirkungen wurden in den Expert:innengesprächen diskutiert. Die Prozessschritte werden in Abbildung 10 dargestellt.

Die primäre umweltrelevante Wirkung dieser Technologie ist die Reduktion der Pflanzenschutzmittelmenge durch eine gezielte Applikation am Feld. Daraus können eine Reihe weiterer positiver Umweltauswirkungen abgeleitet werden (Bodenbiologie, biologische Vielfalt, Grund- und Oberflächenwasser etc.). Durch die gezielte Bekämpfung von Problembeikräutern können möglicherweise Nischen für andere, weniger störende oder seltene Beikräuter erhalten werden. Dies ist aber auch abhängig davon, welche Pflanzenschutzmittel (PSM) eingesetzt werden. Ein negativer Aspekt ist jedoch der erhöhte Energiebedarf der Drohne und der Rechnerleistung (z. B. fürs Erstellen der Orthofotos) und der vielen Arbeitsschritte bis zum Befahren der Bewirtschaftungsfläche mit dem Traktor. Ebenso sind der Materialeinsatz für Drohne, Computer und Steuerungseinheit sowie deren Entsorgung in der Umweltbewertung relevant.

Hoch ist derzeit ebenfalls noch der Einsatz der Ressource Zeit für Bedienung und Datenhandling. Der Energie- und Zeiteinsatz sollte durch die Entwicklung der Technologie und das „in Serie gehen“ geringer werden.

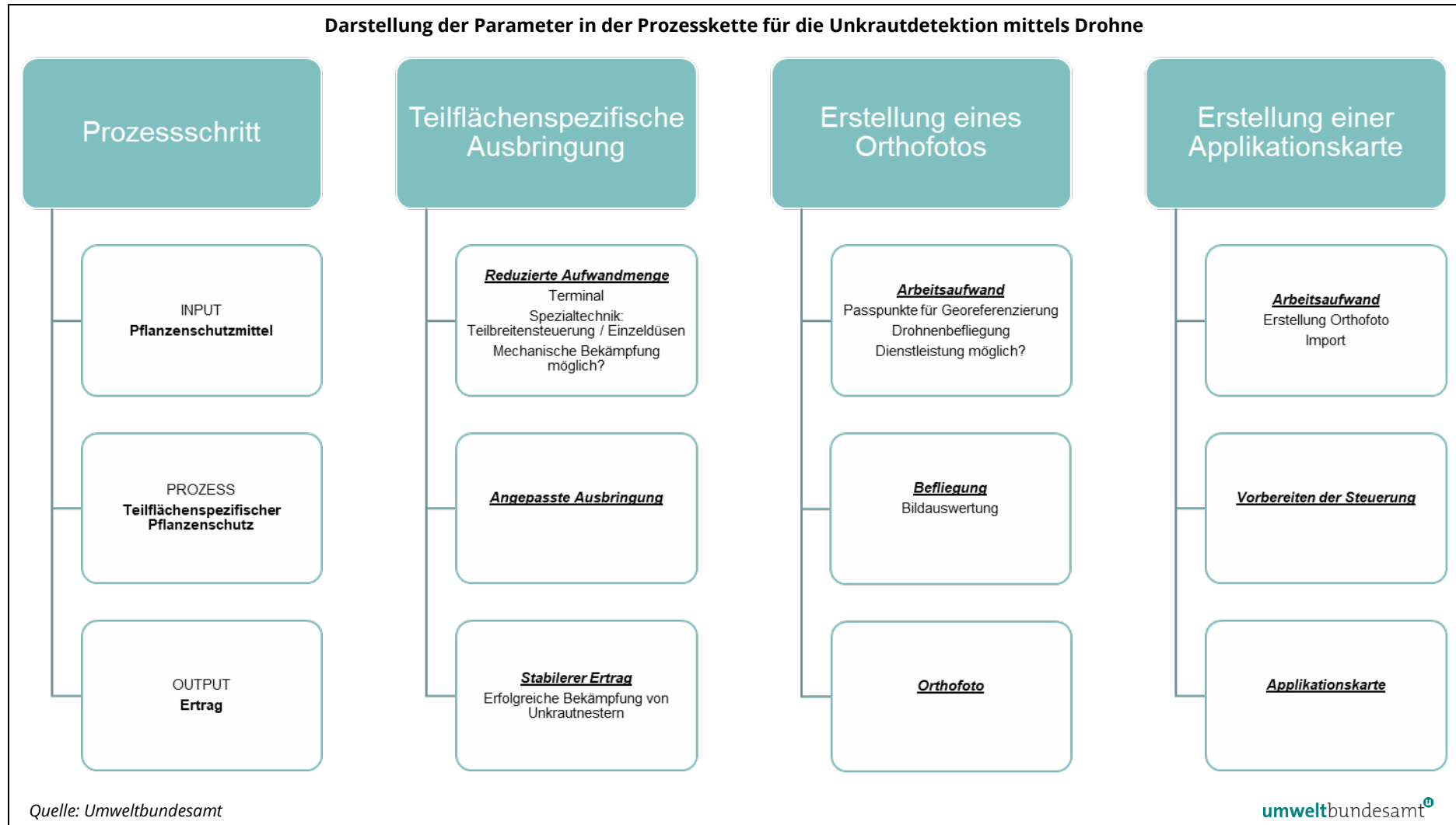
Die Diskussion bzw. die ökologische Einschätzung zu diesem Anwendungsfall, der sich aktuell noch im Versuchsstadium befindet und vielfältige Herausforderungen mit sich bringt, muss in den Überlegungen vom System der teilflächen-spezifischen Herbizid-Applikation in seiner Idealfunktion getrennt werden. Laut erster Expert:innen - Einschätzung liegt der Unterschied der digitalen Technologie im Energie - und Zeiteinsatz, die anderen Parameter bleiben weitgehend gleich.

Infobox 3: Beschreibungen der Innovation Farm

Auf der gesamten Bewirtschaftungsfläche werden zur genauen Verortung per GPS- und RTK-Signal mit 2 cm Genauigkeit Passpunkte ausgelegt und eingemessen. Die verwendeten Drohnen sind mit einer hochauflösenden Kamera ausgestattet. Die Befliegung mit der Drohne in ca. 30–50 m Höhe folgt einem vorgegebenen Pfad. Die Aufnahmen werden anschließend in ein Orthofoto umgewandelt und über die Passpunkte georeferenziert. Das Orthofoto wird dann über visuelle Interpretation der Unkrautvorkommen (Künstliche Intelligenz) in eine Applikationskarte umgewandelt und an das Traktor-Terminal übertragen. Die Spritzdüsen applizieren punktuell Herbizid auf die detektierten Unkrautnester („Spot Spraying“). Dafür ist ein Feldspritzgerät mit Einzeldü-senschaltung notwendig. Der Traktor wird am Feld ebenfalls mittels RTK-Positionierung bewegt. Durch die genaue Bestimmung der zu behandelnden Fläche kann vorab die benötigte Brühmenge exakt berechnet und somit das Entsorgen von Restmengen vermieden werden. Durch den Einsatz dieser Technologie soll die Menge an eingesetzten Pflanzenschutzmitteln reduziert werden. Der organisatorische und technische Aufwand wird aktuell jedoch noch als enorm und in keinem Verhältnis zur möglicherweise eingesparten Herbizidmenge gesehen. Der Einsatz dieser Technologie wird deshalb als noch nicht praxisreif beurteilt. Diese Technologie wird aktuell durch die Innovation Farm erforscht.

Quelle: <https://www.innovationfarm.at/projekte/lokalisierung-von-unkrautnestern-mittels-uav-und-kuenstlicher-intelligenz-fuer-die-umsetzung-von-teilflaechenspezifischem-pflanzenschutz/>

Abbildung 10: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für die Unkrautdetektion mittels Drohne.



4.3.1 Technologie und Bewertungsrahmen

4.3.1.1 Haupt-Zielrichtung

Im Hintergrund liegt die landwirtschaftliche **Funktion** der Bewirtschaftung von Ackerflächen mit einem Ertragsziel. Ziel der Technologie zur Detektion von Unkrautnestern (Acker-Kratzdistel) ist die gezielte, punktuelle Ausbringung des Pflanzenschutzmittels. Es wird eine vergleichbare Wirksamkeit des bewerteten Verfahrens und des Referenzverfahrens in der Distelbekämpfung vorausgesetzt (wobei unterjährige und mehrjährige Effekte zu beachten sind).

4.3.1.2 Bewertungsrahmen

In der **Referenzsituation**, vor der Einführung der digitalen Technologie im Betrieb, wird das Pflanzenschutzmittel zur Unkrautbekämpfung (Acker-Kratzdistel) großflächig auf dem Feld ausgebracht. Die übrigen Feldarbeiten bleiben unverändert; das Vorhandensein einer Feldspritze mit Teilbreitenabschaltung wird vorausgesetzt.

Es wird von einem ertragsrelevanten Distel-Vorkommen ausgegangen (Schadschwelle), wobei die Dichte weiterhin eine Punktbekämpfung rechtfertigen muss. Der Technologieerfolg hinsichtlich der mehrjährigen Wirksamkeit liegt außerhalb der Betrachtung und wird als fixe Größe interpretiert.

Der/Die Landwirt:in entscheidet sich für die Unkrauterkenntnis, um Pflanzenschutzmittel einzusparen.

