# 4. Fachliche Grundlagen zur Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft

## DEFINITION UND GRUNDSÄTZE

Unsere Produktionssysteme verbrauchen mehr Ressourcen, als die Erde dauerhaft bereitstellen kann – wir überschreiten damit die ökologischen Belastungsgrenzen unseres Planeten (planetare Grenzen). Kreislaufwirtschaft setzt hier an: Sie betrachtet den ganzen Lebensweg eines Produkts, von den nötigen Rohstoffen bis zum Recycling. Ziel ist es, möglichst wenig neue Rohstoffe einzusetzen und Materialien in jeder Phase, also bei Design, Produktion, Nutzung und am Ende, wiederaufzubereiten, zu reparieren, wiederzuverwenden oder zu teilen. Wegwerfen und Verbrennen werden so weit wie möglich vermieden. Kurz: Kreislaufwirtschaft heisst, möglichst kleine Stoffkreisläufe mit möglichst wenig Aufwand zu schliessen (Jurgilevich et al., 2016).

Eine zirkuläre Landwirtschaft setzt vor allem auf dem Betrieb an: Nährstoff-, Energie- und Wasserkreisläufe werden geschlossen und Zukäufe von aussen so weit wie möglich reduziert. Sie ist Teil eines grösseren Ganzen – dem Weg vom Anbau bis zum Teller. Auch dort braucht es Veränderungen, etwa weniger Lebensmittelverluste bei Verarbeitung, Handel und Konsum und ein angepasstes Konsumverhalten, vor allem weniger tierische Produkte (Jurgilevich et al., 2016). Modellrechnungen zeigen: So liesse sich die europäische Bevölkerung gemäss den Empfehlungen für eine gesunde Ernährung versorgen und gleichzeitig Fläche und $CO_2$-Emissionen einsparen (van Zanten et al., 2023).

Ein landwirtschaftlicher Betrieb bindet Nährstoffe in Lebensmitteln und führt sie vom Hof weg. Deshalb kann er nie ein vollständig geschlossener Kreislauf sein (Boer & van Ittersum, 2018). Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft heisst darum: möglichst wenig von aussen zukaufen, nur wertvolle Produkte verkaufen und alle Nebenströme wiederaufbereiten, wiederverwenden oder im Betrieb beziehungsweise in der Region weitergeben. Früher waren Betriebe in diesem Sinn zirkulär organisiert. Sie nutzten lokale Ressourcen und versorgten die Menschen vor Ort. Mit der Spezialisierung und dem Streben nach mehr Leistung wurde die Produktion immer linearer. Damit wurde es nötig, Betriebsmittel von aussen zuzukaufen, vor allem Mineraldünger (Garrett et al., 2020; Koppelmäki et al., 2021).

**Die drei Grundsätze zirkulärer Nahrungsmittelproduktion** (Boer & van Ittersum, 2018)

1. Pflanzen sind die Grundlage unserer Ernährung und sollten in erster Linie direkt den Menschen ernähren.

2. Nebenprodukte aus Produktion, Verarbeitung und Konsum sollten ins Lebensmittelsystem zurückfliessen.

3. Tiere sollten dort eingesetzt werden, wo ihre Stärke liegt: beim Verwerten von Nebenströmen und beim Recycling (Van Zanten et al., 2018).

**Dabei gilt:** Kreislaufsysteme müssen betrieblich wie regional zu den natürlichen Ressourcen passen (standortangepasst sein), die vor Ort verfügbar sind (Koppelmäki et al., 2021).

THEMENFELDER IM DETAIL

# Nährstoffkreislauf (betriebsintern und regional)

Beim Nährstoffkreislauf geht es darum, Nährstoffe auf dem Betrieb und in der Region zu halten, statt sie zu exportieren und immer wieder neu zuzukaufen.

