

Betriebsbezogene Indikatoren zur Messung von Agrarökosystemleistungen in Österreich

Farm-level indicators for measuring agroecosystem services in Austria

Christian Fritz^{1*}, Stephan Pabst², Stefan Kirchweger³, Markus Herndl¹ und Lena Schaller⁴

¹ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Irdning

² Raumberg-Gumpenstein Research & Development, Irdning

³ STUDIA Schlierbach Studienzentrum für Internationale Analysen, Schlierbach

⁴ Institut für Agrar- und Forstökonomie der Universität für Bodenkultur, Wien

*Correspondence to: christian.fritz@raumberg-gumpenstein.at

Received: 24 November 2023 – Revised: 20 Juni 2024 – Accepted: 05 Juli 2024 – Published: 17 Dezember 2025

Summary

Die Studie präsentiert ein indikatorbasiertes Konzept zur Bewertung von Agrarökosystemleistungen auf Betriebsebene in Österreich. Agrarökosystemleistungen beschreiben eine Vielzahl ökologischer, ökonomischer und sozialer Funktionen, die von landwirtschaftlichen Aktivitäten erfüllt werden. Die Methodik kombiniert Literaturanalysen, Expert:innenworkshops und Feldtests auf 29 Praxisbetrieben, um ein Indikatorenset mit 34 spezifischen Indikatoren für versorgende, regulierende und kulturelle Leistungen zu entwickeln. Dabei werden Doppelzählungen vermieden und innovative Ansätze wie die Nahrungskonversionseffizienz integriert. Die Ergebnisse ermöglichen eine differenzierte Bewertung landwirtschaftlicher Beiträge zu den Leistungen und fördern ein nachhaltiges Betriebsmanagement. Die Indikatoren können von Landwirt:innen, Politik und Wissenschaft als Grundlage für die Analyse, Kommunikation und Förderung nachhaltiger Praktiken genutzt werden. In weiterführenden Arbeiten kann die Einbettung in bestehende Managementsysteme und eine mögliche Monetarisierung dieser Leistungen untersucht werden.

Keywords: Agrarökosystemleistungen, ökologische Funktionen, betriebsbezogene Indikatoren und Kennzahlen, nachhaltiges Betriebsmanagement

Zusammenfassung

This study introduces an indicator-based concept for assessing agroecosystem services at farm level in Austria. Agroecosystem services describe a variety of ecological, economic, and social functions fulfilled by agricultural activities. The methodology combines literature reviews, expert workshops, and field tests conducted on 29 pilot farms to develop a set of 34 specific indicators for provisioning, regulating, and cultural services. The approach avoids double-counting and integrates innovative metrics such as food conversion efficiency. The results enable a differentiated assessment of agricultural contributions and promote sustainable farm management. Farmers, policymakers, and researchers can use these indicators as a basis for analysing, communicating, and promoting sustainable practices. Future research could explore integration into existing management systems and the monetization of these services.

Schlagworte: Agroecosystem services, ecological functions, farm-level indicators and metrics, sustainable farm management

1 Einleitung

Das Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) definiert Ökosystemleistungen als die Prozesse und Funktionen, die von Ökosystemen bereitgestellt werden und für das menschliche Wohlergehen von grundlegender Bedeutung sind. Diese Ökosystemleistungen werden üblicherweise in drei Hauptkategorien und in unterstützende Leistungen (z.B. Nährstoffkreisläufe) eingeteilt:

- Versorgungsleistungen wie Nahrungsmittel und Biomasse,
- Regulierungsleistungen wie Bodenschutz und Klimaregulation und
- kulturelle Leistungen wie Landschaftspflege und Erholungsmöglichkeiten.

Angesichts globaler Herausforderungen wie Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Ernährungssicherheit gewinnt die systematische Erfassung und Bewertung dieser Leistungen zunehmend an Bedeutung. In der wissenschaftlichen und politischen Diskussion wird verstärkt darauf hingewiesen, dass Landwirtschaft nicht nur nachhaltig und ressourcenschonend, sondern auch funktional vielseitig ausgestaltet sein muss. Die österreichische Landwirtschaft zeichnet sich durch ihre Vielseitigkeit aus und trägt nicht nur zur Nahrungsmittelproduktion bei, sondern auch zur Bewahrung der Kulturlandschaft und der Bereitstellung einer Vielzahl von Ökosystemleistungen (Götzl et al., 2011).

Diese Arbeit stellt ein indikatorbasiertes Konzept zur Erfassung von Agrarökosystemleistungen auf Betriebsebene vor. Die betriebliche Ebene ist von besonderer Bedeutung, da dort wichtige Managemententscheidungen getroffen werden, die die Bereitstellung von Ökosystemleistungen beeinflussen.

1.1 Konzept und Grundbegriffe

Agrarökosystemleistungen umfassen Leistungen, die von landwirtschaftlichen Systemen und deren zugrundeliegenden Ökosystemen bereitgestellt werden. Das Konzept umfasst sowohl die Leistungen des anthropogen beeinflussten Ökosystems als auch jene des anthropogenen Bewirtschaftungssystems. Auch unerwünschte Leistungen (Dis-Leistungen), wie beispielsweise Pflanzenkrankheiten und Überdüngung, können abgebildet werden (Swinton et al., 2007; Zhang et al., 2007; Power, 2010; Liu et al., 2022).