4.3.2 Agronomische Wirkungen

agronomische Haupt-Folgewirkung

Der Einsatz einer Drohne zur Detektion von Unkrautnestern dient dazu, Unkräuter am Feld punktuell bekämpfen zu können und dadurch die benötigte Menge an Herbiziden deutlich zu verringern. Der Eintrag von Herbiziden in Boden, Wasser und Luft wird dadurch gesenkt und Nicht-Ziel-Organismen (Agrar-biodiversität) werden erhalten. Als funktionelle Einheit wird ein Hektar an bewirtschafteter Ackerfläche verwendet.

agronomische Begleitwirkungen

Der Energiebedarf steigt durch den Stromverbrauch der Drohne, des PCs zur Auswertung der Drohnenaufnahmen und des Steuerungselements zur Verarbeitung der Applikationskarte. Zusätzliche Materialien sowie Energie werden bei der Produktion der Drohne, des PCs und des Steuerungselementes benötigt. Weiters fällt zusätzlicher Abfall nach Ende der Lebensdauer der benötigten Geräte (Drohne inkl. E-Akku, PC, Steuerungselement/Traktorterminal) an. Aufgrund von potenziellen Druckschwankungen ist zusätzlicher Energiebedarf für die spezielle Wartung der Einzeldüsenteknik zu erwarten. Beim Einsatz der Drohne entsteht Lärm. Potenziell kann es zu einem reduzierten Wasserbedarf durch eine verringerte „potenzielle Verdunstung“ bei geringem Unkrautbestand kommen. Für die vorbereitende Verortung und Vermarkung des Feldes fällt zusätzlich benötigter Treibstoff bei der Anfahrt an.

4.3.3 Umweltbewertung der Wirkungen

Betriebsmitteleffizienz Haupt-Umweltwirkung: Durch die gezielte, punktuelle Herbizidausbringung kann der benötigte Herbizideinsatz stark reduziert werden. Dies ist als umwelt-positiv zu bewerten. Potenziell führt eine reduzierte Verdunstung bei geringerem Unkrautbestand zu einem geringeren Wasserverbrauch. Der Effekt wird aber allenfalls als sehr gering eingestuft (Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Betriebsmitteleffizienz: Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieverbrauch (Zukauf)				Produktion Drohne (E-Akku), PC, Steuerungseinheit; Wartung Einzeldüsentech., Strom für Drohne und PC (Orthofoto, KI, Applikationskarte), Anfahrt PKW Experte	▼	mehr Energieeinsatz, mehr Treibstoffeinsatz
	Sonstige Betriebsmittel				Produktion Drohne	●	mehr Materialeinsatz
	PSM-Einsatz	Spot-Spraying (gezielte Herbizid-Ausbringung)	▲	weniger Herbizideinsatz			
	Wasserverbrauch	weniger „unproduktive Verdunstung“ bei geringerem Unkrautbestand	●	weniger Wasserverbrauch			
Mittelwert			▲			▼	

Begleit-Umweltwirkungen: Die Produktion der Drohne inklusive des E-Akkus, des Computers, der Steuerungseinheit und die Wartung der Einzeldüsenteknik bedeuten einen zusätzlichen Energieaufwand, welcher als umwelt-negativ zu bewerten ist. Der Materialaufwand bei der Produktion der Drohne wird als vergleichsweise gering und somit in der Umweltbewertung als neutral eingestuft.

Produktionssuffizienz Haupt-Umweltwirkung: Die agronomische Haupt-Folgewirkung der Technologie bedingt eine starke Reduktion der benötigten Herbizidmenge. Die verringerten Schadstoffausträge in Wasser und Boden sind als umwelt-positiv zu bewerten. Aufgrund der Ausbringungstechnik wird der Schadstoffaustrag in die Luft als gering eingeschätzt und daher neutral bewertet (Tabelle 18).

Begleit-Umweltwirkungen: Die Entsorgung der Drohne inklusive des Akkus bedeutet zusätzlichen Abfall. Weiters geht der Betrieb der Drohne mit einer gewissen Lärmbelastung einher. In beiden Fällen sind potenzielle Umweltwirkungen als vergleichsweise gering anzusehen.

Tabelle 18: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)		Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)	
Produktionssuffizienz: Output, Emissionen, standortangepasster Ertrag, Produkte	Emissionen in Wasser/Boden	stark verringerte Herbizidmenge	▲	weniger Schadstoffausträge in Wasser/Boden			
	Emissionen in die Luft	stark verringerte Herbizidmenge	●	weniger Schadstoffausträge in die Luft			
	Entsorgung von Abfällen				Entsorgung Drohne inkl. E-Akku	●	mehr Abfall/Sondermüll
	Lärm, Geruch, Wärme und Strahlung, Staub				Betrieb Drohne	●	Lärm
Mittelwert			▲			●	

Ökologische Resilienz

Haupt-Umweltwirkung: Die gezielte Bekämpfung einzelner Unkrautnester kann mit einer erhöhten *Ökologischen Resilienz* assoziiert werden, da Nicht-Ziel-Organismen (Beikräuter) geschont werden. Die reduzierte Herbizidmenge bedeutet eine geringere Belastung der Böden durch Chemikalieneinsatz. Diese positiven Effekte für Agrobiodiversität und Bodengesundheit sind allerdings voraussichtlich gering und werden folglich als neutral bewertet (Tabelle 19).

Tabelle 19: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Ökologische Resilienz: geringe Vulnerabilität durch Tierwohl, Biodiversität, guten Bodenzustand	Lebensraumvielfalt und -konnektivität, Arten- und genetische Vielfalt, Agrobiodiversität	gezielte Bekämpfung einzelner Unkrautnester	● Schonung Nicht-Ziel-Organismen/Beikräuter (Agrobiodiversität)		
	Bodenphysikalische Struktur, Bodenchemische Qualität, biologische Qualität des Bodens, Nettoverlust/-gewinn an produktivem Land	reduzierte Herbizidmenge	● weniger Belastung der Böden durch Chemikalieneinsatz		
Mittelwert			●		

Begleit-Umweltwirkungen: Im Bereich der *Ökologischen Resilienz* ist mit keinen Begleitwirkungen und einhergehenden Umweltwirkungen zu rechnen.

Ökosystemare Konsistenz

Haupt-Umweltwirkung: In Bezug auf die Umwelt-Wirkgruppe *Ökosystemare Konsistenz* ist der Aspekt der standortangepassten Bewirtschaftung betroffen. Durch die angepasste Herbizidmenge wird eine naturverträgliche Bewirtschaftung gefördert. Der Effekt ist voraussichtlich nicht signifikant und wird daher als neutral eingestuft (Tabelle 20).

Begleit-Umweltwirkungen: Bei dieser Technologie sind keine agronomischen Begleitwirkungen im Bereich *Ökosystemare Konsistenz* zu erwarten.

Tabelle 20: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleit-wirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Ökosystemare Konsistenz: Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur	Erfahrung in der Bewirtschaftung, standortangepasste Ertragsserwartung				
	Aus- und Weiterbildung für umweltrelevante Inhalte; Nährstoff-, Humusbilanz (Hoftorbilanz bzw. kleinregional)				
	Angepasste Flächennutzung, Intensität und Kulturartenverteilung, Viehbesatz, abgestufte Nutzung, intensive und extensive Flächen	angepasster Herbizideinsatz	●	mehr naturverträgliche Bewirtschaftung	
	Artgerechte Haltung, Mensch-Tier-Beziehung				
Mittelwert			●		

4.3.4 Interpretation

Die Betriebsmitteleffizienz steigt durch die stark reduzierte Herbizidmenge, sinkt jedoch aufgrund des höheren Energieaufwandes durch den Drohneneinsatz und die Datenverarbeitung. Im Bereich der Produktionssuffizienz werden die Schadstoffausträge in den Boden und das Grundwasser aufgrund der Herbizidreduktion deutlich verringert, was als umwelt-positiv bewertet wird. Das Fazit der Umweltwirkungsmatrix zur Unkrautnesterdetektion mittels Drohne ist, dass es sich dabei um eine **„(Produktions-)suffizienzsteigernde Technologie“** handelt. Eine Übersicht der Umweltbewertungen in den vier Umwelt-Wirkgruppen ist in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Unkrautnesterdetektion mittels Drohne, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Unkrautnesterdetektion Drohnen	Umwelt-Wirkgruppe	Umweltwirkung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Umweltwirkung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)		
	Betriebsmitteleffizienz	▲ ●	Energiebedarf, Herbizidreduktion	▼ ●	Energie-, Materialeinsatz
	Produktionssuffizienz	▲ ●	Schadstoffausträge	●	Abfall, Lärm
	Ökologische Resilienz	●	Bodenschutz, Agrobiodiversität		
	Ökosystemare Konsistenz	●	naturverträgliche Bewirtschaftung		

Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen und der Begleitwirkungen werden in den vier Umwelt-Wirkgruppen als positive (grüner Pfeil), negative (roter Pfeil) oder geringe Wirkung (gelber Kreis) eingeteilt.

4.4 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Erkenntnisse aus Expert:innen- Gesprächen

Die einzelnen Prozessschritte der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung wurden auf Basis der Expert:innengespräche und der Erfahrungsberichte der Innovation Farm erarbeitet und sind in Abbildung 11 dargestellt. Die teilflächenspezifische N-Düngung hat das Potenzial, die Landwirt:innen bei ihren Düngemaßnahmen elektronisch zu begleiten und das Pflanzenwachstum in sehr hoher Genauigkeit zu optimieren. Hauptwirkung ist die bedarfsgerechte N-Düngerausbringung, die sich exakt am Bedarf und Potenzial des Teilschlags orientiert und dadurch die N-Effizienz teilflächenspezifisch und am gesamten Schlag optimiert. So wird die N-Mineraldünger-Menge mittels Applikationskarten an die Teilflächen angepasst und mit Hilfe von Spezialmaschinen exakt appliziert.

