Beschreibung der Agrarumweltindikatoren des Monitorings des Agrarumweltsystems Schweiz (MAUS)

Hintergrund

Basierend auf gesetzlichen Grundlagen (Art. 185 Abs. 1bis SR 910.1, Art. 8 und 9 SR 919.118, Anhang 1 Ziff. 09.24 SR 431.011) führen Agroscope und das Bundesamt für Landwirtschaft ein Agrarumweltmonitoring durch (Monitoring des Agrarumweltsystems Schweiz = MAUS). MAUS berechnet verschiedene Agrarumweltindikatoren, die die Umweltauswirkungen der Landwirtschaft sichtbar machen und deren Entwicklung in verschiedenen Regionen und Produktionssystemen über die Zeit darstellen. Als Grundlage für die Berechnungen dienen sowohl bestehende Daten als auch eigene Erhebungen.

Jeder Agrarumweltindikator wurde für jeden Landwirtschaftsbetrieb einzeln berechnet. Für die Darstellung auf Karten wurden die Resultate anschliessend mit dem R-Paket *MRG* (CRAN: Package MRG) in ein adaptives Raster überführt (Skoien et al. 2025). Dies erlaubt es, in Gebieten mit höherer Betriebsdichte eine detailliertere Auflösung der Werte zu haben als in Gebieten mit wenigen Betrieben und gleichzeitig den Datenschutz zu wahren, indem in jeder Rasterzelle mindestens 10 Betriebe aggregiert werden.

Im November 2025 wurden erstmals Resultate für elf Indikatoren für die Jahre 2021-2023 im Agrarbericht des BLW publiziert. Im Folgenden beschreiben wir, wie diese Indikatoren berechnet wurden.

Stickstoffbilanz

Beim Agrarumweltindikator Stickstoff-Bilanz handelt es sich um eine Bruttooberflächenbilanz nach der OECD-Methode (Eurostat, 2013). Stickstoff gelangt als Eintrag durch Düngemittel, Saatgut, Stickstofffixierung und Stickstoffdeposition auf die landwirtschaftliche Fläche. Das Pflanzenwachstum entzieht dem Boden den Stickstoff wieder, welcher anschliessend in Form von Erträgen (inklusive Weide und abgeführte Ernterückstände) vom Feld geführt wird (Baumgartner et al., 2024). Die Differenz aus Eintrag und Austrag stellt den Überschuss an Stickstoff dar, der in die Umwelt verloren geht. Diese Stickstoffverluste können beispielsweise zu Biodiversitätsverlust, Trinkwasserqualitätseinbussen oder Luftverschmutzung führen.
Die wichtigsten Datenquellen für die Stickstoffbilanz sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, Angaben zu Milchharnstoffgehalt und Milchleistung von Qualitas, Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat), die Stickstoffdepositionskarte mit Quellen ausserhalb der Landwirtschaft (Rihm und Künzle 2023) und eigene Erhebungen, insbesondere für den Mineraldüngereinsatz, die Stickstoffausscheidungen von Schweinen und Geflügel, das Abführen von Ernterückständen sowie Verschiebungen von Grundfutter und Stroh. Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Ertragsdaten). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest) geschätzt.

Phosphorbilanz

Beim Agrarumweltindikator Phosphor-Bilanz handelt es sich um eine Bruttooberflächenbilanz nach der OECD-Methode (Eurostat, 2013). Phosphor gelangt als Eintrag durch Düngemittel, Saatgut und atmosphärische Deposition auf die landwirtschaftliche Fläche. Das

Pflanzenwachstum entzieht dem Boden den Phosphor wieder, welcher anschliessend in Form von Erträgen (inklusive Weide und abgeführte Ernterückstände) vom Feld geführt wird. Die Differenz aus Eintrag und Austrag stellt den Überschuss an Phosphor dar, der in die Umwelt verloren geht. Diese Phosphorverluste können beispielsweise zur Eutrophierung von Seen führen.
Die wichtigsten Datenquellen für die Phosphorbilanz sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat) und eigene Erhebungen, insbesondere für den Mineraldüngereinsatz, die Phosphorausscheidungen von Schweinen und Geflügel, das Abführen von Ernterückständen sowie Verschiebungen von Grundfutter und Stroh. Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Ertragsdaten). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest) geschätzt.