Im engeren Sinne beschreiben Agrarökosystemleistungen nur jene Ökosystemleistungen, die durch anthropogene Tätigkeiten und Bewirtschaftungseingriffe beeinflusst werden. Die Landwirtschaft ist zugleich Anbieterin und Nutzerin dieser Leistungen und eine betriebsbezogene Bewertung sollte die Wechselwirkungen mit der Umwelt berücksichtigen. Der Begriff der Multifunktionalität beschreibt die miteinander verbundenen Funktionen der Landwirtschaft, der Ökosystemleistungsbegriff erfasst deren Wirkungskaskade systematisch (Swinton et al., 2007; Zhang et al., 2007). Bei-

spielsweise beherbergt ein gesunder Boden vielfältige Mikroorganismen, speichert und filtert Wasser (Ökosystemfunktion), wodurch die Erträge und die Wasserqualität verbessert werden (Ökosystemleistung).

Internationale Klassifikationen wie das Millennium Ecosystem Assessment aus dem Jahr 2005, die Common International Classification of Ecosystem Goods and Services (Haines-Young und Potschin, 2018) und die TEEB-Studien (The Economics of Ecosystems and Biodiversity; TEEB, 2016) bieten eine systematische Grundlage.

1.2 Forschungsstand und Zielsetzung

Die Forschung hat sich seit den 2000er Jahren zunehmend mit den Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Umwelt und nachhaltiger Landnutzung beschäftigt (Liu et al., 2022). In Erweiterung zum Begriff der Ökosystemleistungen berücksichtigt der Ansatz auch menschliche Aktivitäten, die Agrarökosysteme prägen und deren Funktionsweise verändern. Das Konzept der Agrarökosystemleistungen umgeht die Herausforderung, menschliche Einflüsse von natürlichen Ökosystemleistungen zu trennen. Der Begriff der Dis-Leistungen betont, dass Agrarökosysteme auch negative Effekte haben (Swinton et al., 2007; Zhang et al., 2007; Power, 2010). Unterschiedliche Forschungsansätze rücken Kontextabhängigkeit, sozioökonomische Wechselwirkungen, soziale und kulturelle Aspekte, systemdynamische Betrachtungen oder partizipative Elemente in den Mittelpunkt. Liu et al. (2022) beschreiben anhand einer globalen Metaanalyse Hotspots der Forschung und unterscheiden partizipative, empirisch-statistische, ökonomisch-monetäre Ansätze, Feldbeobachtung sowie biophysikalische Modellierung.

Arbeiten im deutschsprachigen Raum haben die internationalen Ansätze und Klassifikationen an nationale Anforderungen adaptiert (Götzl et al., 2011, Staub et al., 2011). Der Bewertungsrahmen von Staub et al. (2011) betont die Vielschichtigkeit von Leistungen in agrarisch geprägten Landschaften und die Relevanz der ökologischen und der sozioökonomischen Dimension. Andere Autoren erarbeiten ökonomische Bewertungen als Grundlage für nachhaltige Landnutzung und zeigen, dass die regions- und betriebstypspezifische Erfüllung von Schwellenwerten eine Grundlage für Agrarsubventionen sein kann (Bouma et al., 2021). Den genannten Ansätzen gemeinsam ist, dass sie sich stärker auf die regionale Bewertungsebene und weniger auf das betriebliche Management fokussieren.

Betriebliche Ansätze zu Agrarökosystemleistungen betreffen unter anderem die ökonomische Bewertung von Managementmaßnahmen und das Hochskalieren von schlagspezifischen Daten auf die Betriebsebene (Morizet-Davis et al., 2023; Klaus et al., 2024). Klaus et al. (2024) betonen, dass die Betriebsebene und die Berücksichtigung von Betriebsstruktur und -management nötig sind für das Verständnis und die Steuerung der Wechselwirkungen zwischen sozioökonomischen Faktoren und Umwelt (ebd.). Bestehende betriebliche Indikatorensysteme decken ein breites Spektrum

an Nachhaltigkeitsthemen ab, nehmen aber nicht die Ökosystemleistungsperspektive ein (Roesch et al., 2021).

1.3 Forschungsfrage

Eine differenzierte Bewertung von Ökosystemleistungen ist entscheidend, um funktionale Zusammenhänge in der Landbewirtschaftung aufzuzeigen und nachhaltige Praktiken zu fördern. Während auf regionaler Ebene umfangreiche Forschung existiert, bestehen auf betrieblicher Ebene Forschungslücken, insbesondere im Bereich Betriebsmanagement und praktische Umsetzung. Eine verbesserte Kenntnis von Agrarökosystemleistungen kann Bewirtschaftungsentscheidungen positiv beeinflussen.

Ziel der Forschung war die Entwicklung einer Systematik zur umfassenden Darstellung von Agrarökosystemleistungen auf betrieblicher Ebene. Forschungsleitende Fragen waren: Welche Indikatoren existieren zur Bewertung von Agrarökosystemleistungen auf der betrieblichen Ebene? Welche zusätzlichen Indikatoren können für eine möglichst vollständige Erfassung entwickelt werden? Konkret sollte basierend auf internationalen und nationalen Klassifikationen (Zhang et al., 2007; Götzl et al., 2011; Staub et al., 2011; Haines-Young und Potschin, 2018; Hovorka et al., 2019; Liu et al., 2022) ein Erhebungs- und Auswertungskonzept für ein breites Spektrum an Leistungen entwickelt und in Zusammenarbeit mit dem EIP-Projekt „Mehrwert Berglandwirtschaft“ (Europäische Innovationspartnerschaft) pilothaft erprobt werden.

