

Modellierung und partizipative Massnahmenfindung für die Klimaschutzstrategie der Landwirtschaft der Stadt Zürich

Catherine Pfeifer, Philipp Oggiano, Mareike Weiner – FiBL

30/05/2024

Abschlussbericht zum Projekt «*Klimaschutzstrategie Landwirtschaft der Stadt Zürich*»

Inhaltsverzeichnis

Glossar.....	5
1. Zusammenfassung.....	7
1.1 Kontext.....	7
1.2 Vorgehen	7
1.3 Erkenntnisse der Studie für Entscheidungsträger.....	8
2. Einleitung	13
2.1 Kontext und Ziel.....	13
2.2 Vorgehen der Studie	13
3. Methode	14
3.1 Berechnung der THG-Emissionen nach IPCC-Richtlinien.....	14
3.2 FarmLCA Modell auf 2 Ebenen.....	19
3.3 Daten für die Modellierung	23
3.4 Partizipation der Betriebsleiter*innen	24
3.5 Szenario Entwicklung.....	25
3.6 Weitere Indikatoren	34
4. Resultate der Modellierung – Aggrierter Betrieb	37
4.1 IST-Zustand: Aggrierter Betrieb.....	37
4.2 THG-Emissionen	38
4.3 Zirkularität	48
4.4 Beitrag zum lokalen und nachhaltigen Ernährungssystem	49
4.5 Verbrauch fossiler Energie	52
4.6 Einkommenswirkung	53
4.7 Klimaresilienz	57
4.8 Biodiversität	58
4.9 Landschaftsbild.....	58
4.10 Synergien und Konflikte	59
5. Pilotbetriebe (Vertraulich)	61
5.1 Pilotbetrieb 1	61
5.2 Pilotbetrieb 2	61
5.3 Pilotbetrieb 3	61
5.4 Pilotbetrieb 4	62
5.5 Pilotbetrieb 5	62
5.6 Pilotbetrieb 6	62
5.7 Pilotbetriebe im Vergleich zum IST-Zustand und schweizer Durchschnitt	62
6. Erkenntnisse die aus der Modellierung abgeleitet werden können.....	64
6.1 Zirkularität	64
6.2 Bodenkohlenstoffspeicherung	65
6.3 Optimierte Tierhaltung.....	65
6.4 Kosten der Treibhausgasreduktion durch höhere Deckungsbeiträge kompensieren	66
7. Massnahmen	67
7.1 Handlungsspielraum der Stadt und landwirtschaftlichen Betriebe	67

7.2	Massnahmenplan	67
8.	Schlusswort	76
9.	Literaturverzeichnis.....	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Flächen der verschiedenen Landnutzungstypen und Kulturen im aggregierten Betrieb Zürich für das Jahr 2021.	37
Tabelle 2 Deckungsbeiträge pro Szenario. Die Tabelle zeigt die hinzukommenden und entgangenen Einnahmen in CHF durch Änderungen im Anbau und Tierhaltung nach Deckungsbeitragskatalog 2022. In der letzten Zeile wird die Nettowirkung für den gesamten aggregierten Betrieb der Stadt Zürich pro Szenario aus den Spalten berechnet.	55
Tabelle 3 : Qualitative Einschätzung von ausgewählten Nachhaltigkeitsaspekten im Vergleich zum IST-Zustand. Die +/- Zeichen signalisieren die zu erwartende Steigerung oder Senkung der Werte pro Nachhaltigkeitsaspekt in jedem Szenario. Ob dies als positive (grün) oder negative (rot) Entwicklung angesehen wird, wird farblich hervorgehoben. 0 steht für eine neutrale Bewertung/keine Veränderung.	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vorgehen der Studie	13
Abbildung 2: Der partizipative Prozess, so wie er im Rahmen des Projekts in den drei Workshops umgesetzt wurde.....	24
Abbildung 3 Darstellung eines landwirtschaftlichen Systems innerhalb des Stadtgebietes. Die Grafik zeigt alle möglichen Elemente eines solchen Systems inklusive der Nährstoffflüsse und Verbindungen auf.....	26
Abbildung 4: Szenario 2 (Feed no Food): Visualisierung der Elemente und Nährstoffflüsse	29
Abbildung 5 : Szenario 3 (Extensivierung): Visualisierung der Nährstoffflüsse und Elemente. Die Haupttreiber im Szenario sind mit orangefarbenen Pfeilen dargestellt. 31	31
Abbildung 6: Szenario 4 (Zirkuläre Stadt): Visualisierung der Nährstoffflüsse und Elemente. Die Haupttreiber im Szenario sind mit orangefarbenen Pfeilen dargestellt. 32	32
Abbildung 7: Flächenverteilung (in ha) von angebauten Kulturen im aggregierten Betrieb in den verschiedenen Szenarien	33
Abbildung 8: GVE pro Tierart in den verschiedenen Szenarien, die Bezeichnung 'Herde' deutet darauf hin, dass die gesamte Herde abgebildet ist, einschliesslich der Remonten bei Wiederkäuer und Masttiere bei Schweinen.	34
Abbildung 9: THG-Emissionen für jedes Szenario werden sowohl mit (T2) als auch ohne Bodenspeicherung (T0) (inkl. kurzfristiger Speicherung) dargestellt. Die Emissionen werden nach ihrer Herkunft oder Speicherung aufgeschlüsselt.	39