Der grösste Teil der Forschung zur Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft dreht sich um geschlossene Nährstoffkreisläufe, vor allem um die Nutzung von Mist, Gülle und anderen organischen Resten (Freeman et al., 2022; Koppelmäki et al., 2021). Wo möglich, sollte Mineraldünger durch organischen Dünger ersetzt werden, auch durch solchen aus nicht essbaren Lebensmittelabfällen oder aufbereiteten menschlichen Ausscheidungen (Jurgilevich et al., 2016; Koppelmäki et al., 2021; van Zanten et al., 2023). Neue Dünger aus solchen Nebenprodukten brauchen eine gesetzliche Zulassung, damit keine Schadstoffe in den Boden gelangen – neben Schwermetallen und Krankheitserregern sind das z. B. auch erst seit Kurzem als Risiko erkannte Stoffe (Contaminants of Emerging Concern, CEC) wie Hormone, Arzneimittelrückstände oder PFAS. Damit sich Kreisläufe schliessen, braucht es zudem eine regionale Zusammenarbeit zwischen Stadt und Land und eine gute Beratung zur gezielten Düngung (Präzisionsdüngung) (Boer & van Ittersum, 2018).

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb:

- → Fruchtfolge mit Hülsenfrüchten und Mischkulturen (z. B. Weizen mit Erbsen), diese binden Stickstoff aus der Luft (biologische Stickstofffixierung)
- → Herdengrösse an den Standort anpassen: nur so viele Tiere halten, wie der Betrieb mit eigener Fläche und passenden Kulturen an Hofdünger aufnehmen kann (siehe auch Abschnitt «Tierproduktion»)
- → Nährstoffbilanz erstellen und mit der Suisse-Bilanz dokumentieren (Pflicht im Rahmen des ÖLN, Art. 13 DZV)
- → Verbleibt trotzdem zu viel Hofdünger, Abnehmer:innen über die Plattform digiFLUX finden (z. B. Ackerbau- oder Biogasbetriebe)

## 2. Werkzeuge

Suisse-Bilanz (Nährstoffbilanz des Betriebs), digiFLUX (Erfassung von Hof- und Recyclingdünger-Verschiebungen), Agrammon (Ammoniak-Emissionen)

## 3. Wichtige Begriffe

betriebsinterner Nährstoffkreislauf | Präzisionsdüngung | biologische Stickstofffixierung | Hof- und Recyclingdünger | Stadt-Land-Kopplung | ÖLN (Ökologischer Leistungsnachweis) | DZV (Direktzahlungsverordnung)

## 4. Im Spiel

Holy Shit, Wo die Liebe hinfällt, Randvoll, Biogas

# Tierproduktion

In der Tierproduktion leisten Tiere dort den grössten Beitrag, wo sie aus Nebenprodukten, die der Mensch nicht essen kann, hochwertige Lebensmittel machen.

In einer Kreislaufwirtschaft hat die Tierhaltung vor allem eine Aufgabe: Sie wandelt für den Menschen ungeeignete Nebenprodukte in hochwertige Erzeugnisse um, also in nährstoffreiche Lebensmittel (Fleisch, Milch, Eier), in Dünger und in Leistungen für die Natur (Ökosystemleistungen) (Boer & van Ittersum, 2018; Van Zanten et al., 2018). Schweine, Geflügel und Fische gelten dabei besonders als «Recycler» (Van Zanten et al., 2018; van Zanten et al., 2023). Aus Sicht des Gesamtsystems könnte die Tierhaltung insgesamt reduziert werden (Hercher-Pasteur et al., 2021; Koppelmäki et al., 2021). Wichtig ist, Ackerbau und Tierhaltung wieder stärker zu koppeln, zum Beispiel über selbst angebautes Futter (Pfeifer et al., 2022). Auf regionaler Ebene helfen Netzwerke zwischen Betrieben oder eine «Entspezialisierung» (Boer & van Ittersum, 2018; Jurgilevich et al., 2016).