2 Datenmaterial und Methodik

Die Methodik umfasst die Entwicklung eines Indikatorensets beginnend mit der Auswahl, Anpassung und Erweiterung von bestehenden Indikatoren zu Agrarökosystemleistungen auf Basis von Literatur, theoretischen Grundlagen, Expert:innenwissen und einer Feldtestung. Die Herleitung der Indikatoren geht zunächst von bestehender Literatur aus, darauf aufbauend wurden neue Kennzahlen und Indikatoren entwickelt. Diese wurden in mehreren Schritten geprüft und angepasst, in Expert:innenworkshops diskutiert, bei Betriebsbesuchen im Feld erprobt und anschließend mithilfe von Verwaltungsdaten plausibilisiert.

2.1 Methodik zur Herleitung und Entwicklung der Indikatorensets

Den Ausgangspunkt bildet eine Literaturrecherche zu anwendungsorientierten Indikatoren mit Fokus auf Österreich. Für eine Auswahl der Indikatoren analysieren wir das Ökosystemleistungsinventar des österreichischen Umweltbundesamtes und andere nationale Studien (Götzl et al., 2011; Staub et al., 2011; Hovorka et al., 2019), wir prüfen die Anwendbarkeit und Relevanz auf der einzelbetrieblichen Ebene in Österreich, außerdem das Vorliegen von managementbezogenen Kennzahlen und ein Vermeiden von Doppelzählungen (Fu et

al., 2011). Wir zielen darauf ab, finale Ökosystemleistungen zu bewerten und sowohl biophysikalische als auch soziale Aspekte auf der einzelbetrieblichen Ebene zu quantifizieren (Staub et al., 2011). Für Indikatoren, die einzelne Kriterien nur bedingt erfüllen, werden abgeänderte Vorschläge erstellt. Soweit eine zusätzliche Definition erforderlich ist, erfolgt diese theoriegeleitet aus Ökosystem- und Agrarsystemperspektive und in Zusammenschau mit Produktions- und Ökobilanzierungs-Kennzahlen (Herndl et al., 2016).

Betreffend die versorgenden Leistungen wird häufig die Nahrungsmittel- und Biomasseproduktion abgebildet (Götzl et al., 2011; Haines-Young und Potschin, 2018; Hovorka, 2019; Liu et al., 2022). Die bestehenden Empfehlungen zum mengenmäßigen Ertrag werden übernommen. Als Erweiterung schlagen wir die Hinzunahme der Netto-Nahrungskonversionseffizienz vor, die das Verhältnis zwischen Energieinput und -output bewertet (Ertl et al., 2016).

Bei den regulierenden Leistungen finden sich konkrete Schutzfunktionen, insbesondere Boden- und Grundwasserschutz (Götzl et al., 2011; Staub et al., 2011; Haines-Young und Potschin, 2018; Hovorka et al., 2019; Liu et al., 2022), zum Teil auch der Schutz vor weiteren Naturgefahren wie Lawinen und Muren und Beiträge zum Klimaschutz durch Kohlenstoffbindung im Boden (Götzl et al., 2011; Hovorka et al., 2019). Bisher vorgeschlagene Maßeinheiten sind die Fläche in Hektar sowie die Kohlenstoffbindung in Tonnen pro Hektar. Ergänzend schlagen wir komplexere Kennzahlen auf betrieblicher Ebene sowie eine Hinzunahme des Aspekts des Produktiverhalts von landwirtschaftlichen Flächen vor.

Die kulturellen Leistungen umfassen Beiträge zu ästhetischen Kulturlandschaften, Erholung und Freizeit, gesellschaftlicher Identifikation und kulturellem Erbe. Erholungsleistungen werden unterstützt durch landwirtschaftlich geprägte Nah- und Fernerholungsräume und konkrete Attribute wie Wanderwege, Beherbergungsmöglichkeiten und Bauerngärten (Götzl et al., 2011; Hovorka et al., 2019). Die Ökosystemleistung „ländliche Vitalität“ reflektiert Leistungen für die Infrastruktur in ländlichen Gebieten und der Erhalt von Höfen trägt zur Aufrechterhaltung von Landbewirtschaftung, Besiedlung, Kulturlandschaft sowie lokalen Traditionen und sozialer Identität bei (Götzl et al., 2011; Haines-Young und Potschin, 2018; Hovorka et al., 2019; Liu et al., 2022).

2.2 Methodik zu Validierung und Testung der Indikatoren

Die Indikatoren wurden im Rahmen einer pilothaften Feldtestung auf 29 landwirtschaftlichen Betrieben in der Region Nationalpark Kalkalpen hinsichtlich ihrer Relevanz, Anwendbarkeit und Ergebnisinterpretation geprüft. Zunächst erfolgte eine interne Validierung mit zusätzlichen einzelbetrieblich erhobenen Kennzahlen. Es folgten zwei Expert:innenworkshops und eine externe Validierung durch den Abgleich der erhobenen Daten mit verfügbaren Verwaltungsdaten. Details zu den empirischen Schritten sind im Begleitbericht zur pilothaften Erprobung im EIP-Projekt „Mehrwert Berglandwirtschaft“ dokumentiert (Fritz et al., 2025).