Abbildung 10: Netto-Gesamtemissionen von Treibhausgasen (THG) unter Berücksichtigung der kurzfristigen Kohlenstoff Speicherung von Biomasse, einschliesslich Hecken, Bäumen und Reben sowie Pflanzenkohle.....	40
Abbildung 11: Die hier dargestellten THG-Emissionen im aggregierten Betrieb pro Jahr beinhalten ausschliesslich Emissionen, die durch das Gras- und Ackerland verursacht werden. Hierbei wird zwischen Ackerland und Grünland unterschieden. Die Emissionen der Tiere sind in dieser Abbildung mit Fokus auf die Emissionen der Landnutzung nicht dargestellt, die Emissionen des Futterbaus jedoch schon.	42
Abbildung 12 : THG-Emissionen pro Hektar nach Kultur und Emissionsquelle.....	44
Abbildung 13 : THG-Emissionen nach Tierart und Emissionstyp in Grossvieheinheiten (GVE).....	45
Abbildung 14 : Langfristige Bodenkohlenstoffspeicherung für den gesamten aggregierten Betrieb, berechnet für den Zeitraum von 2020 bis 2040, unter der Annahme, dass das veränderte Management über die 20 Jahre im Vergleich zum IST-Zustand beibehalten wird. Ein positiver Wert bedeutet eine Steigerung im langfristigen Bodenkohlenstoffspeicher, während der negative Wert für Verlust und somit Abbau des gespeicherten Kohlenstoffs steht.	47
Abbildung 15: Verteilung von Stickstoff in Tonnen N pro Jahr im aggregierten Betrieb für jedes Szenario.	48
Abbildung 16: Futtermittelpreis in Franken pro Kilo im aggregierten Betrieb für jedes Szenario	49
Abbildung 17 : Gesamtproduktion des aggregierten Betriebs für die menschliche Ernährung in Tonnen Frischmasse pro Produkt.	50
Abbildung 18: Gesamtproduktion des aggregierten Betriebs für menschliche Ernährung in Tonnen Proteine.....	51
Abbildung 19: Verbrauch fossiler Energie (ohne Infrastruktur) nach Szenario aufgeteilt nach Tierhaltung und Pflanzenbau	52