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb, geordnet von einfach bis anspruchsvoll:

- → Tierzahl an die eigene Futterproduktion anpassen, also eine standortangepasste Herdengrösse, bevorzugt mit eigenem Grundfutter (z. B. Vollweide in der Milchproduktion, kein Kraftfutter)
- → Wiesen-Zusammensetzung optimieren (Ziel intensives Grasland: 50 bis 70 % Gräser, 10 bis 30 % Leguminosen, 10 bis 30 % weitere Pflanzen)
- → «Feed no food»: Futter nur auf Flächen anbauen, die für die menschliche Ernährung nicht geeignet sind
- → Mit Ackerbau- und Lebensmittelbetrieben zusammenarbeiten, um Nebenprodukte zu verwerten (vor allem schweine- und geflügelhaltende Betriebe)
- → Zweinutzungsrassen halten und Tiere länger leben lassen

## 2. Werkzeuge

Suisse-Bilanz (Nährstoffbilanz des Betriebs), digiFLUX (Erfassung von Hof- und Recyclingdünger-Verschiebungen), Agrammon (Ammoniak-Emissionen)

## 3. Wichtige Begriffe

AGFF (Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues) | Kraftfutter-Importanteil | Hof- und Weidetötung | Veredelung von Nebenprodukten | Zweinutzungszucht | «Feed-no-food»

## 4. Im Spiel

Totes Rind, Wo die Liebe hinfällt

# Bodengesundheit

Bei der Bodengesundheit gilt: Gesunde, humusreiche Böden speichern Kohlenstoff, halten Nährstoffe und Wasser zurück und sind so Voraussetzung für geschlossene Kreisläufe, von denen sie zugleich profitieren.

Einer der wichtigsten Verwertungswege in einer kreislauforientierten Landwirtschaft ist, organische Nebenprodukte zurück in den Boden zu bringen (Boer & van Ittersum, 2018; Jurgilevich et al., 2016; Salvatore et al., 2024). Voraussetzung ist auch hier eine gesetzliche Zulassung neuer organischer Dünger, damit keine Schwermetalle (z. B. Cadmium, Zink, Kupfer), Hormone, Medikamente oder Krankheitserreger in den Boden gelangen. Hilfreich ist ausserdem, weniger synthetische Pflanzenschutzmittel einzusetzen und stärker mit natürlichen Prinzipien zu arbeiten. Das senkt den Bedarf an externen Inputs und stärkt den Kreislauf (Boer & van Ittersum, 2018).

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb:

- → Organisches Material zuführen (Kompost, Pflanzenkohle, Hofdünger) und Ernterückstände auf dem Feld lassen
- → Deckkulturen, Zwischenfrüchte und vielfältige Fruchtfolgen
- → Boden schonender bearbeiten (z. B. weniger als 10 cm tief, Direktsaat)
- → Erosion vermeiden: Anbau in Streifen, Aussaat den Höhenlinien entlang (Konturpflügen, Keyline-Design), Hecken am Feldrand
- → Leichtere Maschinen und weniger Reifendruck, um den Boden nicht zu verdichten
- → Querdammhäufler beim Kartoffelanbau am Hang (gegen Oberflächenabfluss; besser wäre, am Hang ganz auf Hackkulturen zu verzichten oder den Damm zu begrünen)

## 2. Werkzeuge

Terranimo (Verdichtungsrisiko), CP-Faktor-Rechner und Erosionsrisiko-Rechner (Agroscope), Humusbilanzrechner (Agroscope)

## 3. Wichtige Begriffe

Bodenfruchtbarkeit | Humusaufbau | Bodengare | Bodenleben | Bodenbedeckung | Bodenverdichtung | Erosion (Wasser- und Winderosion)

## 4. Im Spiel

Bodenschutz-Quiz, Wo die Liebe hinfällt

# Energie

Beim Thema Energie gilt: Energie, die auf dem Betrieb erzeugt oder eingespart wird, ersetzt fossile Energie und schliesst Kreisläufe.