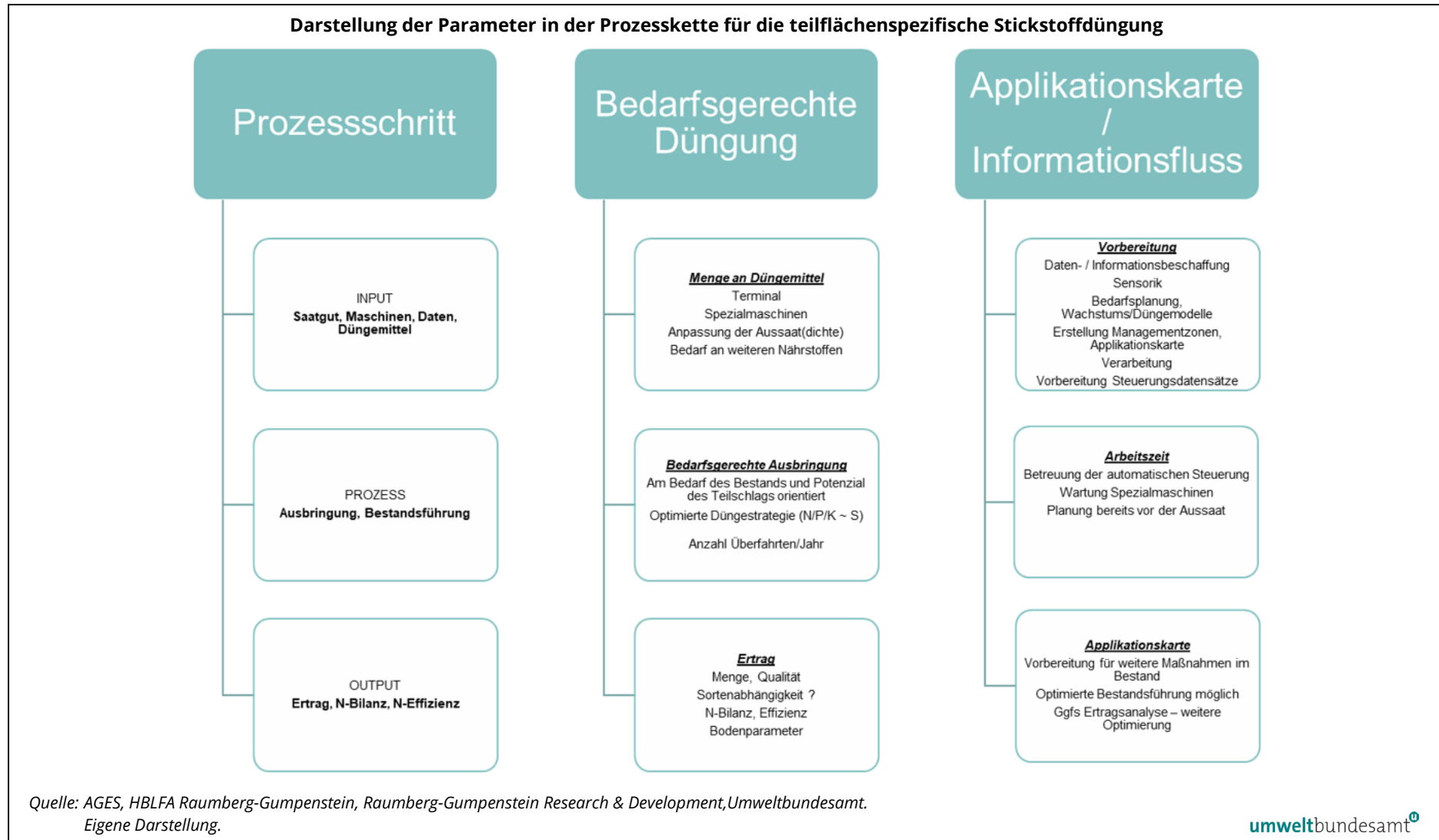
Infobox 4: Beschreibungen der Innovation Farm

Grundlage für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung ist eine teilflächenspezifische Bodenanalyse. Dazu wird eine Zonierung der Bewirtschaftungsfläche vorgenommen. Mittels Multispektralaufnahmen von Satelliten wird der Nährstoffversorgungsgrad der Feldpflanzen im Frühjahr festgestellt. Alternativ können auch Sensoren den Stickstoffgehalt der Pflanzen messen und Aufschluss über den aktuellen Stickstoffentzug im Boden in einzelnen Feldbereichen geben. Auf diesen Daten aufbauend wird eine Düng-Applikationskarte erstellt, die in das Traktorterminal eingespeist wird. Die optimale Menge Stickstoffdünger für ein vordefiniertes Ertragsziel wird anschließend mithilfe von Düngestreuern mit automatisch verstellbarer Streumenge den entsprechenden Feldbereichen zugeführt. Indem Stickstoffüberschüsse und -defizite ausgeglichen werden, soll der Ertrag gesteigert und der Abgang von Stickstoff in die Luft und das Grundwasser reduziert werden.

Aktuell wird diese Technologie von der Innovation Farm in einem eigenen Projekt zu Nährstoffeffizienz (2018–2023) getestet. An Standorten in Oberösterreich, Niederösterreich, im Burgenland und in der Steiermark werden seit 2017 Ertragsmessungen bei der teilflächenspezifischen Düngung durchgeführt, Pflanzenproben gezogen und mit den Referenzflächenmessungen verglichen. Die Bodenbedingungen der Referenzflächen wurden dabei möglichst gleich wie die teilflächenspezifischen Flächen gehalten und die Erträge bei variabler und konstanter Düngung miteinander verglichen. Dabei gilt es aber zu bedenken, dass die konstante Düngungsvariante nicht immer einer betriebsüblichen Düngungsvariante entspricht, welche stark von den jeweiligen Landwirt:innen abhängig und geprägt ist (Viehbestand etc.).

Quelle: <https://www.innovationfarm.at/projekte/naehrstoffeffizienz-im-pflanzenbau/>

Abbildung 11: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.



Die Expert:innen sehen vor allem in den Bereichen Materialeinsatz, Wasserqualität, Luft und Klima die relevantesten Umweltwirkungen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Aber auch Bodenqualität und Energieeinsatz sind bei der Umweltbewertung zu berücksichtigen.

Neben dem reduzierten Materialeinsatz (Düngermenge) sind ebenfalls die Art des Düngers (stabilisiert oder schnell wirksam) und der Ausbringungszeitpunkt für die Ausnutzung der optimalen Stickstoffeffizienz entscheidend. Das Ziel dieser Technologie ist jedenfalls, rund 20 kg N/ha an Stickstoffdünger einzusparen. Aufgrund der besseren Verteilung des Stickstoffdüngers kommt es zu höheren Erträgen und damit auch zu einer Stickstoffeffizienzsteigerung. Weiters schwankt die Stickstoffbilanz zwischen den Jahren bei variabler Düngung weniger stark als bei der Standardvariante der Düngerausbringung.

Der Energieeinsatz aufgrund des Befahrens mit dem Traktor wird als grundsätzlich ähnlich hoch wie ohne digitale Technologie eingeschätzt. Indirekte Effekte sind jedoch über den potenziell verringerten Düngereinsatz gegeben, da die Produktion von mineralischem Stickstoffdünger sehr energieaufwendig ist.

Ziel muss es sein, den Stickstoffaustrag ins Grundwasser zu verringern.

Auch umweltschädliche Stickstoffausträge in die Luft in Form von Ammoniak- und Lachgas-Emissionen (vor allem bei schweren, wassergesättigten Böden) können durch eine verbesserte Stickstoffeffizienz reduziert werden.

Überlegungen mögliche Umweltauswirkungen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mittels Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) transparent und damit greifbarer zu machen, haben bis jetzt noch zu keinen Ergebnissen geführt. Der Grund liegt in der zu großen Datenunsicherheit bzw. der zu großen Variation der Daten, sodass Veränderungen in den Umweltauswirkungen mittels LCA abhängig von der Technologie nicht darstellbar gemacht werden konnten.

4.4.1 Technologie und Bewertungsrahmen

4.4.1.1 Haupt-Zielrichtung

Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung ist das Ziel, die Stickstoffdüngermenge an die Ertragserwartung auf Teilflächen eines Feldes anzupassen.

Der/Die Landwirt:in entscheidet sich für die teilflächenspezifische N-Düngung, um die N-Düngung effizienter zu gestalten, womit auch die N-Düngungsverluste reduziert werden.

4.4.1.2 Bewertungsrahmen

In der Referenzsituation, vor der Einführung der digitalen Technologie im Betrieb, wird Stickstoffdünger auf der Fläche gleichmäßig ausgebracht. Es erfolgt

eine schlageinheitliche Düngung (homogene, sachgerechte N-Menge und Ausbringung), obwohl es sich um bodenkundlich bzw. pflanzenbaulich heterogene Schläge handelt.

Die Bewertung erfolgt innerhalb des fachlich gesetzten Rahmens, dass die N-Düngemenge bezogen auf die Gesamtfläche gleichbleibt. Hingegen werden höhere Mengen an N-Dünger auf jene Flächen (teilflächenspezifisch) aufgebracht, wo auch ein höherer Ertrag möglich ist; auf Flächen mit geringeren Erträgen wird weniger N-Dünger aufgebracht.