Glossar

Basic	Szenario mit konservierender Landwirtschaft
EXT	Szenario Extensivierung
Enterische Fermentation	Der Begriff bezeichnet den Verdauungsprozess von komplexen Kohlenhydraten (z.B. Cellulose) mit Hilfe von Mikroorganismen im Magen von Wiederkäuern. Dabei entsteht in den meisten Fällen das Gas Methan.
Feed no Food	Ein Prinzip, bei dem die Lebensmittelproduktion für die menschliche Ernährung über die Futtermittelproduktion gestellt wird. Dabei wird auf landwirtschaftlichen Flächen, welche Lebensmittel produzieren könnten, kein Futter für die Tierhaltung angebaut ausser Futterkulturen, die im Rahmen einer gesunden Fruchtfolge angebaut werden, wie zum Beispiel Kunstwiese.
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
FNF	Szenario Feed no Food
GSZ	Grün Stadt Zürich
GRUD	Grundlagen zur Düngung (Richner et al., 2017): Die Düngeempfehlungen für die Landwirtschaft in der Schweiz werden vom Agroscope ausgearbeitet und regelmässig erneuert.
GVE	Grossviecheinheit – Die Gesamt-Tierdichte auf einem Gebiet kann in GVE ausgedrückt werden. Eine GVE entspricht einer erwachsenen Milchkuh. Andere Tierzahlen werden nach vorgegebenen Umrechnungsfaktoren für den Kanton Zürich in GVE konvertiert.
Intervention	In dieser Studie wurden die modellierten, konkreten agronomischen Änderungen als Interventionen bezeichnet.
Kohlenstoffpool	Die gesamte Menge an Kohlenstoff, die z.B. im Boden gespeichert ist.
Kohlenstoffsenke	Eine Kohlenstoffsenke ist der allgemeine Ausdruck für ein Reservoir, das Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Atmosphäre aufnimmt und kurzfristig speichert, wodurch negative Emissionen entstehen. In der Landwirtschaft entspricht dies dem Kohlenstoffspeicher im Boden sowie am Zuwachs der geernteten Biomasse (Bäume).
Konservierende Landwirtschaft	Ein Sammelbegriff für landwirtschaftliche Praktiken, welche die Erhaltung der Bodengesundheit und die Anreicherung von Humus im Boden als Ziel haben.

Kurzfristiger Bodenkohlenstoff	Bodenkohlenstoff, der weniger als 20 Jahre im Boden bleibt. Es handelt sich meist um sich abbauende Biomasse von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen
KW	Kunstwiese
Langfristiger Bodenkohlenstoff	Bodenkohlenstoff, der sich in einer stabilen Bindung befindet und somit für mindestens 20 Jahre dort verbleibt.
LCA	Life Cycle Assessment oder Ökobilanz
Mob Grazing	Umtriebsweide, bei der das Grünland in kurzer Zeit mit einer hohen Tierdichte beweidet wird. Die zertrampelte Gras-Biomasse, die auf der Fläche verbleibt, kann zu Humus werden.
Monogastrier	Tiere, die nur einen (einteiligen) Magen besitzen. Nicht alle in dieser Gruppe können die in Pflanzen enthaltene Zellulose als Energiequelle verwenden. Sie können Pflanzen-, Fleisch- oder auch Allesfresser sein. Dazu gehören u.a. Schweine, Hühner, Hasen und Pferde.
NW	Naturwiese
Streue	ungedüngte Wiesen auf Feucht- und Nassböden
T0/T2	Zusatzbezeichnung bei den Szenarien, gibt an, ob die Bodenkohlenstoffbindung berücksichtigt wurde oder nicht (falls nicht: T0). Bei Berücksichtigung der Bodenkohlenstoffbindung gibt es die Genauigkeitsstufe ("T - Tier") der dafür verwendeten Methode an. In diesem Bericht wird nur die T2 Methode angewendet. Diese verwendet ein relativ simples Bodenkohlenstoff Modell (CENTURY).
THG	Treibhausgas
Tier	Englischer Begriff mit der Bedeutung "Stufe" oder "Rang"; Es gibt verschiedene Genauigkeitsstufen bei der Berechnung von Emissionen. Diese werden als Tier 1, 2 und 3 bezeichnet.
Wiederkäuer	Sie haben mehrere oder mehr-teilige Mägen und gehören somit zu den Polygastriern. Dazu gehören Kühe, Schafe oder Ziegen. Diese Pflanzenfresser können die Zellulose im Grünfutter dank der enterischen Fermentation aufschliessen und enthaltene Nährstoffe und Kalorien verwenden.
ZKS	Szenario Zirkuläre Stadt

I. Zusammenfassung

1.1 Kontext

Die Stadt Zürich strebt an, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu sein. Dieses Vorhaben erfordert die aktive Beteiligung aller Sektoren, einschliesslich der Landwirtschaft, auch wenn ihr Anteil an den Gesamtemissionen vergleichsweise gering ist (0.2%). Für die direkten Emissionen der Stadtverwaltung gilt dabei Netto-Null bis 2035 (Stadt Zürich, 2023). Da die verpachteten Flächen (Pachtbetriebe und Einzelpachtflächen) auch zur Stadtverwaltung gehören, gilt für sie ebenfalls dieses Ziel.