Energiebedarf

Der Agrarumweltindikator «direkter Energiebedarf» bildet die landwirtschaftliche Nutzung von Energiequellen ab. Hierfür werden die pro Betrieb eingesetzten Mengen an Energieträgern (z. B. Benzin) mit den jeweiligen Energiewerten (z. B. 8.5 kWh pro Liter Benzin) multipliziert und anschliessend hochgerechnet. Der Indikator dient als auch Grundlage für einen Teil des Agrarumweltindikators Treibhausgasemissionen von MAUS.
Die wichtigsten Datenquellen für den Energiebedarf sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS) wie z. B. der Tierbestand sowie unserer eigene Online-Umfrage, in der wir den direkten Energieverbrauch der Landwirtschaftsbetriebe erheben (Treibstoffe, Heizstoffe, Strom). In der Umfrage sowie Berechnung werden sowohl die Abgrenzung zum Haushalt als auch das Auslagern von Arbeiten an Lohnunternehmen berücksichtigt.
Die Nutzungsflächen und die AGIS-Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor, die Umfrage allerdings nur für eine Stichprobe. Um für jeden Schweizer Betrieb den Energiebedarf zu berechnen, wurden Mittelwertbildungen (z. B. mittlerer Heizstoffverbrauch pro Tierplatz) und statistische Modelle (z. B. Random-Forest-Modelle) verwendet.

Ammoniakemissionen

Ammoniak trägt zur Feinstaubbildung bei, führt zu Überdüngung und Versauerung von Ökosystemen und kann zur Bildung von Lachgas beitragen. Der Agrarumweltindikator Ammoniakemissionen wird mit dem SAGE-Modell berechnet (Gilgen & Schneuwly et al. 2025). Dieses bildet den Stickstoffffluss grösstenteils analog zum Agrammon-Modell ab (Kupper et al. 2010; Kupper et al. 2022), es werden somit Emissionen im Stall, auf der Weide, bei der Lagerung von Hofdünger sowie bei der Ausbringung von Düngemitteln berechnet. Im Unterschied zu Agrammon werden die Ausbringungsemissionen von Hofdünger mit dem Modul ALFAM2 (Hafner et al. 2018) berechnet und es werden dabei auch die klimatischen Bedingungen des Standorts (z. B. Temperatur) berücksichtigt.
Die wichtigsten Datenquellen für die Ammoniakemissionen sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, Angaben zu Milchharnstoffgehalt und Milchleistung von Qualitas, aggregierte Werte der Online-Umfrage der HAFL zu Ammoniakemissionen (Kupper et al. 2022) und eigene Erhebungen, insbesondere für den Mineraldüngereinsatz und die Stickstoffausscheidungen von Schweinen und Geflügel. Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Mineraldüngereinsatz). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest-Modelle) geschätzt.

Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen sind für die globale Erwärmung verantwortlich. Hier berechnen wir die folgenden Treibhausgasemissionen nach den Richtlinien des IPCC: 1A4c energetische Emissionen (Kohlendioxid; nur Landwirtschaft), 3A Enterische Fermentation (Methan), 3B Güllebewirtschaftung (Methan, Lachgas), 3D landwirtschaftliche Böden (Lachgas), 3G Kalkung (Kohlendioxid) und 3H Harnstoffausbringung (Kohlendioxid). Der Agrarumweltindikator Treibhausgasemissionen wird mit dem SAGE-Modell berechnet (Gilgen & Schneuwly et al. 2025). Dieses bildet den Stickstoffffluss grösstenteils analog zum Agrammon-Modell ab (Kupper et al. 2010; Kupper et al. 2022), es werden somit Emissionen im Stall, auf der Weide, bei der Lagerung von Hofdünger sowie bei der Ausbringung von Düngemitteln berechnet. Im Unterschied zu Agrammon werden die Ausbringungsemissionen von Hofdünger mit dem Modul ALFAM2 (Hafner et al. 2018) berechnet und es werden dabei auch die klimatischen Bedingungen des Standorts (z. B. Temperatur) berücksichtigt. Weitere Treibhausgasemissionen (z. B. Methanemissionen, Lachgasemissionen aus Ernterückständen) werden analog zur Methodik des nationalen Inventars berechnet (FOEN 2024a; FOEN 2024b). Methan und Lachgas werden umgerechnet, sodass alle Emissionen in CO_2-Äquivalenten ausgedrückt werden können.