4.4.2 Agronomische Wirkungen

agronomische Haupt-Folgewirkung

Die agronomische Haupt-Folgewirkung ist die Erhöhung der N-Effizienz (verbesserte N-Ausnutzung). Das kann durch höhere Erträge und gleichbleibende bzw. reduzierte N-Düngermengen erreicht werden. Durch die N-Effizienzsteigerung (angewandte N-Menge passt besser mit Bedarf der Pflanze zusammen) kommt es zur Verringerung der N-Verluste. Die funktionelle Einheit der Umweltbewertung der Haupt-Zielrichtung ist der Hektar Ackerfläche. Die Funktion ist der Produktiverhalt der Fläche.

agronomische Begleitwirkungen

Der Energieeinsatz aufgrund des Befahrens mit dem Traktor wird als grundsätzlich ähnlich hoch eingeschätzt wie ohne digitale Technologie; das Erstellen der Satelliten- und Applikationskarten sowie die Datenverarbeitung benötigen jedenfalls Energie. Indirekte Energie-Einsparungseffekte sind über den geringeren N-Düngereinsatz gegeben. Im Boden werden Veränderungen der Mineralisierungsrate des organisch gebundenen Stickstoffs (N_{org}) angenommen, dies ändert sich jedoch nicht kurzfristig (z. B. nach einem Jahr) und ist daher auch nicht kurzfristig durch Messungen belegbar, sondern stellt sich erst langfristig um. Systemänderungen könnten nur langfristig durch die Parameter langfristige Humus- und N-Bilanz erfasst werden. Auch die Möglichkeit des Zwischenfruchtbaus nach variabler N-Düngung sollte untersucht werden; nach bisherigen Ergebnissen sind Zwischenfrüchte bei variablen Düngungsvarianten nicht so gut aufgekommen. Durch Veränderungen des Wurzelwachstums durch die variable N-Düngung können potenziell mehr Wurzelrückstände produziert werden und es kann mehr Humusaufbau stattfinden. Die Möglichkeit, die seichtgründigen „Schotterlinsen“ mit geringerem Ertragspotenzial für Aspekte der biologischen Vielfalt zu nutzen, wird nicht gesehen, da diese Teilflächen mitten im Schlag bzw. Feldstück liegen und es schwierig ist, diese bei der Bewirtschaftung auszusparen. Möglicherweise könnte die Technologie dazu führen, dass sich die Landwirt:innen nicht mehr auf ihre Erfahrung verlassen, sondern nur mehr auf Daten und den Sensor, die vielleicht ein anderes Bild ergeben.

Am Beispiel der teilflächenspezifischen N-Düngung wird sichtbar, wie wichtig eine möglichst genaue agronomische Technologiecharakterisierung ist. Hinter dieser Technologie verbirgt sich ein großes Bündel an heterogenen Systemen (unter anderem durch den Einsatz von verschiedenen Sensortechniken). Bei der teilflächenspezifischen N-Düngung können zudem verschiedene Düngestrategien verfolgt werden. Ziel eines nivellierenden, homogenisierenden Systems ist

es, Bereiche am Feld mit geringem Ertrag durch erhöhte Düngermenge auf ein einheitliches Niveau zu bringen. Alternativ können in einem differenzierenden System Bereiche mit geringem Ertragspotenzial (zum Beispiel aufgrund suboptimaler Bodenverhältnisse) mit geringeren Düngermengen behandelt werden als Bereiche mit hohem Ertragspotenzial. Das der Bewertung zu Grunde liegende System muss daher im Vorfeld exakt definiert werden, da es sonst zu unterschiedlichen Einschätzungen der Umweltwirkung kommen kann.

4.4.3 Umweltbewertung der Wirkungen

Betriebsmitteleffizienz Haupt-Umweltwirkung: Bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung werden keine agronomischen Haupt-Folgewirkungen im Bereich *Betriebsmitteleffizienz* erwartet.

Begleit-Umweltwirkungen: Die Datenbeschaffung und -verarbeitung (zum Beispiel Satellitenkarten) bedingt einen höheren Energieeinsatz für Informationstechnologie, welcher als umwelt-negativ zu bewerten ist. Der geringere N-Düngemittelbedarf durch die standortangepasste N-Düngung bedeutet hingegen, dass weniger synthetischer Dünger produziert werden muss. Der daraus resultierende reduzierte Nährstoffeinsatz wird als umwelt-positiv bewertet (Tabelle 22).

Tabelle 22: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung), Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Betriebsmitteleffizienz: Vorleistungen und Betriebsmittel	Energieverbrauch (Zukauf)			Datenbeschaffung, Satellitenkarten etc. notwendig	▼ höherer Energieeinsatz für Informationstechnologie
	Erneuerbare Energien				
	Nährstoffeinsatz			geringerer N-Düngemittelbedarf durch standortangepasste N-Düngung	▲ geringere Düngereproduktion erforderlich
Mittelwert				●	

Produktionssuffizienz Haupt-Umweltwirkung: Der gesteigerte Ertrag bedingt einen höheren Ressourcenaufwand für Transport, Verarbeitung etc. und ist daher im Bereich Produktionssuffizienz als umwelt-negativ einzustufen. Durch die N-Effizienzsteigerung kommt es zur Verringerung der N-Verluste in die Umwelt (Luft und Grundwasser), welches als positive Umweltwirkung zu bewerten ist (Tabelle 23).

Begleit-Umweltwirkungen: In der Umwelt-Wirkgruppe *Produktionssuffizienz* sind keine Begleitwirkungen zu erwarten.

Tabelle 23: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung),
Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folgewirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Produktionssuffizienz: Output, Emissionen, standortangepasster Ertrag, Produkte	Produktmenge	höherer Ertrag	▼ höherer Ressourcenaufwand für Transport, Verarbeitung etc. ist umwelt-negativ		
	Emissionen in Wasser/Boden	höhere N-Effizienz	▲ geringere N-Austräge ins Grundwasser		
	Emissionen in die Luft	höhere N-Effizienz	▲ geringere Ammoniak- und Lachgas-Emissionen		
Mittelwert			▲		

Ökologische Resilienz

Haupt-Umweltwirkung: Es liegen bei dieser Technologie keine agronomischen Haupt-Folgewirkungen vor, die den Bereich *Ökologische Resilienz* beeinflussen.

Begleit-Umweltwirkungen: Potenziell könnte es langfristig zu Veränderungen der Mineralisierungsrate des organisch gebundenen Stickstoffs (N_{org}) im Boden kommen. Eine mögliche Umweltwirkung davon müsste jedoch durch ein Bodenmonitoring verifiziert werden (Humus- und N-Bilanz, N_{min} -Gehalt) und wurde daher als neutral eingestuft (Tabelle 24).

Tabelle 24: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung),
Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Ökologische Resilienz	Lebensraumvielfalt und -konnektivität, Arten- und genetische Vielfalt, Agrobiodiversität				
	Bodenphysikalische Struktur, Bodenchemische Qualität, biologische Qualität des Bodens, Nettoverlust/-gewinn an produktivem Land			langfristig Veränderungen der Mineralisierungsrate des organisch gebundenen Stickstoffs (N _{org}) im Boden	● Umweltwirkung müsste durch ein Bodenmonitoring verifiziert werden (Humus- und N-Bilanz, N _{min} -Gehalt)
	Sicherung multipler Ökosystemleistungen (Produktionsfunktion, Erholungsfunktion, Lebensraumfunktion, Biologische Vielfalt, Bodenfunktionen, Kohlenstoffspeicherung, Reduktion der Erosionsgefahr, Nahrungsmittelsicherheit/Rohstoffe)				
Mittelwert					●

Ökosystemare Konsistenz Haupt-Umweltwirkung: Die verbesserte N-Effizienz durch den Einsatz der digitalen Technologie ermöglicht eine besser an den Standort angepasste Bewirtschaftung und stellt daher eine umwelt-positive Wirkung dar (Tabelle 25).

Begleitumweltwirkungen: Die Standortkenntnis der Landwirt:innen sinkt potenziell, weil sie sich mehr auf Daten und Sensoren verlassen als auf die eigene Erfahrung, wodurch der Bezug zur Natur potenziell verloren geht. Die Umweltwirkung dieser Begleitwirkung wird als geringfügig und daher neutral bewertet.

Tabelle 25: Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung),
Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Umwelt-Wirkgruppe	Subaspekte	Agronomische Haupt-Folge-wirkung	Umweltbewertung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Agronomische und technische Begleitwirkungen	Umweltbewertung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)
Ökosystemare Konsistenz: Vereinbarkeit von Standort, Produktion und Natur	Erfahrung in der Bewirtschaftung, standortangepasste Ertragserswartung			Standortkenntnis sinkt potenziell, weil der/die Landwirt:in sich mehr auf Daten und Sensoren verlässt als auf die eigene Erfahrung	▼ der Bezug zur Natur geht potenziell verloren
	Aus- und Weiterbildung für umweltrelevante Inhalte; Nährstoff-, Humusbilanz (Hoftorbilanz bzw. kleinregional)				
	Angepasste Flächennutzung, Intensität und Kulturartenverteilung, Viehbesatz, abgestufte Nutzung, intensive und extensive Flächen	höhere N-Effizienz	▲ besser an den Standort angepasste Bewirtschaftung		
Mittelwert			▲		▼

4.4.4 Interpretation

Die Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung bewirkt primär eine gesteigerte Stickstoffeffizienz. Diese wirkt sich positiv auf den Ertrag aus. Die gesteigerte Produktmenge bedingt einen höheren Ressourcenaufwand (Transport, Verarbeitung etc.), welcher als umwelt-negativ einzustufen ist. Die verbesserte Stickstoffeffizienz führt zu geringeren Stickstoffausträgen in das Grundwasser sowie in die Luft in Form von Lachgas-Emissionen, welches als umwelt-positiv bewertet wird. Die standortangepasste Bewirtschaftung wirkt sich zudem positiv auf die Ökosystemare Konsistenz aus. Das Fazit der Umweltbewertung zur Teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung ist, dass es sich dabei um eine „**(Produktions-) suffizienzsteigernde Technologie**“ handelt. Eine Übersicht der Umweltwirkungen ist in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Quelle: AGES, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Umweltbundesamt.