Die Feldtestung erfolgte auf wiederkäuerhaltenden Betrieben mit verschiedenen Betriebszweigen (Milchviehhaltung, Mutterkuhhaltung, Rindermast, teilweise Ackerbau) und Bewirtschaftungsformen (konventionell, biologisch) sowie einer Viehbesatzdichte von 0,5 bis 1,5 Großvieheinheiten pro Hektar. Die Datenerhebung erfolgte mit den Betriebsleiter:innen mittels des Online-Tools FarmLife (Herndl et al., 2016) und standardisierter Interviews im Rahmen von Betriebsbesuchen. Diese Feldtestung evaluierte die Relevanz, Anwendbarkeit und Interpretierbarkeit der Indikatoren unter realen Bedingungen.

Die interne Validierung der Indikatoren erfolgte durch eine systematische Prüfung mit betrieblichen Kennzahlen aus dem Ökobilanzierungstool FarmLife. Untersucht wurden zwei Hauptbereiche: a) Kennzahlen zur Produktionstechnik, wie Maschinenausstattung und Schlagbewirtschaftung, und b) Kennzahlen zur Ökobilanzierung, z.B. Energieverbrauch und Treibhauspotenzial. Ziel war es, die methodische Konsistenz und Aussagekraft der Indikatoren im Betriebskontext zu überprüfen und eine belastbare Grundlage für weitere Tests zu schaffen.

Die entwickelten Indikatoren wurden in zwei Online-Expert:innenworkshops hinsichtlich ihrer Validität diskutiert. Sechs Wissenschaftler:innen aus der Ökosystemleistungsforschung analysierten deren Stärken und Schwächen und ihr mündliches und schriftliches Feedback zur methodischen Qualität und Aussagekraft der Indikatoren floss in die Adaptierung ein. Zusätzlich wurde die externe Validität durch den Abgleich mit Verwaltungsdaten aus INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) und der Agrarstruktur-erhebung 2020 überprüft. Die Expert:innenrückmeldungen führten in der Konzeption zur Unterscheidung zwischen Ökosystemleistungen, die primär durch natürliche Prozesse bestimmt werden, und Agrarsystemleistungen, die maßgeblich durch menschliches Handeln beeinflusst sind.

3 Ergebnisse

Als Ergebnis der Herleitung wird das definierte Set von 34 Indikatoren zur einzelbetrieblichen Erfassung von versorgenden, regulierenden und kulturellen Leistungen im Detail vorgestellt.

3.1 Überblick zum Indikatorenset

Wie im Methodenteil beschrieben, erfolgte die Indikatorenherleitung auf Basis von Literatur, Expert:innenworkshops und Feldtestung. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse daraus anhand von fünf Kriterien zusammen. (1) Vorliegen eines gleichartigen CICES-Indikators (Haines-Young und Potschin, 2018), (2) Abbildung in nationalen Inventaren (Götzl et al., 2011; Staub et al., 2011), (3) Erfüllung fachlich-theoretischer Kriterien wie Managementbezug und Einmalzählung, (4) Anwendbarkeit auf betrieblicher Ebene (quantifizierbar, betriebspezifische Aussagen, Unterschiede zwischen Betrieben) und (5) Vorhandensein von Referenz-

werten für Österreich aus Verwaltungsdaten und früheren Studien. Indikatoren, die (2), (3) und (4) zumindest teilweise erfüllen, wurden in das Set aufgenommen. Standortbeeinflusste Indikatoren wie jene zu Wasserbereitstellung, Lawenschutz oder Almwirtschaft wurden beibehalten, obwohl sie nur bedingt betrieblich beeinflussbar sind (Kriterium 3). Das optionale Beziehen der Indikatoren auf Referenzwerte ermöglicht für 32 der 35 Indikatoren Vergleichsaussagen zu Regionen oder Produktionssystemen. Es wurden Informationen aus den Expert:innenworkshops, der Feldtestung und der internen und externen Validierung berücksichtigt.

3.2 Indikatoren zu versorgenden Leistungen

Agrarökosysteme tragen durch die Produktion von Nahrungsmitteln, Biomasse und erneuerbarer Energie zur Versorgung bei. Marktfrucht- und Futterbaubetriebe nutzen Ökosystemleistungen wie Bodenressourcen und bewirtschaften diese mit Agrarsystemleistungen wie Düngen, Ernten und Pflegen. Im Ergebnis resultieren Leistungen wie ein hoher Nahrungsmitteloutput und eine vielfältige Produktion bei einem effizienten Einsatz von Betriebsmitteln, speziell von Futtermitteln, die auch direkt für den menschlichen Verzehr geeignet wären. Auf Basis der Studie empfehlen wir folgende Indikatoren:

- **Nahrungsmittelproduktion (V1):** Betrieblich vermarkteter Output pro Hektar für menschlich nutzbare Energie [J] und Protein [g] (Götzl et al., 2011).
- **Nahrungskonversionseffizienz (V1a):** Verhältnis [dimensionslos] zwischen dem betrieblichen Output (z.B. Fleisch, Milch) an humannutzbarer Energie [J] und Protein [g] und dem potenziell humannutzbaren Input (z.B. Futtermittelgetreide, Kälber) (Ertl et al., 2016).
- **Nahrungsmittelvielfalt (V1b):** Anzahl verschiedener Produktgruppen gemäß Urprodukte-Liste, die ein Betrieb erzeugt und vermarktet (Urprodukteverordnung 2008).