Die wichtigsten Datenquellen für die Treibhausgasemissionen sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, Angaben zu Milchharnstoffgehalt und Milchleistung von Qualitas, aggregierte Werte der Online-Umfrage der HAFL zu Ammoniakemissionen (Kupper et al. 2022), Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat), die Karte organischer Böden von Wüst-Galley et al. (2015) und eigene Erhebungen, insbesondere für den Mineraldüngereinsatz, die Stickstoffausscheidungen von Schweinen und Geflügel und den Verbrauch von Brenn- und Heizstoffen. Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Mineraldüngereinsatz). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest-Modelle) geschätzt.

Vorkettenindikator

In allen anderen Agrarumweltindikatoren von MAUS werden nur die Umweltwirkungen berücksichtigt, die in der Schweiz durch die direkte landwirtschaftliche Praxis entstehen. Umweltwirkungen von importierten Gütern, die im Ausland auftreten (beispielsweise bei der Herstellung von Mineraldünger), werden nicht berücksichtigt. Um diesem wichtigen Aspekt dennoch Rechnung zu tragen, gibt es den Vorkettenindikator. Dieser berechnet für die importierten Güter Mineraldünger, Kraftfutter und Energieträger die bei der Herstellung und beim Transport entstehenden Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO_2-Äquivalenten). Für die Vorkettenemissionen pro Produkt werden Werte aus der ecoinvent-Datenbank verwendet.

Die wichtigsten Datenquellen für den Vorkettenindikator sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), Statistiken von Agristat zum nationalen Kraftfutterimport (Agristat 2024) und eigene Erhebungen, insbesondere für den Mineraldüngereinsatz und den Verbrauch von Brenn- und Heizstoffen und Elektrizität. Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Mineraldüngereinsatz). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (z. B. Random-Forest-Modelle) geschätzt.

Flächenkonkurrenz

Der Flächenkonkurrenz-Indikator zeigt auf, wie viel Prozent der Ackerfläche nicht für die direkte menschliche Ernährung genutzt wird im Verhältnis zur gesamten Ackerfläche. Zu letzterer zählen auch Kunstwiesen. Der direkte Anbau von Lebensmitteln für Menschen spart Ressourcen, weil kein Umweg über Tiere nötig ist. So werden weniger Land, Wasser und Energie verbraucht und die Umwelt wird meistens weniger belastet. Für die Berechnung dieses Indikators wurden georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone verwendet, in denen die Kultur angegeben ist. Für manche dieser Kulturen ist per Definition klar, ob sie für die direkte menschliche Ernährung genutzt werden (z. B. Winterraps zur Speiseölgewinnung, Winterweizen ohne Futterweizen der Sortenliste swiss granum) oder nicht (z. B. Kunstwiese, Tabak, Buntbrache). Für andere Kulturen ist die Definition nicht eindeutig, sie können sowohl für die direkte menschliche Ernährung als auch für Futterzwecke angebaut werden (z. B. Hafer). In diesen Fällen haben wir basierend auf Statistiken von Agristat (2024) prozentuale Anteile der Fläche der Lebensmittel- und der Futterproduktion zugewiesen.