Teilflächenspezifische N-Düngung	Umwelt-Wirkgruppe	Umweltwirkung der agronomischen Haupt-Folgewirkung (Relevanz und Ausmaß)	Umweltwirkung der Begleitwirkungen (Relevanz und Ausmaß)			
	Betriebsmitteleffizienz		▲	▼	Düngemittelproduktion Energieeinsatz	
	Produktionssuffizienz	▲ ▲ ▼	Eutrophierung, THG, Produktmenge	●		
	Ökologische Resilienz			▲	●	Mineralisierungsrate N _{org}
	Ökosystemare Konsistenz	▲	standortangepasste Bewirtschaftung	▼		Standortkenntnis
Umweltwirkung: weniger Eutrophierung und Treibhausgase (höhere N-Effizienz und Erträge)						

Umweltwirkungen der agronomischen Haupt-Folgewirkungen und der Begleitwirkungen werden in den vier Umwelt-Wirkgruppen als positive (grüner Pfeil), negative (roter Pfeil) oder geringe Wirkung (gelber Kreis) eingeteilt.

5 ANHANG

5.1 Die 28 Agrarumweltindikatoren (EUROSTAT 2022)

Indicator Name	Description	Unit of measurement	Most recent data (year)	Responsible
1. Agri-environmental commitments	The indicator gives information on the agricultural area which is covered by commitments under the Rural Development Programmes (RDP) for several (but not all) types of environmentally friendly farming practices for the RDP periods 2007–2013 and 2014–2020.	Share (%) of area under agri-environmental commitments on total utilised agricultural area (UAA)	-	DG AGRI
2. Agricultural areas under Natura 2000 See CAP Context indicator C.19 (2014–2020 C.34): NATURA 2000 areas	The percentages of UAA under Natura 2000 are estimated using Corine Land Cover classes for Agricultural areas (2.x.x) with and without Natural grassland (3.2.1)	% UAA under Natura 2000's network	2016	EEA
3. Farmers' training level and use of environmental farm advisory services See CAP Context indicator C.15 (2014–2020: C.24): Agricultural training of farm managers	FSS results 2016 for number and share of farmers by level of agricultural training and by age group	Number (%) of Farm managers with basic or full training or practical experience only	2016	DG AGRI, Eurostat
4. Area under organic farming See Organic farming statistics → CAP Context indicator C.32 Agricultural area under organic farming (2014–2020: C.19)	Total organic area in the EU-27 and per Member State, share of total organic area (divided into arable land, grassland and permanent cropland) in the total utilised agricultural area (UAA)	ha, %	2019	Eurostat
5. Mineral fertiliser consumption	Consumption volume of the mineral fertilisers nitrogen (N) and phosphorus (P) by agriculture; Mineral fertilizer nitrogen (N) and phosphorus (P) consumption per ha of fertilized UAA (kg/ha)	t, kg/ha	2019	Eurostat
6. Consumption of pesticides	Sales of pesticides (plant protection products, PPP) in total volume, reported in six major groups of substances: 'Fungicides and bactericides', 'Herbicides, haulm destructors and moss killers', 'Insecticides and acaricides', 'Molluscicides', 'Plant growth regulators', 'Other plant protection products'	t	2019	Eurostat
7. Irrigation → CAP Context indicator C.18 Irrigable land (2014–2020: C.20); C.37 Water use in agriculture	Total agricultural area equipped for irrigation (irrigable area) and area actually irrigated (irrigated area).	ha, %	2016	Eurostat

Indicator Name	Description	Unit of measurement	Most recent data (Year)	Responsible
8. Energy use → CAP Context indicator C.42 (2014–2020: C.44): Energy use in agriculture, forestry and food industry	Direct use of energy (solid fuels, petroleum products, gas, electricity, renewables, heat) by agriculture per hectare (ha) of utilised agricultural area (UAA). Total energy consumption by agriculture, share of agriculture in final energy consumption, share of fuel type in energy consumption by agriculture.	kg OE per ha per year, 1 000 tonnes of oil equivalent, %	2018	Eurostat
9. Land use change → CAP Context indicator C.05 Land cover (2014–2020: C.31)	Land cover country fact sheets 2000–2018: land cover changes/ status / flows; Analytical framework for Land Systems analysis	km ² /yr	-	EEA
10.1 Cropping patterns	UAA and distribution of the main agricultural land cover types: arable land, permanent grassland, permanent crops and kitchen gardens	ha, %	2016	Eurostat
10.2 Livestock patterns → CAP Context indicator C.22 Livestock numbers (2014–2020: C.21, C. 23 Livestock density)	Livestock density index: Livestock density at EU and country level per ha UAA Grazing livestock density index: Livestock grazing (cattle, sheep, goats and equidae) on fodder area (permanent grassland and fodder crops grown on arable land), Total livestock population and per category (cattle, pigs, poultry, sheep, goats, equidae)	LSU (Livestock units) / ha UAA grazing LSU / ha fodder area LSU	2016	Eurostat
11.1 Soil cover	Share of arable land with a cover of winter crops, crop residues, cover/intermediate crops or multiannual crops over winter. Share of permanent grassland in UAA. Share of arable area covered with (green and grain) maize.	%	2016	Eurostat
11.2 Tillage practices	Share of three tillage methods: conventional tillage, conservation tillage and zero tillage in total arable area and total tillable area.	%	2016	Eurostat
11.3 Manure storage	Holdings with manure storage facilities, divided into solid dung, liquid manure and slurry	Number, %	2010	Eurostat
12. Intensification/ extensification See CAP Context indicator 33: Farming intensity	Share of agricultural area managed by low, medium and high intensity farms. Average input expenditure per hectare in constant input prices	% of total UAA €/ha in constant input prices	2017	DG AGRI
13. Specialisation	Number and share of agricultural holdings by specialisation type: crop specialist, livestock specialist, mixed farming, non-classifiable holdings (FSS data). Share of UAA managed by specialisation types	Number, % of total holdings	2016	Eurostat

Indicator Name	Description	Unit of measurement	Most recent data (Year)	Responsible
14. (Archive) Risk of land abandonment	The risk of farmland abandonment was estimated through statistical analysis of key drivers combined into a composite index indicator: weak land market, Low farm income, Lack of investment in the farm, High share of farm holders over the age of 65 years, High share of farm holders with low qualification, Low farm size, Remoteness and low population density, Low share of farms committed to specific schemes linked to continue farming		-	JRC
15. Gross nitrogen balance → CAP Context indicator C.38 Water quality (2014–2020: C.40)	The gross nitrogen balance on agricultural land is the potential surplus of nitrogen on agricultural land. It lists all inputs and outputs into and out of the soil and calculates the gross nitrogen surplus as the difference between total inputs and total outputs.	kg N per ha UAA	2018	Eurostat
16. Risk of pollution by phosphorus	The phosphorus balance on agricultural land is the potential surplus of phosphorus on agricultural land. It lists all inputs and outputs into and out of the soil and calculates the P surplus as the difference between total inputs and total outputs.	kg P per ha UAA	2018	Eurostat
17. Pesticide risk → CAP Context indicator C.48 Risk and impacts of pesticides (Sales data are categorised and weighted based on the properties of the active substances, resulting in a harmonised, EU wide indicator)	To be calculated, Harmonised Risk Indicators are defined in the Sustainable Use Directive (2009/128/EC), the EC shall calculate them for the EU and Member States should calculate the Harmonised Risk Indicators at a national level. There is a link to two F2F-indicators 'Trend in the use and risk of chemical pesticides' and 'Trend in the use of more hazardous pesticides'.		2018	DG SANTE
18. (Archive) Ammonia emissions	Emissions of Ammonia	1 000 t	2017	EEA
19. Greenhouse gas emissions See Climate change - driving forces	GHG emissions broken down by source sectors as defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	tonnes of CO ₂ -equivalent, %	2018	EEA
20. Water abstraction See CAP Context indicator C.37 Water use in agriculture (2014–2020: C.39: Water abstraction in agriculture)	Volume of water used for irrigation and share of irrigation in total water abstraction	million m ³ , %	2017	EEA
21. Soil erosion	The indicator soil erosion estimates the agricultural areas and natural grassland affected by a certain rate of soil erosion by water. Percentage of area affected by moderate or severe soil water erosion, Soil water erosion rate by country, Soil erosion by water on agricultural areas and natural grassland	%, mean soil loss rate in t/ha*a	2016	JRC