Auch bei Energie lohnt sich ein kreislauforientierter Blick. Wichtige Technologien sind die anaerobe Vergärung (Verfaulen ohne Sauerstoff), Strom aus Wind und Sonne sowie Technik, die Energie effizienter nutzt (Freeman et al., 2022). Bei der anaeroben Vergärung, etwa von Gülle oder Abfällen aus der Lebensmittelindustrie, entstehen Biogas für die Stromerzeugung und nährstoffreiche, geruchsarme Gärreste, die als Dünger dienen (Boer & van Ittersum, 2018; Bowman et al., 2022; Freeman et al., 2022). Eine Modellrechnung zeigt: In der Schweiz liessen sich durch industrielle Vergärung rund 14 000 t Mineraldünger ersetzen (Bowman et al., 2022).

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb:

- → Fossile Energie reduzieren: leichtere Maschinen, E-Traktoren wo möglich (Obst-, Weinbau, Gewächshäuser)
- → Wärme zurückgewinnen aus Stallluft und Milchkühlung.
- → Eigene Energie erzeugen: Solar auf Dächern, Agri-PV, kleine Wind- oder Wasserkraft, Holzenergie
- → Biogas aus Hofdünger, Grüngut, Ernterückständen und Speiseresten
- → Ab 2026: Lokale Elektrizitätsgemeinschaften (LEG); heute schon virtuelle Zusammenschlüsse zum Eigenverbrauch (vZEV)

## 2. Wichtige Begriffe

anaerobe Vergärung | Gärrest | Agri-PV | LEG (Lokale Elektrizitätsgemeinschaft) | vZEV (virtueller Zusammenschluss zum Eigenverbrauch)

## 3. Im Spiel

Biogas, Spuk beim Gemüse

# Wasser

Beim Wasser geht es darum, es zu gewinnen, zu speichern und wiederzuverwenden, statt es nur einmal zu nutzen.

Wasser ist eine wichtige Ressource, die je nach Region unterschiedlich verfügbar ist. Geschlossene Wasserkreisläufe auf dem Betrieb und auf der Fläche machen unabhängiger von externem Wasser und robuster gegen Trockenperioden, die mit dem Klimawandel häufiger werden. Dazu gehören Verfahren, um Wasser zu gewinnen, zu speichern und wiederzuverwenden (Freeman et al., 2022). Wasser im Boden zu halten, durch dauerhafte Bodenbedeckung, schonende Bearbeitung und ein aktives Bodenleben, hängt eng mit der Bodengesundheit zusammen. Das zeigt: Die Themenfelder greifen in der Praxis ineinander.

Vertiefung im Agripedia-Wasserforum möglich.

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb:

- → Wasser im Boden halten durch dauerhafte Bodenbedeckung und schonende Bearbeitung (schützt vor Verschlämmung und Erosion)
- → Wasser in der Fläche speichern und versickern lassen: Becken, Teiche, Versickerungsgräben, gezielte Drainagen
- → Effizient bewässern mit Tröpfchenbewässerung statt Beregnung; Bodenfeuchte-Sensoren steuern Zeitpunkt und Menge
- → Regen- und Grauwasser für Nicht-Trinkwasser-Zwecke nutzen (z. B. Reinigung, Bewässerung)
- → Klimaresiliente Sorten anbauen, die weniger Bewässerung brauchen

## 2. Wichtige Begriffe

Wasserretention | Grauwassernutzung | Tröpfchenbewässerung | betrieblicher Wasserkreislauf | Verschlämmung | klimaresiliente Sorten

## 3. Im Spiel

Spuk beim Gemüse

# Regionale Verarbeitung und Vermarktung

Bei der regionalen Verarbeitung und Vermarktung gilt: Je kürzer der Weg vom Feld zum Teller, desto kleiner die Kreisläufe und desto geringer die Verluste.