Erosionsrisiko

Die Berechnung der Bodenerosion ist in Prasuhn et al. (2023) beschrieben. Die Bodenerosion (in t pro ha) wird nur für die Ackerfläche berechnet. Wir verwenden hierfür die Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE):

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Mit R = Niederschlags- und Oberflächenabflussfaktor, K = Bodenerodierbarkeitsfaktor, L = Hanglängenfaktor, S = Hangneigungsfaktor, C = Bodenbedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor, and P = Erosionsschutzfaktor. Das Produkt von $R * K * L * S$ stellt das potenzielle Erosionsrisiko dar, das durch natürliche Faktoren bestimmt ist. Um realistische, an die Schweizer Klimabedingungen angepasste C-Faktoren abzuleiten, wurde folgendes Verfahren angewendet: Aus den Daten der Zentralen Auswertung von Agrarumweltindikatoren (Gilgen et al. 2023), die zwischen 2009 und 2022 detaillierte Bewirtschaftungsdaten auf Feldebene von rund 300 Betrieben lieferte, wurden kulturspezifische C-Faktoren abgeleitet. Diese wurden nach Bodenbearbeitungsart und Region kategorisiert. Der P-Faktor wurde von Volker Prasuhn auf einen Wert von 0.8 geschätzt.
Die wichtigsten Datenquellen für den Erosionsriskioindikator sind die Karte des potenziellen Erosionsrisikos von Bircher et al. (2019), georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone und Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), insbesondere die Direktzahlungen zu den bodenschonenden Bearbeitungen.

Zinkbilanz

Bei der Zinkbilanz handelt es sich um eine Bodenoberflächenbilanz (Gross et al. 2021). Dabei gelangt Zink durch tierische Ausscheidungen sowie atmosphärische Deposition auf die landwirtschaftliche Fläche und wird durch Erträge dem Boden wieder entzogen. Die Differenz auf Eintrag und Austrag stellt den Zinkeintrag in den Boden dar. Erhöhte Werte über einen längeren Zeitraum gelten als schädlich.
Die wichtigsten Datenquellen für die Zinkbilanz sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat) und Konzentrationsdaten aus Gross et al. (2021). Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Ertragsdaten). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest) geschätzt.

Kupferbilanz

Bei der Kupferbilanz handelt es sich um eine Bodenoberflächenbilanz (Gross et al. 2021). Dabei gelangt Kupfer durch tierische Ausscheidungen, Pflanzenschutzmitteleinsatz sowie atmosphärische Deposition auf die landwirtschaftliche Fläche und wird durch Erträge dem Boden wieder entzogen. Die Differenz auf Eintrag und Austrag stellt den Kupfereintrag in den Boden dar. Erhöhte Werte über einen längeren Zeitraum gelten als schädlich.
Die wichtigsten Datenquellen für die Kupferbilanz sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, kulturspezifische Pflanzenschutzmitteldaten der Zentralen Auswertung von Agrarumweltindikatoren (Gilgen et al. 2023), Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat) und Konzentrationsdaten aus Gross et al. (2021). Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Ertragsdaten). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest) geschätzt.