Indicator Name	Description	Unit of measurement	Most recent data (Year)	Responsible
22. Genetic diversity	No data		-	EEA
23. High Nature Value farmland	Share of estimated high nature value (HNV) farmland in utilised agricultural area (UAA)	ha, %	-	DG AGRI
24. Production of renewable energy See CAP Context indicator C.41: Production of renewable energy from agriculture and forestry (CAP 2014–2020 C.43)	Production of renewable energy from agriculture and forestry and as a share of the total production of renewable energy; Share of agriculture in production of renewable energy	1 000 tonnes of oil equivalent, %	2016	DG AGRI Eurostat
25. Population trends of farmland birds → CAP Context indicator C.35 See Biodiversity statistics or Common farmland birds in the EU	This indicator shows long-term monitoring data of farmland birds, i.e., trends in the abundance of common birds across their European ranges over time. It is a composite of many species trend indices.	Population index (1990=100)	2019	EEA
26. (Archive) Soil quality	A model of soil quality had been developed, the agri-environmental soil quality index consists of four sub-indicators of similar weight: productivity index, fertilizer response rate, production stability index, soil environmental services index. Indicator has been archived.		-	JRC
27.1 Water Quality – Nitrate pollution (see Water quality – Nitrate pollution) → CAP Context indicator C.38 (CAP 2014–2020 C.40)	Data series are calculated as the average of annual mean concentrations for groundwater bodies, river stations and lake stations in Europe.	mg NO ₃ /l	-	EEA
27.2 Water Quality – Pesticide pollution (see Water quality – Pesticide pollution)	This indicator was archived in 2015 with reason: No more updates will be done.		-	EEA
28. (Archive) Landscape – state and diversity	This indicator has been archived. It was structured in 3 components: Landscape physical structure, Hemeroby index, Societal awareness of agrarian landscape.		-	JRC

5.2 Indikatoren für ein Umweltmonitoring am Beispiel Boden

Aus der Bewertung einer Technologie mit Hilfe der Indikatorenlisten aus Kapitel 2.4 können Hinweise auf Informationsbedarf für weitere Untersuchungen oder Beobachtungen zur Bewertung von Umweltfolgen einer Technologie abgeleitet werden. Diese Möglichkeit stellt neben der Zusammenfassenden Einstufung und den Bewertungen und Erläuterungen zu den vier Themenfeldern ein weiteres Element des Ergebnisses dar. Im folgenden Abschnitt wird für den Bereich „Boden“ beispielhaft die Ableitung eines Indikatorensets für ein Monitoringkonzept demonstriert.

5.2.1 Grundlagen und Konzeption

Für die verschiedenen Themenbereiche einer Bewertung stehen in Bezug auf die Bodenqualität unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Im Allgemeinen können folgende Indikatoren oder Parameter genannt werden:

- Physikalische Bodenqualität
 - Textur
 - Bodenstruktur (unter Berücksichtigung allfälliger Verdichtungs-horizonte)
 - Porenverteilung
 - Stabilität der Bodenaggregate
 - Gründigkeit
 - Erosionsgefährdung
 - Nutzbare Feldkapazität (nFK) als abgeleiteter Parameter
- Chemische Bodenqualität
 - pH-Wert
 - Kalkgehalt
 - „Gesamtgehalte“ (bei anorganischen Stoffen i.d.R. mit Königswasser extrahierbare Anteile) an Nähr- und Schadstoffen
 - Charakterisierung der Verfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen
 - Austauschkapazität und die Belegung der Austauscherplätze
 - Pflanzenschutzmittelrückstände und -metaboliten
- Bodenqualität „organische Substanz“
 - Gehalt an C_{org}
 - Gehalt an N_{tot}
 - C/N-Verhältnis
 - Leicht oxidierbarer C (C_{ox})
 - C_{org}/C_{ox} -Verhältnis
- Biologische Bodenqualität
 - Besatzdichten mit Bodentieren

- Bodenatmung
- Substratinduzierte Bodenatmung (Leistungsvermögen)
- Mikrobielle Biomasse
- PLFA-Muster
- Aktivität von Bodenenzymen

Darüber hinaus sind auch Bilanzierungen, basierend auf betriebsspezifischen Daten und Analyseergebnissen, ein mögliches Instrument zur Beurteilung der Wirkungsketten. Ein weiteres Hilfsmittel sind Fernerkundungsdaten (z. B. Produktivität via NDVI, LAI), die unter Umständen mit bestimmten Bodeneigenschaften korreliert werden können.

Aus den möglichen Indikatoren für ein effizientes Monitoring wurde für verschiedene Themenbereiche ein Vorschlag erarbeitet und den Kategorien Effizienz, Suffizienz, Resilienz und Konsistenz zugeordnet. Diese Kategorien wurden im Hinblick auf folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- **Effizienz** – Einsparungsmaßnahmen
- **Suffizienz** – Qualität der Umwelt
- **Resilienz** – Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen
- **Konsistenz** – Zielerreichung

5.2.2 Portfolio an möglichen Indikatoren

Ausgehend von einer intensiven Diskussion mit Stakeholdern wurde in einem Workshop im Juli 2022 eine zusätzliche Erweiterung bzw. Verfeinerung der Indikatoren vorgenommen. In der folgenden Tabelle ist das vorgeschlagene Portfolio an Indikatoren zusammengefasst:

Kategorie	Themenbereich	Indikatoren Bodenmonitoring
Effizienz	Düngemittel: Nährstoffe N, P, K (externe Quellen)	verfügbare Nährstoffgehalte (z. B. Nmin, P, K)
		Humusgehalt (TOC), Humusvorrat
		C-Sequestrierungspotenzial
		Lagerungsdichte
		pH
		austauschbare Kationen
		Nährstoffbilanzen
		Produktivität (Fernerkundung – NDVI, LAI)
		Ausbringungszeitpunkt (Wirtschaftsdünger)
		Ausbringungstechnik (Wirtschaftsdünger)
Pflanzenschutzmittel (PSM)		Textur
		TOC
		Kationenaustauschkapazität (KAK)
		pH
		ausgewählte PSM bzw. Metaboliten

Kategorie	Themenbereich	Indikatoren Bodenmonitoring
	Wasserbedarf	<p>Textur</p> <p>nFK als Ausgangsparameter (auch als Layer in der elektronischen Bodenkarte verfügbar)</p> <p>Verknüpfung mit Datenquellen zum aktuellen Wassergehalt bzw. zu Wasserspannungsdaten (z. B. Lysimeterdaten, Feldmessstellen)</p>
Suffizienz	Boden-/Wasserqualität	<p>Nmin-Gehalt</p> <p>Ntot, TOC, C/N-Verhältnis</p> <p>P-Gehalt</p> <p>Erosionsgefährdung (Layer der eBOD) in Kombination mit Nährstoff- und Kohlenstoffgehalten</p> <p>Bodenverdichtung</p> <p>Lagerungsdichte</p> <p>Bodenform (eBOD, Feldansprache)</p> <p>Wassersättigung (teilweise ableitbar aus Bodenform)</p> <p>Schwermetalle</p> <p>Pflanzenschutzmittel</p> <p>Bodenwasserqualität</p>
	Luftqualität und Klimawirkung	Treibhausgas-Emissionen (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄), Emissionen von Luftschadstoffen (NH ₃)
Resilienz	Wasserbedarf	nFk
	Bodenqualität/-fruchtbarkeit/-gesundheit ³	<p>Aggregatstabilität (Feldmethoden, Labormethoden)</p> <p>TOC</p> <p>leicht oxidierbarer Kohlenstoff (Cox)</p> <p>Verhältnis TOC/Cox als Parameter für die Humusstabilität</p> <p>pH, Carbonatgehalt</p> <p>verfügbare Hauptnährstoffe</p> <p>Kationenaustauschkapazität</p> <p>Bodenverdichtung</p> <p>Regenwurmbesatz</p> <p>mikrobielle Biomasse</p> <p>ausgewählte Bodenenzyme</p>
Konsistenz	Ertragsstrategie	<p>standortangepasste Düngeempfehlung</p> <p>Wurzeldichte</p> <p>Nährstoffbilanz</p> <p>Humusbilanz (verschiedene Verfahren stehen zur Verfügung – siehe Broschüre „Humus in Diskussion“ des BML)</p>

Für die finale Auswahl des Indikatorenspektrums bezüglich eines konkreten Anwendungsfalles kann eine Entscheidungsmatrix herangezogen werden. Dabei

³ Sowohl die Definition von Bodengesundheit als auch die Charakterisierung durch spezielle Indikatoren wird derzeit auf EU-Ebene in Zusammenhang mit der Vorbereitung des „Soil Health Law“ intensiv diskutiert. Sobald hier entsprechende Ergebnisse vorliegen, kann das Indikatorenportfolio entsprechend angepasst bzw. erweitert werden.

ist allerdings entsprechendes Expert:innenwissen zur Beurteilung der jeweiligen Aussagekraft erforderlich. Wesentlich dabei sind die entsprechenden Analysen der jeweiligen agronomischen Haupt-Folgewirkung, der agronomischen Begleitwirkung sowie der Haupt- und Begleit-Umweltwirkungen und deren unmittelbaren Auswirkungen auf bestimmte Indikatoren. Die Umweltwirkungen sind in der Folge zusammengefasst.

In Tabelle 27 ist der Zuordnungs- und Auswahlprozess schematisch dargestellt.

*Tabelle 27:
Auswahl der Indikatoren
in Bezug auf die Haupt-
und Begleitwirkungen
sowie die Umweltwirkungen.
Quelle: AGES.*

Indikatoren	HW	BW	UW
Ind. 1	✓		✓
Ind. 2		✓	✓
Ind. 3	✓		
...			

*HW ... Agronomische Haupt-Folgewirkung
BW ... Begleitwirkung
UW ... Haupt- und Begleit-Umweltwirkung*

Auf diese Art kann zunächst ein Indikatorenspektrum festgelegt werden, das in weiterer Folge auch noch auf Umsetzbarkeit zu prüfen ist.