Mit dem Postulat GR 2021/34 wird der Stadtrat aufgefordert zu prüfen, wie die Landwirtschaftsbetriebe in der Stadt Zürich auf das Netto-Null Klimaziel bis 2035 ausgerichtet werden können. Zu diesem Zweck ist eine Klimastrategie zur Reduktion treibhausgasintensiver Aktivitäten (u.a. Gebäude, Maschinen, Bewirtschaftungsart, Tierhaltung und Dünger Management) und zur vermehrten Nutzung von Kohlenstoffspeichern auszuarbeiten.

Der vorliegende Bericht zeigt den Ist-Zustand in Bezug auf THG-Emissionen sowie den Handlungsspielraum der Stadt und der landwirtschaftlichen Betriebe anhand verschiedener Szenarien auf. Ausserdem werden konkrete Massnahmen skizziert.

1.2 Vorgehen

Die Studie analysiert den Handlungsspielraum für die Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) der Landwirtschaft in der Stadt Zürich. Damit der Spielraum der Stadt sowie der von einzelnen Betrieben aufgezeigt werden kann, werden zwei verschiedene Ebenen modelliert, die Stadt-Ebene und die betriebliche Ebene.

Der aggregierte Betrieb repräsentiert auf Stadt-Ebene einen modellierten Gesamtbetrieb, der die Vielfalt der städtischen Landwirtschaft so präzise wie möglich abbildet. Diese Betrachtungsweise ermöglicht ein umfassenderes Verständnis des Handlungsspielraums der Stadt, insbesondere in Bezug auf landwirtschaftliche Prozesse und Emissionen, sowie bezüglich der Interaktion der städtischen Flüsse mit denen aus der Landwirtschaft.

Auf der zweiten Ebene analysiert die Studie einzelne Pilotbetriebe, die mit betriebsspezifischen Daten modelliert werden und einen detaillierten Einblick in den individuellen Spielraum bieten. Diese Analysen auf Betriebsebene ermöglichen eine genauere Betrachtung der landwirtschaftlichen Praktiken und Herausforderungen, was wiederum wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung gezielter Massnahmen und Empfehlungen liefert.

Der Handlungsspielraum wurde in fünf Handlungsfelder unterteilt, die jeweils aus verschiedenen praktisch umsetzbaren Massnahmen gebildet wurden. Zu den Handlungsfeldern zählen die Bereiche Gebäude (nicht direkt modelliert), erneuerbare

Energien, Pflanzenbau (Massnahmen für Grünland, Nährstoffkreisläufe und Bodenkohlenstoff), Tierhaltung sowie eine Sammlung an Massnahmen unter der Kategorie «Sonstige» (z.B. Agroforst, biologische Landwirtschaft und Pflanzenkohle).

Zur Untersuchung dieses Handlungsspielraums wurden vier extreme Szenarien entwickelt. Die Berechnungen basierten auf dem FarmLCA-Tool, einem Instrument zur Ökobilanzierung, welches die Komplexität eines integrierten landwirtschaftlichen Betriebs abbilden kann und die THG-Emissionen nach den Standards des IPCC berechnet. An drei Workshops konnten die Landwirt*innen ihre Inputs zu den Szenarien und den Massnahmen einbringen und diskutieren.

1.3 Erkenntnisse der Studie für Entscheidungsträger

Die städtische Landwirtschaft kann auf das Netto-Null Ziel ausgerichtet werden. Je nach Massnahmen geschieht dies jedoch nicht ohne Zielkonflikte.

Die Landwirtschaft in der Stadt erfüllt heute verschiedene Aufgaben, darunter die Lebensmittelproduktion, die Förderung der Biodiversität, das Angebot für Mitwirkung und die Schaffung attraktiver Erholungsräume (Grün Stadt Zürich, 2019). Die Einsparung von THG-Emissionen ist ein weiteres Ziel. Die Menge an Emissionen, die reduziert werden kann, hängt davon ab, welchem dieser Ziele welche Priorität eingeräumt wird.