Humusbilanz

Die Humusbilanz wird nach der Methode von Neyroud et al. (1997) berechnet, welche in Oberholzer et al. (2006) detailliert beschrieben ist und für die MAUS-Berechnung leicht angepasst wurde. Der Eintrag humusbildender organischer Substanz minus Humusabbau ergibt dabei die Humusbilanz.
Als Eintragsquellen für humusbildende organische Substanz werden sowohl die Haupt- und Zwischenkulturen (Wurzeln und Ernterückstände) als auch die organischen Dünger berücksichtigt. Die zugeführte Menge an humusbildender organischer Substanz (in kg Humus pro ha und Jahr) wird in Form von tabellierten Werten für die verschiedenen Kulturen und Dünger angegeben. Diese Werte sind Standardwerte aus Oberholzer et al. (2006) und erfordern deshalb keine Angaben zum gemessenen Ertrag der Kulturen bzw. zum genauen Gehalt an organischer Substanz der Dünger.
Um den Humusabbau zu bestimmen, muss zunächst der gewünschte minimale Humusgehalt berechnet werden. Dieser wird dann mit der Masse des bearbeiteten Oberbodens (in t/ha) auf eine Humusmenge (in kg/ha) hochgerechnet und anschliessend mit dem Nettoabbaukoeffizienten multipliziert, um den Humusverlust (in kg/ha und Jahr) abzuschätzen. Für Tongehalte über 10% nimmt der gewünschte minimale Humusgehalt linear mit dem Tongehalt des Bodens zu. Die Masse des Oberbodens pro ha wird aufgrund der Mächtigkeit und Dichte des Oberbodens bestimmt. Vereinfachend wird dabei angenommen, dass die Mächtigkeit des Oberbodens ungefähr 0.3 m beträgt und seine Lagerungsdichte abhängig vom Tongehalt des Bodens ist (1440 kg/m^3 - 0.009 * Tongehalt). Für die Berechnung des Abbaukoeffizienten werden folgende Faktoren berücksichtigt: Tongehalt des Bodens, pH, Anteil Hackfrüchte (pro Betrieb) und Anteil Kunstwiese.
Die wichtigsten Datenquellen für die Humusbilanz sind die georeferenzierten Nutzungsflächen der Kantone, Informationen aus dem zentralen Agrarpolitischen Informationssystem (AGIS), die Verschiebungen von Hof- und Recyclingdünger aus HODUFLU, die schweizweite Bodenkarte des Kompetenzzentrum Bodens (Stumpf et al. 2023), Feldkalenderdaten der Zentralen Auswertung von Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) zur Abschätzung der kulturspezifischen Verteilung von Hofdünger und Ertragsdaten verschiedener Organisationen (z. B. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten, Agristat, Swisspatat). Manche dieser Daten liegen für jeden Landwirtschaftsbetrieb vor (z. B. AGIS), andere nur für eine Stichprobe (z. B. Ertragsdaten). Damit für jeden Schweizer Betrieb zu jeder Variablen ein Wert vorliegt, werden fehlende Werte durch Mittelwertbildung (z. B. auf regionaler Ebene) oder mithilfe statistischer Modelle (Random-Forest) geschätzt.

Referenzen

- Agristat (2024): Getreideproduktion, Entwicklung. https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken.assetdetail.33367664.html?
- Baumgartner, S., Spiess, E., Liebisch, F., Gilgen, A. (2024): Regionale Stickstoffbilanzen: Erste Ergebnisse von MAUS (Monitoring des Agrarumweltsystems Schweiz). *Agroscope Science, 185*, https://doi.org/10.34776/as185g
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BJNR155400999.html
- Bircher, P., Liniger, H.P., and Prasuhn, V. (2019): Aktualisierung und Optimierung der Erosionsrisikokarte (ERK2): Die neue ERK2 (2019) für das Ackerland der Schweiz: Schlussbericht**.** Bundesamt für Landwirtschaft, Bern. https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/aktuell/veranstaltungen/taeniker-ao-tagung/ao-tagung-fruehere-praesentationen/_jcr_content/par/externalcontent_1370713198.bitexternalcontent.exturl.html/aHR0cHM6Ly9pcmEuYWdyb3Njb3BlLmNoL2VuLVVTL3B1YmxpY2/F0aW9uLzQxODE2.html
- Eurostat. (2013). Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg. aei_pr_gnb_esms_an_1.pdf
- FOEN. (2024a). *Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2022. National Inventory Document*. https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting/ghg-inventories/latest.html
- FOEN. (2024b). *Switzerland's Informative Inventory Report 2024*. https://www.infras.ch/media/filer_public/38/c6/38c630bb-c7c4-45ad-8e28-d99b0d3870c0/3021biir24_informative_inventory_report_che_2024.pdf
- Gilgen, A., Blaser, S., Schneuwly, J., Liebisch, F., and Merbold, L. (2023): The Swiss agri-environmental data network (SAEDN): Description and critical review of the dataset. *Agricultural Systems, 205*, 103576, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103576
- Gilgen, A. & Schneuwly, J., C. Zosso, L. Merbold, D. Bretscher (2025): New approach to calculate agri-environmental indicators using greenhouse gas emissions in Switzerland as an example. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5640831
- Gross, T., Keller, A., Müller. M., und Gubler, A. (2021): Stoffbilanzen für Parzellen der nationalen Bodenbeobachtung - Nährstoffe und Schwermetalle 1985 – 2017. *Agroscope Science, 123,* https://doi.org/10.34776/as123g
- Hafner, S. D., Pacholski, A., Bittman, S., Burchill, W., Bussink, W., Chantigny, M., Carozzi, M., Génermont, S., Häni, C., & Hansen, M. N. (2018). The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, *258*, 66-79, https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.027
- Kupper, T., Bonjour, C., Zaucker, F., Achermann, B., Menzi, H., Cordovil, C., & Ferreira, L. (2010). Agrammon: An internet based model for the estimation of ammonia emissions. 14th RAMIRAN International Conference, Lisboa Portugal. 334-337. https://www.researchgate.net/publication/285882022_Agrammon_an_internet_based_model_for_the_estimation_of_ammonia_emissions
- Kupper, T., Häni, C., Bretscher, D., & Zaucker, F. (2022). *Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990-2020*. https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/49647
- Neyroud, J.-A., Supcik, P., Magnollay, F. (1997): La part du sol dans la production intégrée. 1. Gestion de la matière organique et bilan humique. Station fédéreale de recherches en production végétale de Changins. https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/monitoring-