In Hinblick auf die national und EU-weit laufenden Diskussionen zu Agrarumweltindikatoren sollte die Liste regelmäßig auf Aktualität geprüft und bei Bedarf erweitert bzw. eventuell auch gekürzt werden.

Das Monitoringkonzept sollte an Pilotbetrieben getestet werden, wobei eine gewisse Finanzierung dafür vorzusehen wäre. In jedem Fall sollte aber Parametern, die im Rahmen anderer Projekte oder Monitorings erhoben werden, der Vorzug gegeben werden.

Einen weiteren Ansatzpunkt für eine Umsetzung in der Praxis stellt eine Kooperation mit Technologieanbietern dar.

Im Folgenden ist die Auswahl der möglichen Indikatoren am Beispiel der Teilflächenspezifischen Düngung dargestellt:

5.2.3 Anwendungsbeispiel: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Agronomische Haupt- und Begleitwirkungen (siehe 4.4.2)

Hauptwirkung: Steigerung der N-Effizienz – höhere Erträge bei gleicher oder verringerter N-Düngermenge

Begleitwirkungen: Veränderung der Mineralisierungsrate (langfristig), Erhöhung des Humusgehalts durch vermehrtes Wurzelwachstum

Umweltwirkungen (siehe 4.4.3)

Reduktion der Düngermenge, Verringerung der Austragsgefährdung, Verringerung von Ammoniak- und Lachgasverlusten

Tabelle 28: Auswahlliste der Indikatoren. Quelle: eigene Zusammenstellung

Indikator	HW	BW	UW	Anmerkung
pH				
Carbonat				
P verfügbar				
K verfügbar				
TOC	x	x	x	GPS – Probenahme
Humusvorrat				
leicht oxidierbarer C (C _{ox})	x	x	x	
TOC/C _{ox}		x	x	
C-Sequestrierungspotenzial				
N _{min}	x		x	
N _{tot}		x	x	
C/N		x	x	
KAK				
Schwermetalle				
Textur	x		x	aus Finanzbodenschätzung übernehmen
Lagerungsdichte				
nFK			x	aus eBOD übernehmen
Wassergehalt				
Wasserspannung				
Bodenform			x	aus eBOD bzw. Bodenschätzung übernehmen
Wassersättigung				
Erosionsgefährdung				
Bodenverdichtung				
Aggregatstabilität				
Wurzeldichte		x	x	an repräsentativen Punkten
Regenwurmbesatz				
mikrobielle Biomasse				
Bodenzymen				
Bodenwasserqualität			x	Nitratgehalt, ev. Saugkerzen
THG-Emissionen			x	aufwendige Messung!
PSM				
NDVI	x		x	
Ausbringungszeitpunkt WD				
Ausbringungstechnik WD				
Düngeempfehlung				
Nährstoffbilanz	x		x	
Humusbilanz	x	x		

6 ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Landwirtschaft zwischen Nutzung und Bereitstellung von Ökosystemleistungen.....	25
Abbildung 2: Struktur des Umweltbewertungskonzeptes im Überblick	42
Abbildung 3: Agronomische Technologiecharakterisierung zur Identifikation der Haupt-Zielrichtung und Hauptwirkung der Technologie.....	43
Abbildung 4: Darstellung von räumlichen und prozessualen Systemgrenzen landwirtschaftlicher Produktion	45
Abbildung 5: Ableitung der agronomischen Haupt-Folgewirkung und von Begleitwirkungen	47
Abbildung 6: Umweltbewertung der agronomischen Wirkungen.....	48
Abbildung 7: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für den Futteranschieberoboter	55
Abbildung 8: Systemgrenzen Futteranschieberoboter (Details siehe ISO 14044, 4.2.3.3.2),.....	57
Abbildung 9: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für den Bewegungssensor zur Brunsterkennung.	65
Abbildung 10: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für die Unkrautdetektion mittels Drohne.	74
Abbildung 11: Darstellung der Parameter in der Prozesskette für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.	82

7 TABELLEN

Tabelle 1:	Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Betriebsmitteleffizienz	30
Tabelle 2:	Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Produktionssuffizienz.....	33
Tabelle 3:	Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Ökologische Resilienz.....	35
Tabelle 4:	Umweltwirkungen: Ausschnitt für die Umwelt-Wirkgruppe Ökosystemare Konsistenz	39
Tabelle 5:	Umweltbewertung von agronomischer Haupt-Folgewirkung und von agronomischen Begleitwirkungen	50
Tabelle 6:	Symbole und Legende zur Einstufung der Umweltauswirkungen von agronomischer Haupt-Folgewirkung und Begleitwirkungen	51
Tabelle 7:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Futteranschieberoboter).....	59
Tabelle 8:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“.....	60
Tabelle 9:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“.....	61
Tabelle 10:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“	62
Tabelle 11:	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Futteranschieberoboter.....	63
Tabelle 12:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Bewegungssensor)	68
Tabelle 13:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „ Produktionssuffizienz“ (Bewegungssensor)	69
Tabelle 14:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „ Ökologische Resilienz“ (Bewegungssensor)	70
Tabelle 15:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „ Ökosystemare Konsistenz“ (Bewegungssensor)	71
Tabelle 16:	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Bewegungssensor zur Brunsterkennung	72
Tabelle 17:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen).....	76

Tabelle 18:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen).....	77
Tabelle 19:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen).....	78
Tabelle 20:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“ (Unkrautnesterdetektion Drohnen).....	79
Tabelle 21:	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Unkrautnesterdetektion mittels Drohne	80
Tabelle 22:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Betriebsmitteleffizienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung)	85
Tabelle 23:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Produktionssuffizienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung)	86
Tabelle 24:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökologische Resilienz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung)	87
Tabelle 25:	Bewertung zur Umwelt-Wirkgruppe „Ökosystemare Konsistenz“ (Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung)	88
Tabelle 26:	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Umweltbewertung zum Anwendungsbeispiel Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.....	89
Tabelle 27:	Auswahl der Indikatoren in Bezug auf die Haupt- und Begleitwirkungen sowie die Umweltwirkungen.....	97
Tabelle 28:	Auswahlliste der Indikatoren	98

8 LITERATUR

- BAB, 2019. Evaluierung des Österreichischen Agrar-Umweltprogramms ÖPUL. Nationaler Detailbericht. Wien.
- BML - Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, August 2022. *DE - GAP-Strategieplan Österreich 2023-2027. Version 1.2.*
- BMNT, 2019. UVE-Leitfaden. Eine Information zur Umweltverträglichkeitserklärung. Überarbeitete Fassung 2019. Wien.
- EK - EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019. Der europäische Grüne Deal. COM(2019) 640 final.
- EK, 2006. Entwicklung von Agrarumweltindikatoren zur Überwachung der Integration von Umweltbelangen in die Gemeinsame Agrarpolitik. KOM(2006) 508 [online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0508&from=de>
- EK, 2022a. Context and Impact indicators. Version 7.0. DG Agriculture and Rural Development.
- EK, 2022b. Result indicators. Result indicators. Version 10.0. DG Agriculture and Rural Development.
- EUROSTAT, 2022. Agri-Environmental indicators. Zugriff am 13.10.2022.
- FAO, 2013. *SAFA guidelines presentation*. By Nadja El-Hage Scialabba [online]. Rome, 18. Oktober 2013. Verfügbar unter: https://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/SAFAGuidelines_presentation_web_122013.pdf
- FAO, 2013. *SAFA indicators* [online]. Rome. Verfügbar unter: https://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/SAFA_Indicators_final_19122013.pdf
- FAO, 2014. SAFA guidelines. Version 3.0. Rome.
- FAO, 2015. *SAFA Smallholders App. User Manual Version 2.0.0* [online]. Rome. Verfügbar unter: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/docs/SAFASmallAp_p_Manual-final.pdf
- FREIERMUTH, R., 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetall-flüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz. FAL Zürich-Reckenholz.
- GARSKE, B., A. BAU und F. EKARDT, 2021. Digitalization and AI in European Agriculture: A Strategy for Achieving Climate and Biodiversity Targets? [online]. *Sustainability*, **13**(9), 4652. ISSN 2071-1050. Verfügbar unter: doi:10.3390/su13094652