Für die Nahrungsmittelproduktion könnten zukünftig auch Indikatoren berücksichtigt werden, die stärker auf Gesundheitsaspekte wie das Verhältnis von Makro- und Mikronährstoffen abzielen. Für die Nahrungsmittelvielfalt könnte eine Gewichtung anhand der produzierten Mengen erfolgen.

Eine eindeutige Bewertung von Nahrungsmittel-, Biomasse- und Energieproduktion verhindert Doppelzählungen (Fu et al., 2011). Biomasse, die verfüttert wird, stellt keine eigenständige Leistung dar, da sie in das Endprodukt eingeht und bereits darüber bewertet wird. Biomasse für eine Weitergabe als Material bzw. Substrat wird aufgrund der vielfältigen Eigenschaften monetär bewertet. Landwirt:innen erzeugen zunehmend auch Energie, wobei Vorleistungen und der betriebliche Energieverbrauch als Dis-Leistungen berücksichtigt werden. Eine Netto-Agrarökosystemleistung besteht, wenn der Energieoutput den Energiebedarf übersteigt.

Tabelle 1: Überblick zur Indikatorenauswahl auf Basis von fünf Kriterien. 1) CICES, 2) Nationale Inventare, 3) Fachliche Kriterien, 4) Betrieblich anwendbar, 5) Referenzwert verfügbar. Legende: dunkelgrau = Kriterium erfüllt; hellgrau = teilweise erfüllt; weiß = nicht erfüllt.

		1)	2)	3)	4)	5)
	Versorgende Leistungen					
01	V1 Nahrungsmittelproduktion					
02	V1a Nahrungskonversionseffizienz					
02	V1b Nahrungsmittelvielfalt					
03	V2 Biomasse					
05	V3 Erneuerbare Energie					
	Regulierende Leistungen					
06	R1a Wasserbereitstellung					
07	R1b Wasserqualität					
08	R2a Bodennutzung					
09	R2b Bodenhumus					
10	R2c Bodennährwert					
11	R2d Bodenreinheit					
12	R3b Bodenerosion					
13	R3a Lawinenschutz					
14	R3c Hochwasserschutz					
15	R4a Klimaschutz					
16	R4b Bodenkohlenstoff					
	Kulturelle Leistungen					
17	K1a Landschaft - Naturwert					
18	K1b Landschaft - Weidetiere					
19	K1c Landschaft - Ästhetik					
20	K2a Erholung - Wanderwege					
21	K2b Erholung - Rastplätze					
22	K2c Erholung - Almwirtschaft					
23	K2d Erholung - Schlafplatz					
24	K2e Erholung - Bauerngarten					
25	K3a Hoferhalt - Historisch					
26	K3b Hoferhalt - Nachfolge					
27	K3c Hoferhalt - Bestandsinventar					
28	K3d Hoferhalt - Entlegenheit					
29	K3e Hoferhalt - Bildungsgrad					
30	K4a Solidarität - Attraktive Arbeitsplätze					
31	K4b Solidarität - Engagement in der Gemeinde					
32	K4c Solidarität - Erfahrungswissen erhalten					
33	K4d Solidarität - Kommunale Dienstleistungen					
34	K4e Solidarität - Genossenschaftsbeteiligung					

Quelle: Eigene Darstellung

- **Biomasse (V2):** Betrieblich erzeugte Biomasse [€/ha], die nicht für die Lebensmittel- oder Energieproduktion genutzt wird (z.B. Wolle, Stroh, Flachs).
- **Erneuerbare Energie (V3):** Nutzenergie-Quotient eines Betriebes [dimensionslos], Relation zwischen erzeugter [J] und verbrauchter Energiemenge [J].

3.3 Indikatoren zu regulierenden Leistungen

Wichtige regulierende Leistungen von Agrarökosystemen werden durch die Art der landwirtschaftlichen Produktion beeinflusst und betreffen die Wasserbereitstellung (Götzl et al., 2011) und Wasserqualität, den Bodenproduktiverhalt, den Schutz vor Naturgefahren und den Klimaschutz.

- **Wasserbereitstellung (R1a):** Einen betrieblichen Indikator für die potenzielle Grundwasserneubildung bietet der Kehrwert der Feldkapazität, gemessen in Volumenprozent [m^3/m^3] in 0 bis 1m Bodentiefe und klassifiziert nach Schrey (2008). Zukünftig sollte dieser Indikator methodisch vertieft werden und insbesondere Niederschlag und Bewuchs berücksichtigen, da die Feldkapazität nicht betrieblich beeinflussbar ist.
- **Wasserqualität (R1b):** Eine hohe Wasserqualität entspricht der vermiedenen Überbelastung mit Stoffen wie Nitrat, Phosphat, Schwermetallen und Pflanzenschutzmitteln. Der Indikator wird mit den für Österreich adaptierten SALCA-Modellen (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) (Herndl et al., 2016) in [kg N/ha], [kg P/ha], [kg 1,4-DB-Äq./ha] und [kg 1,4-DB-Äq./ha] berechnet und gemittelt.

Das ökosystemare Potenzial fruchtbarer Böden wird durch Leistungen des Agrar-Ökosystems nutzbar gemacht. Diese reichen von der Bewirtschaftung von Flächen mit geringem Ertragspotenzial, die trotz Aufgabegefährdung Ertragschancen bieten, über den Humuserhalt bis zu einem geringen Bodenerosionsrisiko.