Für Nebenprodukte gibt es verschiedene Verwertungswege; Vorrang haben jene mit dem höchsten Wert. In absteigender Reihenfolge sind das: hochwertige Inhaltsstoffe gewinnen, in Teilkomponenten auftrennen, vollständig als Lebensmittel oder Futter nutzen, zur Bodenpflege recyceln und schliesslich Energie und Wärme zurückgewinnen (Salvatore et al., 2024). Auch weniger Lebensmittelverluste helfen dem Kreislauf, etwa wenn Vermarktungsnormen so angepasst werden, dass optisch nicht perfektes Obst und Gemüse nicht mehr als Abfall gilt (Jurgilevich et al., 2016), oder wenn Pflanzen mit doppeltem Nutzen angebaut werden, deren Nebenprodukte als Tierfutter dienen (Boer & van Ittersum, 2018). Auch Direktvermarktung zählt dazu, wenn sie Verpackung spart (z. B. Pfand- und Rücknahmesysteme) oder frischere Produkte ermöglicht (Jurgilevich et al., 2016).

## 1. Praxisbezug Schweiz

Konkrete Massnahmen auf dem Betrieb:

- → Direktvermarktung mit Pfand- und Rücknahmesystemen, um Verpackung zu sparen
- → «Krumme» Produkte und Nebenströme verarbeiten, um Lebensmittelverluste zu senken
- → Pflanzen mit doppeltem Nutzen anbauen (Hauptprodukt für den Menschen, Nebenprodukt als Tierfutter)

## 3. Wichtige Begriffe

Verwertungskaskade | Lebensmittelverluste (Food Waste) | Vermarktungsnormen | Wertschöpfung | Direktvermarktung

## 4. Im Spiel

Illegale Entsorgung, Totes Rind

## VORTEILE UND HERAUSFORDERUNGEN

Zirkuläre Betriebe haben gegenüber linearen mehrere Vorteile: Sie brauchen weniger Zukäufe von aussen und senken so die Produktionskosten oder machen sie zumindest stabiler. Und sie verursachen weniger Umweltkosten, weil sie knappe Ressourcen schonen (Garrett et al., 2020). Kreislaufwirtschaft macht Betriebe damit auch widerstandsfähiger, also resilienter (Hercher-Pasteur et al., 2021). Diese Vorteile zeigen sich nicht nur auf dem einzelnen Betrieb in unterschiedlicher Ausprägung, sondern auch regional, national und global (Freeman et al., 2022).

Die grösste Herausforderung beim Umstieg liegt in der Praxis: Vertraute Abläufe müssen neu gedacht und anders organisiert werden. Dafür müssen alle Beteiligten entlang der Kette zusammenarbeiten, vom Hof bis zum Handel (Boer & van Ittersum, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2021). Nötig sind Massnahmen auf mehreren Ebenen: rechtliche (z. B. die Zulassung neuer organischer Dünger), wirtschaftliche (z. B. Finanzierung der Investitionskosten; Freeman et al., 2022) und solche, die das Verhalten betreffen (Boer & van Ittersum, 2018). Denkbar sind etwa Quoten oder Subventionen, die einen Anreiz schaffen, weniger von jenen Kulturen anzubauen, die für die Ernährung nicht vorrangig sind, die die Böden langfristig auslaugen oder die sich anderswo effizienter anbauen liessen (Jurgilevich et al., 2016).

## EIN WORT ZUM SCHLUSS

ZIRKULAR ist als Einstieg in ein Thema gedacht, das die kommende Generation von Landwirt:innen ein Berufsleben lang begleiten wird. Kreislaufwirtschaft ist kein fertiges Konzept, sondern ein laufender Prozess, fachlich, betrieblich und gesellschaftlich, um aktuelle Herausforderungen anzugehen. Das Spiel will keine fertigen Antworten geben, sondern Neugier wecken, Zusammenhänge sichtbar machen und Diskussionen anstossen. Wenn Ihre Lernenden mit mehr Fragen als fertigen Lösungen aus dem Unterricht gehen, ist viel gewonnen.