Die Untersuchung auf Stadt-Ebene und der Pilotbetriebe hat gezeigt, dass bereits viele positive Massnahmen und Ansätze zur Reduktion von THG-Emissionen in der städtischen Landwirtschaft umgesetzt werden. Es ist wichtig zu beachten, dass die Landwirt*innen offen für Veränderungen und bereit sind, ihren Beitrag zu leisten.

Die Entwicklung eines Massnahmenplans, der sowohl verbindliche als auch nicht verbindliche Massnahmen enthält, ist ein wichtiger Schritt für mehr Klimaschutz. Dieser Plan berücksichtigt die verschiedenen Interessen und zeigt Möglichkeiten auf, wie die Landwirt*innen und die Stadt gemeinsam an einer nachhaltigen Zukunft arbeiten können.

Herausforderung Nährstoffkreislauf

Wenn das Klimaziel priorisiert wird, ist eine Reduktion der Tierbestände, insbesondere der Methan-emittierenden Wiederkäuer, die direkteste Lösung. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Landwirtschaft Nährstoffe für den Ackerbau benötigt. Die Verwendung von Nährstoffen in Form von Hofdünger aus der Tierhaltung ermöglicht es, auf chemisch-synthetische Dünger zu verzichten. Es gilt zu beachten, dass Tiere selbst keine Nährstoffe produzieren, sondern die Nährstoffe, die sie durch das Futter aufnehmen, über den Hofdünger wieder verfügbar machen. Hofdünger können also durch Futter aus dem naheliegenden Grünland (v.a. Polygastrier und Pferde), aber auch aus Futter vom Ackerland stammen (v.a. Monogastrier). Während der Nährstofftransfer vom eigenen Grünland zum Ackerbau erlaubt, den lokalen Nährstoffkreislauf zu schliessen, bringt importiertes Futter zusätzliche Nährstoffe in

den Kreislauf. Dies kann zu einer Überdüngung und Umweltproblemen führen. Auch steht die Produktion dieses Futters oftmals direkt in Konkurrenz mit der Produktion von Nahrungsmitteln für die menschliche Ernährung.

Eine Reduktion der Wiederkäuerbestände ist nur möglich, wenn es alternative Quellen für Düngemittel gibt. Unter der Annahme einer Reduktion der Wiederkäuerbestände kann der Nährstoffbedarf auf verschiedene Weisen gedeckt werden: (i) chemisch-synthetische Dünger, (ii) Hofdünger von Monogastriern, die mit Futter, das ausserhalb der Stadt produziert wird, gefüttert werden, (iii) aufbereitete pflanzliche Biomasse (z.B. Kompost, Gwärgülle aus Biogasanlagen), (iv) Gründüngung und Transfermulch. In dieser Studie wurden einige Optionen untersucht: der Ersatz der Wiederkäuer durch Monogastrier (Szenario Extensivierung) und die verstärkte Nutzung der Biogasanlage (Szenario Zirkuläre Stadt). Die Bodenbearbeitung und Gründüngung wurden im Szenario Basic optimiert. Eine Tierhaltung mit möglichst wenig Konkurrenz wurde im Szenario Feed no Food modelliert. Es wurde kein Szenario für den Ersatz von Hofdünger durch chemisch-synthetische Dünger entwickelt, da sich die Stadt auf den eigenen Flächen der Biolandwirtschaft, die den Einsatz von diesen Düngemitteln verbietet, verpflichtet hat. Die Möglichkeit, Nährstoffe in Form von Transfermulch direkt auf die Ackerflächen auszubringen, wurde nicht modelliert, da dafür keine aussagekräftigen Berechnungsmethoden für Ökobilanzierungen zur Verfügung standen.

Studienresultate zu den Szenarien

Die Studie zeigt, dass für fast alle Szenarien die THG-Emissionen reduziert werden können. Für das Szenario Extensivierung ist diese Reduktion auf den Ersatz der Wiederkäuer durch Monogastrier zurückzuführen. Letztere emittieren viel weniger Methan und haben deshalb einen geringeren CO₂-Fussabdruck. Der Hofdünger wird nun ebenfalls von Monogastriern erzeugt, was jedoch intensive Tierhaltungsformen fordert. Hinzu kommt, dass diese Tiere sich nur bedingt vom Grasland ernähren können und Futter benötigen, das in die Stadt importiert werden müsste. Dies widerspricht dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft und führt zu einem höheren Verbrauch fossiler Energien durch den Futtermittelanbau und -transport.