- **Bodennutzung (R2a):** Anteil gering ertragreicher Flächen an der Betriebsfläche [ha/ha], berechnet gemäß HN VF1 (Bartel et al., 2011; Götzl et al., 2011)).
- **Bodenhumus (R2b):** Der Erhalt von Dauergrünland durch Umbruchverzicht trägt maßgeblich zum Humuserhalt bei. Anteil der mindestens 25 Jahre ohne Umbruch bewirtschafteten Flächen an der Betriebsfläche [ha/ha] (Götzl et al., 2011).
- **Bodennährwert (R2c):** Eine ausgewogene Stickstoffbilanz ist entscheidend für die Bodenproduktivität. Das Verhältnis der betrieblichen Stickstoff-Teilbilanz zu einer leicht negativen Bilanz von -100 bis -20 kg N/ha (berechnet ohne Berücksichtigung von Mobilisation, Deposition und symbiontischer N-Bindung) (Herndl et al., 2016) dient als Indikator für einen ausgewogenen Stickstoffkreislauf.

- **Bodenreinheit (R2d):** Schadstofffreiheit gemessen als Kehrwert zur potenziellen Schwermetall- und Pestizidbelastung [kg 1,4-DB-Äq./ha] (Herndl et al., 2016).
- **Bodenerosion (R3b):** Bodenerosionswert in Abhängigkeit von Bodentextur und Bewirtschaftung [kg/ha/yr] (Herndl et al., 2016; Schmaltz et al., 2020).

Die Bewirtschaftung von Grünland in Gefährdungsgebieten schützt vor Lawinen, Muren und Hochwasser und leistet einen Beitrag zum Klimaschutz insbesondere durch Kohlenstoffsequestrierung. Ein Abweiden von Almen mindert das Risiko von Schneegleiten, Muren und Erosionen (Götzl et al., 2011; Leitinger et al., 2018). Landwirtschaftliche Flächen in Hochwassergebieten dienen als Retentionsflächen, wobei Dauergrünland und Bodenbedeckung die Wasserhaltekapazität erhöhen (Götzl et al., 2011). Bei vorgegebenen Produktionsumfang tragen geringere Treibhausgasemissionen zum Klimaschutz bei.

- **Lawinenschutz (R3a):** Bewirtschaftung von Almfutterflächen in Lawinenzonen [ha/yr] (HORA, 2023).
- **Hochwasserschutz (R3):** Bewirtschaftete Fläche in Hochwassergefährdungsgebieten (HORA, 2023) [ha/ha].
- **Klimaschutz (R4a):** Betrieblich bilanzierte Treibhausgasemissionen bewertet pro Fläche und pro Output [kg CO₂-Äq.] (Götzl et al., 2011).
- **Bodenkohlenstoff (R4b):** Der oben beschriebene Indikator zum Bodenhumus (R2b) erfasst zudem die Rolle des landwirtschaftlichen Managements für Kohlenstoffsequestrierung.

Eine zukünftige Erweiterung der Indikatoren im Bereich Boden sollte Aspekte wie Düngung (Gülle, Festmist, Weide, Pflanzenreste), Verzicht auf Bewirtschaftung anmooriger Böden, Winterbegrünung, mehrjährige Leguminosen sowie reduzierte Bodenbearbeitung umfassen. Aus den Expert:innenworkshops kam die Rückmeldung, dass die Einhaltung von Grenzwerten geprüft werden sollte. Eine mögliche Erweiterung betreffend die Schutzfunktionen kann eine Bewertung des Risikos für Lawinen und Schneegleiten basierend auf Bewuchs und Hangneigung umfassen. Leitinger et al. (2018) empfehlen das „Spatial Snow-Glide Model“ (SSGM) und die „Guidelines to Identify Snow-Glide Areas“ (GISGA) zur Risikoeinschätzung. Eine Erweiterung zum Hochwasserschutz wäre eine risikogewichtete nutzungsabhängige Präventionsleistung (Götzl et al., 2011).

3.4 Indikatoren zu kulturellen Leistungen

Betriebe leisten einen Beitrag zum Erhalt einer abwechslungsreichen Kulturlandschaft, zur Nutzbarkeit von Flächen und Infrastruktur für Erholungs- und Tourismusaktivitäten, und zum sozialen Zusammenhalt, der sozialen Vitalität und Identität ländlicher Räume (Götzl et al., 2011; Hovorka et al., 2019). Die Kriterien Almbewirtschaftung und Erschwer-

nispunkte sind betrieblich kaum beeinflussbar und hängen vom Standort ab.