Wir wünschen Ihnen und Ihrer Klasse einen anregenden Unterricht und freuen uns über Rückmeldungen aus der Praxis: was funktioniert, was sich anders bewährt hat und welche Fälle in welchen Konstellationen besonders gut zünden. Diese Rückmeldungen fliessen in die Weiterentwicklung des Spiels und des Begleitmaterials ein.

**Kontakt:**
Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Grüentalstrasse 14, Postfach
8820 Wädenswil

Forschungsgruppe Geography of Food
**Alice Aubert**
gof.iunr@zhaw.ch

# 5. Literaturverzeichnis

→ Boer, I. J. M., & van Ittersum, M. (2018). Circularity in agricultural production (S. 71). Wageningen University and Research. https://www.wur.nl/upload_mm/7/5/5/14119893-7258-45e6-b4d0-e514a8b6316a_Circularity-in-agricultural-production-20122018.pdf

→ Bowman, G., Ayed, L., & Burg, V. (2022). Material and energy flows of industrial biogas plants in Switzerland in the context of the circular economy. Bioresource Technology Reports, 20, 101273. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101273

→ Ellen MacArthur Foundation. (2021). The big food redesign: Regenerating nature with the circular economy. https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/food-redesign/overview

→ Freeman, K. K., Valencia, V., Baraldo, J., Schulte, R. P. O., & van Zanten, H. H. E. (2022). On-farm circular technologies for enhanced sustainability: The case of Uruguay. Journal of Cleaner Production, 372, 133470. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133470

→ Garrett, R., Ryschawy, J., Bell, L., Cortner, O., Ferreira, J., Garik, A. V., Gil, J., Klerkx, L., Moraine, M., Peterson, C., dos Reis, J. C., & Valentim, J. (2020). Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. Ecology and Society, 25(1). https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124

→ Hercher-Pasteur, J., Loiseau, E., Sinfort, C., & Hélias, A. (2021). Identifying the resource use and circularity in farm systems: Focus on the energy analysis of agroecosystems. Resources, Conservation and Recycling, 169, 105502. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105502

→ Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards Circular Economy in the Food System. Sustainability, 8(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/su8010069

→ Koppelmäki, K., Helenius, J., & Schulte, R. P. O. (2021). Nested circularity in food systems: A Nordic case study on connecting biomass, nutrient and energy flows from field scale to continent. Resources, Conservation and Recycling, 164, 105218. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105218

→ Pfeifer, C., Moakes, S., Salomon, E., & Kongsted, A. G. (2022). The role of diversity and circularity to enhance the resilience of organic pig producers in Europe. Animal - Open Space, 1(1), 100009. https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100009

→ Salvatore, I., Leue-Rüegg, R., Beretta, C., & Müller, N. (2024). Valorisation potential and challenges of food side product streams for food

applications: A review using the example of Switzerland. Future Foods, 9, 100325. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100325

→ Van Zanten, H. H. E., Herrero, M., Hal, O. V., Röös, E., Muller, A., Garnett, T., Gerber, P. J., Schader, C., & De Boer, I. J. M. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. Global Change Biology, (December), 1-10. https://doi.org/10.1111/gcb.14321

→ van Zanten, H. H. E., Simon, W., van Selm, B., Wacker, J., Maindl, T. I., Frehner, A., Hijbeek, R., van Ittersum, M. K., & Herrero, M. (2023). Circularity in Europe strengthens the sustainability of the global food system. Nature Food, 4(4), Article 4. https://doi.org/10.1038/s43016-023-00734-9

→ Wahl, D. (2013). Lernumgebungen erfolgreich gestalten: Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln (3. Auflage mit Methodensammlung). Verlag Julius Klinkhardt.