Die Reduktion von THG-Emissionen im Szenario Zirkuläre Stadt ist wiederum auf die Reduktion der Wiederkäuer zurückzuführen, im Vergleich zum Szenario Extensivierung bleibt der Stickstoffkreislauf innerhalb der Stadt jedoch geschlossen. Die bislang als Futter genutzte Biomasse vom Grünland wird in der Biogasanlage zur Energiegewinnung genutzt. Dabei entstehen stickstoffreiche Gärreste, die, falls nicht verunreinigt, als Dünger auf die Äcker rückgeführt werden. Der Nährstoffkreislauf zwischen Grün- und Ackerland wird über eine Biogasanlage anstatt über die Wiederkäuer geschlossen. Dieses Szenario kann klimaneutral sein, hat jedoch zur Folge, dass die Landwirtschaft an Wertschöpfung verliert, da keine tierischen Produkte mehr erzeugt werden. Des Weiteren würde der Transport von Biomasse und Gärresten ein grösseres Verkehrsaufkommen mitbringen, das wiederum Energie benötigt.

Das Szenario Feed no Food überzeugt, wenn die lokale Nahrungsmittelversorgung sowie ein geringerer Verbrauch fossiler Energieträger im Mittelpunkt stehen. Mit im heutigen Vergleich fast gleichbleibenden THG-Emissionen können deutlich mehr tierische Lebensmittel produziert werden. Dieses Ergebnis wird durch drei Faktoren bestimmt: Erstens durch eine verbesserte Nutzungsdauer der Milchkühe, denn wenn Milchkühe länger leben, müssen auch weniger Tiere nachgezogen werden. Zweitens durch mehr Weidegang wodurch weniger Hofdünger gelagert wird und weniger Emissionen während der Lagerung entstehen, drittens durch die gezielte Nutzung von Zweinutzungsrassen, wodurch die Produktionseffizienz in Bezug auf Proteine pro Tier erhöht wird. Auch können in diesem Szenario zusätzliche Emissionen teilweise durch Bodenkohlenstoffspeicherung kompensiert werden. Aber selbst bei den optimistischsten Annahmen dazu bleibt diese Kompensationsleistung gering.

Die in der Studie berechneten Szenarien sind Extremwelten. Sie dienen nicht als konkrete Vorschläge für die Politik, sondern als Einladung, die Komplexität der Dynamik des Systems zu verstehen. Sie zeigen den Handlungsspielraum der städtischen Landwirtschaft auf, um die THG-Emissionen zu reduzieren. Weiter ermöglichen sie Ansätze zu identifizieren, die nicht zu unerwarteten Auswirkungen auf das städtische Landwirtschaftssystem führen, da allfällige Zielkonflikte erkannt werden können.

Ansätze zur Reduktion von THG-Emissionen

Die Prinzipien der **konservierenden Landwirtschaft** (z.B. schonende Bodenbearbeitung, Untersaat und Gründüngungen) erhöhen den Kohlenstoffspeicher im Boden und tragen zum Humusaufbau bei. Zudem können sie für die Biodiversität förderlich sein, da zum Beispiel eine Untersaat so gewählt werden kann, dass immer eine Art blüht und somit den Bestäubern als Nahrungsquelle zur Verfügung steht. Auch steigert konservierende Landwirtschaft die Resilienz gegenüber Wetterextremen. Diese Wirkungen sind jedoch stark kontextabhängig. Es ist wichtig, spezifisches Wissen darüber zu entwickeln, was in der Stadt Zürich tatsächlich funktioniert. Dies kann Aspekte wie die Häufigkeit des selektiven Pflügens für die biologische Unkrautbekämpfung oder die maximale Kohlenstoffspeicherung durch Humusaufbau im Boden umfassen. Dieses spezifische, lokale Wissen muss noch weiter ausgebaut werden.

Durch die Ausbringung von **Pflanzenkohle** auf Ackerflächen kann CO₂ langfristig im Boden gespeichert werden. Bei sehr optimistischen Annahmen können 5-35% der jährlichen Emissionen der Landwirtschaft damit kompensiert werden.