- **Landschaft:** Dreigliedriger Indexwert: Erstens der Anteil der Flächen mit hohem Naturwert (HNVF) inkl. Landschaftselemente [ha/ha] (Bartel et al., 2011). Zweitens der potenzielle Anblick von Weidetieren als Existenzwert und kulturelles Gut, ausgedrückt als Weidefutteraufnahme zu Gesamtfutteraufnahme [kg/kg] (Herndl et al., 2016). Drittens die ästhetische Wahrnehmung der Landschaft als Mittelwert aus betriebsflächenspezifisch gewichtetem Präferenzwert (Roesch et al., 2016) und Ästhetikwert (Schirpke et al., 2016), basierend auf Bildern der Hofstelle [Skala].
- **Erholung:** Fünfgliedriger Indexwert: Erholungsmöglichkeiten in landwirtschaftlich geprägten Räumen bieten erstens Wanderwege [km im Radius 1km um die Hofstelle], zweitens Rastplätze mit Bänken oder Brunnen [Anzahl], drittens Almbewirtschaftung [aufgetriebene Tieranzahl], viertens Angebote zur bäuerlichen Beherbergung [Anzahl Betten] und fünftens Betreuung eines Bauerngartens [ja/nein].
- **Hoferhalt:** Fünfgliedriger Indexwert: Erhalt von Bauernhöfen erfasst über den historischen Hofbestand [Gründungsjahr], Betriebsnachfolgesituation bei Betriebsleiter:innen über 50 Jahre [gesichert/nicht gesichert], Zustand des Betriebsinventars [Alter Gebäude und Maschinen], Entlegenheit der Hofstelle [Erschwernispunkte] und fünftens Ausbildungsstand der Betriebsleiter:innen [dreistufig].
- **Solidarität:** Fünfgliedriger Indexwert zu betrieblichen Beiträgen zum sozialen Zusammenhalt, der sozialen Vitalität, Identität und Infrastruktur ländlicher Räume (Hovorka et al., 2019): Attraktive Arbeitsplätze, ausgedrückt als Einkommensbeitrag pro Familien-Arbeitskraft [€/FamAk], ehrenamtliches Engagement in der Gemeinde [Anzahl], Aktivitäten zur Wissensweitergabe zu lokalen Traditionen [Anzahl], Angebot für kommunale Dienstleistungen wie Schneeäumung und Böschungsmahd als Optionswert [Betriebsstunden] und Genossenschaften oder gemeinnützige Tätigkeiten als Beitrag zur Vitalität [Anzahl].

4 Diskussion und Fazit

Abschließend werden die Ergebnisse, ihre theoretische Einordnung und Bedeutung für eine zukunftsfähige Landwirtschaft diskutiert. Das Indikatorenset wurde basierend auf einer theoriegestützten Verknüpfung von Ökosystem- und Agrarsystemperspektive entwickelt und berücksichtigt biophysikalische und gesellschaftliche Aspekte. Es wurde durch interne und externe Prüfungen sowie Expert:innenworkshops validiert. Das Konzept erweitert die bestehende Forschung, indem es Leistungen einzelbetrieblich und konkret abbildet

und auch kulturelle Leistungen wie Landschaftspflege und Traditionserhalt umfasst. Eine Einordnung mittels Referenzwerten ist derzeit unvollständig über Produktionskennzahlen und Verwaltungsdatenbanken möglich. Solange empirische Daten fehlen, sind normative Annahmen erforderlich – beispielsweise zur Frage, ob ein Rastplatz bereits eine Erholungsleistung begründet. Die Thematik der Gewichtung der Einzelindikatoren wurde nicht bearbeitet, sollte aber in zukünftigen Projekten – sobald Daten vorliegen – mittels statistischer Effizienzanalyse oder anderen Methoden untersucht werden. Trotz des Bemühens um konzeptionelle Eindeutigkeit muss die operationelle Ausgestaltung fachlich durchdacht erfolgen und Doppelzählungen vermeiden, beispielsweise im Bereich Bodenumuserhalt und Erosionsschutz.

Die Konzepte der Ökoeffizienz und Biodiversität bieten auf Betriebsebene komplementäre Ansätze und sollten gemeinsam mit dem vorliegenden Indikatorenset abgebildet werden. Ökoeffizientes Handeln beschreibt einen ökologisch und ökonomisch optimierten Betriebsmitteleinsatz, der insbesondere regulierende und versorgende Leistungen unterstützt. Der Schutz und die Förderung von Biodiversität bilden die Grundlage für die Erbringung von Ökosystemleistungen. Biodiversitätsfreundliche Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben fördern den Erhalt von extensiven Flächen und vielfältigen Ökosystemen.

Das Indikatorenset bietet eine zusätzliche Grundlage für nachhaltige Entwicklung und Steuerung in der Landwirtschaft. Der Zugang erweitert bestehende Nachhaltigkeitskonzepte um den Aspekt des Zusammenhangs zwischen Ökosystem und Agrarsystem. Die aus naturwissenschaftlicher Sicht stark vereinfachte, aber dennoch differenzierte und biophysikalisch fundierte Abbildung landwirtschaftlicher Leistungen zielt auf eine Balance zwischen wissenschaftlicher Fundierung und Praktikabilität ab. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Kommunikation, Förderung und wirtschaftliche Inwertsetzung von Agrarökosystemleistungen, sowohl durch private Initiativen, als auch durch öffentliche Programme, die spezifische Leistungen honorieren. Besonders in benachteiligten Produktionsgebieten könnte dies zur Absicherung der Landwirtschaft und zu ökonomischen Chancen beitragen. Das derzeitige Konzept erfordert externe Beratungsexpertise oder eine Anbindung an bestehende Betriebsinformationssysteme, um die Anwendung für Landwirt:innen zu ermöglichen. Ein niederschwelliger Zugang könnte die Motivation für eine Beschäftigung mit den erbrachten Leistungen erhöhen und Letztere der Gesellschaft besser aufzeigen. Hierfür sollten das Modell und die Datengrundlage in Folgeprojekten weiterentwickelt werden.