analytik/agrarumweltindikatoren/humusbilanz/_jcr_content/par/columncontrols/items/1/column/externalcontent_1795211120.bitexternalcontent.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9pcmEuYWdyb3Njb3BlLmNoLzAvQWpheC9FaW56ZW/xwdWJsaWthdGlvbi9Eb3dubG9hZD9laW56ZWxwdWJsaWthdGlv/bklkPTYwMjQ=.pdf

- Oberholzer, H.-R., Weisskopf, P., Gaillard, G., Weiss, F., und Knuchel, F. (2006): Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen SALCA-SQ. Agroscope FAL Reckenholz. https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/en/dokumente/themen/umwelt-ressourcen/produktionssysteme/salca-bodenqualität.pdf.download.pdf/SALCA-Bodenqualität.pdf
- Prasuhn, V., Hutchings, C., Gilgen, A. und Blaser, S. (2023): Der Agrarumweltindikator Erosionsrisiko, kulturspezifische C-Faktoren sowie eine Karte des aktuellen Erosionsrisikos der Schweiz. *Agroscope Science*, *158*, https://doi.org/10.34776/as158g
- Rihm, B., & Künzle, T. (2023). Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland. Meteotest, Bern, commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990–2020_final%20(1).pdf.download.pdf/Nitrogen_deposition_and_exceedances_of_critical_loads_for_nitrogen_in_Switzerland_1990–2020_final%20(1).pdf
- Skoien, J. O., Lampach, N., Ramos, H., Seljak, R., Koeble, R., See, L. and Van der Velde, M. (2025): Flexible Approach for Statistical Disclosure Control in Geospatial Data. *Journal of Geographical Systems, 27,* 341–367, https://doi.org/10.1007/s10109-025-00472-5
- Stumpf, F., Behrens, T., Schmidt, K., Keller, A. (2023): Hinweiskarten für Bodeneigenschaften – Landesweit modellierte Karten für Bodeneigenschaften für drei Tiefenstufen. KOBO-Bericht Nr. 6, BFH-HAFL, Zollikofen-Bern. https://ccsols.ch/wp-content/uploads/2023/11/Hinweiskarten_Bodeneigenschaften_CH_final.pdf
- Winter, E., Rödiger, M., Schneuwly, J., Gilgen, A. Mack, G. (2024): Modelling cow longevity policies: Impacts on GHG emissions of the Swiss agricultural sector. *Agricultural Systems, 221*, 104107, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104107
- Wüst-Galley, C., Grünig, A., & Leifeld, J. (2015). Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. *Agroscope Science*, *26*, 1-100, https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/34998