Während Pflanzenkohle langfristig CO₂ bindet, wird nur ein kleiner Teil der im Boden eingesetzten Biomasse (Erntereste), auch langfristig als **Bodenkohlenstoff** gebunden. Die Studie zeigt, dass je nach Landnutzung und Bearbeitungspraxis maximal 5.5 Tonnen CO₂ über einen Zeitraum von 20 Jahren zusätzlich langfristig im Boden gespeichert werden können, was im Durchschnitt 0.275 Tonnen CO₂ pro Jahr entspricht und etwa 0.01% der jährlichen Emissionen der städtischen Landwirtschaft ausmacht. Durch Anpflanzen zusätzlicher Bäume oder durch die Einarbeitung von Ernteresten in den

Boden, können jedoch kurzfristig bis zu 1 375 Tonnen CO₂ pro Jahr gespeichert werden was ca. 35% der heutigen Emissionen der städtischen Landwirtschaft entspricht.

Das **Umwandlung von Grünland zu Ackerland** führt dazu, dass im Boden langfristig gespeicherter Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Die Studie zeigt anhand von Pilotbetrieb 3, dass pro Hektar mehr Kohlenstoff verloren geht, als über 20 Jahre auf dieser Fläche langfristig im Ackerbau gebunden werden kann. Dies verdeutlicht, dass die Umwandlung von Grünland (durch Umpflügen) in Ackerland dazu führt, dass mehr C freigesetzt wird, als über einen längeren Zeitraum gebunden werden kann.

Die Tierbestandsreduktion, vor allem die **Reduktion der Wiederkäuer**, ist die einfachste Massnahme, um THG-Emissionen schnell zu reduzieren. Dabei gehen aber auch die Produktion von Lebensmitteln und Hofdünger verloren. Bei einer Senkung des Tierbestands sollte jedoch eine Spezialisierung einzelner landwirtschaftlicher Betriebe möglich bleiben. Dies bedeutet, dass bestimmte Betriebe auf die Tierhaltung verzichten, damit andere eine wirtschaftlich sinnvolle Anzahl an Nutztieren halten können. Ein Beispiel dafür ist die Milchwirtschaft, die sich aufgrund der Melkinfrastruktur erst ab einer bestimmten Grösse rechnet.

Die Tierhaltung hat ihren Platz in der Landwirtschaft, wenn sie dazu beiträgt, Kreisläufe zu schliessen. Diese kann aber trotzdem THG-Emissionen sowie den Verbrauch fossiler Energien minimieren. Konkret heisst das:

- Im Fall von Wiederkäuern bieten **Zweinutzungsrassen** eine Möglichkeit, die Proteinproduktion auf Grünland zu optimieren. Durch die Kombination mit gutem **Weidemanagement**, längerer Nutzungsdauer und vermehrtem Weidegang kann diese Art der Produktion die THG-Emissionen minimieren und gleichzeitig die Proteinproduktion aus dem Grünland maximieren.
- Monogastrier, wie Hühner und Schweine, haben durchaus ihren Platz, wenn ihre Fütterung nicht in Konkurrenz mit der menschlichen Ernährung steht und sie mit Abfällen und Nebenprodukten aus der Lebensmittelverarbeitung der Stadt oder mit Nebenprodukten aus der Landwirtschaft gefüttert werden können.

Die unmittelbare Nähe von Landwirtschaft und Stadt bietet die Möglichkeit, **Kreisläufe** innerhalb kurzer Distanzen zu schliessen.

- Die städtische Biogasanlage, in der Haushalts-Bioabfall mit Biomasse und Gülle aus der Landwirtschaft gemischt wird, kann nicht nur Energie erzeugen, sondern auch die Funktion der Tiere im Nährstoffkreislauf teilweise übernehmen, da die Gärreste als Nährstoffe zurückgeführt werden können.
- Der Einsatz von Pflanzenkohle, die teilweise aus dem Holz städtischer Parks und der landwirtschaftlichen Produktion gewonnen wird, könnte weiter ausgebaut werden. Dies unterstreicht die Bedeutung von Bäumen, Hecken und Agroforstsystmen. Sie können CO₂ zwar nur kurzfristig in ihrer Biomasse speichern, sind jedoch eine wichtige Rohstoffquelle für die Herstellung von Pflanzenkohle. Zusätzlich spielen sie eine wichtige Rolle im Erhalt der Biodiversität.