- GROTHMANN, A., L. MOSER, F. NYDEGGER, A. STEINER und M. ZÄHNER, 2014. *Influence of different feeding frequencies on the rumination and lying behaviour of dairy cows*. Zurich: Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, 6. Juli 2014.
- HART, K.D., B.W. MCBRIDE, T.F. DUFFIELD und T.J. DEVRIES, 2014. Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows [online]. *Journal of dairy science*, **97**(3), 1713-1724. *Journal of dairy science*. Verfügbar unter: doi:10.3168/jds.2013-7504
- HAUSCHILD, M. und J. POTTING, 2005. Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment-The EDIP2003 methodology [online]. *Environmental news*, (80), 1-195. *Environmental news*. Verfügbar unter: <https://lca-center.dk/wp-content/uploads/2015/08/Spatial-differentiation-in-life-cycle-impact-assessment-the-EDIP2003-methodology.pdf>
- HERNDL, M., D.U. BAUMGARTNER, T. GUGGENBERGER, M. BYSTRICKY, G. GAILLARD, S. MARTON, J. LANSCH, C. FASCHING, A. STEINWIDDER und NEMECEK, T. & VIERBAUCH, R., 2015. *Abschlussbericht FarmLife. Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich*.
- HERNDL, M., T. GUGGENBERGER, T. LINDENTHAL, S. SCHWEIGER und SCHEUCH, M. & HÖRTENHUBER, S., 2019. Abschlussbericht SmartFarmLife. Vergleich und Analyse der Synergien von Umwelt- und Nachhaltigkeits-Bewertungen auf Milchviehbetrieben in Österreich. Irdning-Donnersbachtal.
- HISCHIER, R., B. WEIDEMA, H.-J. ALTHAUS, C. BAUER, G. DOKA, R. DONES, R. FRISCHKNECHT, S. HELLWEG, S. HUMBERT, N. JUNGBLUTH, T. KÖLLNER, Y. LOERINCIK, M. MARGNI und T. NEMECEK, 2010. *Implementation of life cycle impact assessment methods.ecoinvent report No. 3, v2.2*. Dübendorf.
- HUBER, G., 2020. *Ergebnisbericht zu Use Case „Digitale Brunsterkennung“ – eine Kooperation mit Nedap N.V.* [online]. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Tier, Technik und Umwelt, Abteilung für artgemäße Tierhaltung, Tierschutz und Herdenmanagement. Verfügbar unter: https://www.innovationfarm.at/wp-content/uploads/Brunsterkennung_Ergebnisbericht.pdf
- IPCC, 2007. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. Cambridge/New York. Verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf
- JEANNERET, P., D.U. BAUMGARTNER, R. FREIERMUTH KNUCHEL und G. GAILLARD, 2009. Methode zur Beurteilung der Wirkung landwirtschaftlicher Aktivitäten auf die Biodiversität für Ökobilanzen (SALCA-Biodiversität) [online]. Reckenholz-Tänikon ART [Zugriff am: 16. September 2020]. Verfügbar unter: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/oekobilanzen/oekobilanz-methoden/oekobilanzmethode-salca.html>

- KUDRNA, V., 2003. Effect of Feeding Frequency Employing Total Mixed Ration (TMR) on Dry Matter Intake and Milk Yield in Dairy Cows During the Winter [online]. *Acta Vet Brno*, (72), 533-539. Acta Vet Brno. Verfügbar unter: https://actavet.vfu.cz/media/pdf/avb_2003072040533.pdf
- LOVARELLI, D., J. BACENETTI und M. GUARINO, 2020. A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production? [online]. *Journal of Cleaner Production*, **262**, 121409. ISSN 0959-6526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2020.121409
- MÄNTYSAARI, P., H. KHALILI und J. SARIOLA, 2006. Effect of Feeding Frequency of a Total Mixed Ration on the Performance of High-Yielding Dairy Cows [online]. *Journal of dairy science*, **89**(11), 4312-4320. Journal of dairy science. Verfügbar unter: doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72478-X
- MATTACHANI, G., E. RIVA, J. POMPE und G. PROVOLO, 2015. Automatic monitoring of cow behaviour to assess the effects of variations in feeding delivery frequency [online]. *Proceedings Precision Livestock Farming*, 473-481. Proceedings Precision Livestock Farming. Verfügbar unter: <https://library.wur.nl/webquery/wurpubs/fulltext/368325>
- MEA, 2005. Millenium Ecosystem Assessment - Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington D.C.
- NEMECEK, T., R. FREIERMUTH-KNUCHEL, M. ALIG und G. GAILLARD, 2010. *The advantages of generic LCA tools for agriculture: examples SALCAcrop and SALCAfarm*. Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari.
- OBERHOLZER, H.-R., P. WEISSKOPF, F. GAILLARD, F. WEISS und R. FREIERMUTH-KNUCHEL, 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen - SALCA-SQ. FAL Reckenholz.
- OBERSCHÄTZL-KOPP, R., 2018. Verhalten von Milchkühen bei statischen und dynamischen Fütterungskonzepten in automatisierten Stallsystemen [online]. Dissertation. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1393813>
- ÖIR GMBH & UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR, 2021. Umweltbericht zur strategischen Umweltprüfung (SUP) des Österreichischen Strategieplans für die Gemeinsame Agrarpolitik 2021-2027. Endversion.
- PFEIFFER, J., M. GANDORFER und G. WENDL, Hg., 2018. *Bewertung automatischer Brunsterkennung in der Milchviehhaltung* [online]. Verfügbar unter: https://gil-net.de/Publikationen/30_183.pdf
- PRASUHN, V., 2006. *Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung* [online]. FAL Reckenholz. Verfügbar unter: <https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/en/dokumente/themen/umwelt-ressourcen/produktionssysteme/salca-phosphor.pdf.download.pdf/salca-phosphor.pdf>

- PRETTENTHALER, F., M. KLADE, C. HABSBURG-LOTHRINGEN, A. NIEDERL und SEEBACHER, U., WINKLER, C., 2014. Strategische Umweltprüfung zum Österreichischen Programm für die Entwicklung des Ländlichen Raumes 2014 – 2020 (LE 2020) gem. RL 2001/42/EG. Umweltbericht [online]. Graz. Research Report Series. 165/2013 [Zugriff am: 13. Januar 2023]. Verfügbar unter: <https://info.bml.gv.at/dam/jcr:cf0fe0d4-9a37-4a45-a0ca-7d4023d809d0/Strategische%20Umweltpruefung.pdf>
- RICHNER, W., H.R. OBERHOLZER, R. FREIERMUTH-KNUCHEL, O. HUGUENIN, S. OTT, T. NEMECEK und U. WALTHER, 2014. *Modell zur Beurteilung der Nitratauswaschung in Ökobilanzen–SALCA-NO3*. Zürich.
- ROSINAK&PARTNER UND WIFO, 2021. Ex-Ante Bewertung des Strategie- plans für die Gemeinsame Agrarpolitik im Zeitraum 2023-2027 (GAP- Strategieplan). Zusammenfassung der Ex-Ante-Bewertung (Annex I).
- ROTOLO, D., D. HICKS und B.R. MARTIN, 2015. What is an emerging technology? [online]. *Research Policy*, **44**(10), 1827-1843. ISSN 0048-7333. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.respol.2015.06.006
- RUTTEN, C.J., W. STEENEVELD, C. INCHASRI und H. HOGEVEEN, 2014. An ex ante analysis on the use of activity meters for automated estrus detection: to invest or not to invest? [online]. *Journal of dairy science*, **97**(11), 6869-6887. *Journal of dairy science*. Verfügbar unter: doi:10.3168/jds.2014-7948
- SFS, 2017. SMART – Sustainability Assessments in the Food and Agriculture Sector: Nachhaltigkeitsbewertung im Agrar- & Lebensmittelsektor. Frick.
- SHARP, B.E. und S.A. MILLER, 2016. Potential for Integrating Diffusion of Innovation Principles into Life Cycle Assessment of Emerging Technologies [online]. *Environmental science & technology*, **50**(6), 2771-2781. *Environmental science & technology*. Verfügbar unter: doi:10.1021/acs.est.5b03239
- UMWELTBUNDESAMT, 2011. Ökosystemleistungen und Landwirtschaft. Erstellung eines Inventars für Österreich. REP- 0355. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT, 2019a. Erfassung und Darstellung von Ökosystemleistungen in Österreich im Rahmen des Österreichischen Programms für die ländliche Entwicklung 2014–2020. REP-0693. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT, 2019b. Gemeinsame Agrarpolitik GAP 2020+ - Grundlagen für die SWOT-Analyse der Umweltziele (d), (e) und (f) in Österreich. REP-0695. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT, 2020. Austria's National Inventory Report 2020. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. REP-0724. Wien.

WALDVOGEL, T., M. MATHIS, L. de BAAN, C. HAUPT und T. NEMECEK, 2018.

Bewertung der Umweltwirkungen und Risiken verschiedener

Pflanzenschutzstrategien für fünf Kulturen in der Schweiz [online]. Zürich:

Agroscope. Agroscope science Umwelt. Nr. 64 (2018). ISBN 9783906804538.

Verfügbar unter: <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/38473>

ZHANG, W., T.H. RICKETTS, C. KREMEN, K. CARNEY und S.M. SWINTON, 2007.

Ecosystem services and dis-services to agriculture [online]. *Ecological*

Economics, **64**(2), 253-260. ISSN 09218009. Verfügbar unter:

doi:10.1016/j.ecolecon.2007.02.024

9 GESETZE UND VERORDNUNGEN

UVP-Änderungsrichtlinie (UVP-ÄndRL, RL 2014/52/EU). Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2011/92/EU über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten. ABl. Nr. L 124.

UVP-G 2000: Bundesgesetz über die Prüfung der Umweltverträglichkeit (Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 – UVP-G 2000) StF: BGBl. Nr. 697/1993 (NR: GP XVIII RV 269 AB 1179 S. 131. BR: 4639 AB 4624 S. 574.) CELEX-Nr.: 31985L0337

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft wird oft mit einem verringerten Produktionsmittelaufwand und einer umweltschonenderen landwirtschaftlichen Produktion in Verbindung gebracht. Allerdings fehlt oftmals eine Bewertung der tatsächlichen Umweltverträglichkeit und der Umweltleistungen des Technologieeinsatzes. In dieser Studie werden ein Konzept und Kriterien zur Bewertung der Umweltauswirkungen durch die Anwendung von digitalen Technologien in der Landwirtschaft vorgestellt.

Das erarbeitete Umweltbewertungskonzept beschreibt Möglichkeiten der qualitativen und quantitativen Bewertung von Umweltwirkungen mittels Indikatoren. Es ist allgemein gültig, kann auch für zukünftige Technologieentwicklungen angewendet werden und berücksichtigt auch indirekte Wirkungen.