Literatur

- Bouma, J., de Haan, J. und Dekkers, M.-F. S. (2022) Exploring Operational Procedures to Assess Ecosystem Services at Farm Level, including the Role of Soil Health. *Soil Systems*, 6(2), 34.

- Bartel, A., Süßenbacher, E. und Sedi, K. (2011) Weiterentwicklung des Agrarumweltindikators „High Nature Value Farmland“ für Österreich. Umweltbundesamt, Rep-0348, Wien.
- Ertl, P., Steinwidder, A., Schönauer, M., Krimberger, K., Knaus, W. und Zollitsch, W. (2016) Net food production of different livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, 67/2, 91-103. Wien.
- Fritz, C., Finotti, E., Peter, E., Brandmüller, J., Forstner, V., Guggenberger, T., Herndl, M., Pabst, S., Schaumberger, A. (2025) Indikatoren für landwirtschaftliche Ökosystemleistungen als Grundlage für betriebliche Mehrwerte. Abschlussbericht zu Dafne Nr. 101877. HBLFA Raumberg-Gumpenstein/Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (Hrsg.). Irdning-Donnersbachtal/Wien.
- Fu, B. J., Su, C. H., Wei, Y. P., Willett, I. R., Lü, Y. H. und Liu, G. H. (2011) Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures. *Ecological research*, 26, 1-14.
- Götzl, M., Schwaiger, E., Sonderegger, G. und Süßenbacher, E. (2011) Ökosystemleistungen und Landwirtschaft. Erstellung eines Inventars für Österreich. Umweltbundesamt REP-0355, Wien.
- Haines-Young, R.H. und Potschin, M.B. (2018) Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Fabis Consulting Ltd. URL: <https://cices.eu/cices-structure/> (10.01.2025)
- Herndl, M., Baumgartner, D.U., Guggenberger, T., Bystricky, M., Gaillard, G., Lansche, J., Fasching, C., Steinwidder, A. und Nemecek, T. (2016) Abschlussbericht FarmLife - Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal und Agroscope, Zürich.
- HORA (2023) Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (Hrsg.), Wien. URL: <https://www.hora.gv.at> (10.01.2025).
- Hovorka, G., Nigmann, T. und Dax T. (2019) A social-ecological system approach to enhancing provision of public goods of agriculture and forestry activities. *Austrian Journal of Agr. Economics and Rural Studies*, 28.23.
- Klaus, V. H., Schaub, S., Séchaud, R., Fabian, Y., Jeanneret, P., Lüscher, A. und Huguenin-Elie, O. (2024) Upscaling of ecosystem service and biodiversity indicators from field to farm to inform agri-environmental decision-and policy-making. *Ecological Indicators*, 163, 112104.
- Leitinger, G., Meusburger, K., Rüdiger, J., Tasser, E., Walde, J. und Höller, P. (2018) Spatial evaluation of snow gliding in the Alps, *CATENA* 165, 567-575.
- Liu, Q., Sun, X., Wu, W., Liu, Z., Fang, G. und Yang, P. (2022) Agroecosystem services: A review of concepts, indicators, assessment methods and future research perspectives. *Ecological Indicators*, 142, 109218.
- Morizet-Davis, J., Marting Vidaurre, N. A., Reinmuth, E., Rezaei-Chiyaneh, E., Schlecht, V., Schmidt, S., ... und von Cossel, M. (2023) Ecosystem Services at the Farm Level-Overview, Synergies, Trade-Offs, and Stakeholder Analysis. *Global Challenges*, 7(7), 2200225.
- Power, A. G. (2010) Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2959-2971.
- Roesch, A., Gaillard, G., Isenring, J., Jurt, C., Keil, N., Nemecek, T., Rufener, C., Schüpbach, B., Umstätter, C., Waldvogel, T., Walter, T., Werner, J. und Zorn, A. (2016) Umfassende Beurteilung der Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben. *Umwelt Agroscope Science* 33.
- Roesch, A., Nyfeler-Brunner, A., & Gaillard, G. (2021) Sustainability assessment of farms using SALCAsustain methodology. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1392-1405.
- Schirpke, U., Timmermann, F., Tappeiner, U. und Tasser, E. (2016) Cultural ecosystem services of mountain regions: Modelling the aesthetic value. *Ecological Indicators*, Volume 69, Pages 78-90, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.001>.
- Schmaltz, E.M., Dersch, G., Krammer, C., Weinberger, C. und Strauss, P. (2020) Bodenerosion in Österreich - Eine nationale Berechnung mit regionalen Daten und lokaler Aussagekraft für ÖPUL. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 7. Umweltökologisches Symposium 2020, 39 – 46.
- Schrey, H.P. (2008) Die bodenartenspezifischen Kennwerte der KA5. 5. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung. Geologischer Dienst NRW.
- Staub, C., Ott, W., Heusi, F., Klingler, G., Jenny, A., Häcki, M. und Hauser, A. (2011) Indikatoren für Ökosystemleistungen: Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1102.
- Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P. und Hamilton, S. K. (2007) Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological economics*, 64(2), 245-252.
- TEEB DE (2016) Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Schlussfolgerungen für Entscheidungsträger. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig.
- Urprodukteverordnung (2008) BGBl. II Nr. 410/2008. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Zugehörigkeit der von Land- und Forstwirten hergestellten Produkte zur land- und forstwirtschaftlichen Urproduktion (Urprodukteverordnung), Wien.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K. und Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64(2), 253-260.