- Bei Gärresten und Pflanzenkohle ist es von entscheidender Bedeutung, eine hohe Qualität auch in Bezug auf schädliche Rückstände zu produzieren. Nur so können diese Hilfsstoffe auch in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt werden.

Alle Möglichkeiten zur Reduktion der THG-Emissionen erfordern finanzielle Ressourcen. Je mehr CO₂ reduziert werden soll, desto höher sind in der Regel die anfallenden Kosten. Diese können durch staatliche Subventionen gedeckt werden oder sie werden durch Vorteile kompensiert, die die Stadtnähe bietet. Dazu gehört beispielsweise eine erhöhte Direktvermarktung mit höheren Margen, sowie eine Förderung der Pensionspferdehaltung. Letztere erzielt einen hohen Deckungsbeitrag und stellt für die städtische Bevölkerung ein Hobby mit hoher Nachfrage dar. Die Bildungs-, Erholungs- und Freizeitfunktionen städtischer Betriebe können zur Finanzierung der Betriebe beitragen und die Diversifizierung des Einkommens fördern. Des Weiteren kann damit auch die Abhängigkeit von der Tierhaltung verringert werden. Allerdings geht dies auf Kosten der Ernährungsfunktion der Landwirtschaft.

Die Landwirtschaft kann die Stadt beim Ausstieg aus den fossilen Energien unterstützen, indem sie erneuerbare Energien wie Biogas, Solarenergie und Windstrom produziert.

2. Einleitung

2.1 Kontext und Ziel

Die Stadt Zürich möchte bis 2040 klimaneutral werden und für die Stadtverwaltung gilt Netto-Null bereits bis 2035. Zur Erreichung dieses Ziels muss auch die Landwirtschaft ihren Beitrag leisten. Obwohl die Landwirtschaft in der Stadt Zürich nur einen verhältnismässig kleinen Teil der gesamten Stadtzürcher THG-Emissionen ausmacht, ist ihr Beitrag, insbesondere in Bezug auf Senkenleistungen und zur Förderung von Innovationen und Wissensgenerierung, relevant.

Die Stadt Zürich besitzt 14 landwirtschaftliche Betriebe, wovon 13 Betriebe verpachtet werden. Dies verschafft der Stadt die Möglichkeit, direkten Einfluss auf die landwirtschaftliche Infrastruktur zu nehmen und Kriterien festzulegen, die mit ihren Zielen in Bezug auf Klimaneutralität übereinstimmen. Insbesondere bei einem Pachtwechsel können strategische Anpassungen vorgenommen werden.

Das Postulat GR Nr. 2021/34 aus dem Jahr 2022 fordert Antworten auf die Frage, wie die Landwirtschaft auf das Netto-Null Ziel der Stadt ausgerichtet werden kann. Zur Erfüllung dieses Postulats wurde diese Studie in Auftrag gegeben. Ziel der Studie ist, den Handlungsspielraum der Stadt und der landwirtschaftlichen Betriebe aufzuzeigen und auf der Grundlage dieser Erkenntnisse einen Massnahmenplan zu entwickeln.

2.2 Vorgehen der Studie

Die Studie begann im Jahr 2022 mit der Datenerhebung.



Abbildung I Vorgehen der Studie

Die erhobenen Daten stellten die Grundlage zur Modellierung der THG-Emissionen der Stadtzürcher Landwirtschaft auf zwei Ebenen (aggregierter Betrieb und sechs Pilotbetriebe) dar. Der sogenannte IST-Zustand bezieht sich dabei auf das Produktionsjahr 2021.

Der aggregierte Betrieb repräsentiert auf Stadt-Ebene einen modellierten Gesamtbetrieb, der die Vielfalt der städtischen Landwirtschaft so präzise wie möglich abbildet. Diese Betrachtungsweise ermöglicht ein umfassenderes Verständnis des Handlungsspielraums der Stadt, insbesondere in Bezug auf landwirtschaftliche Prozesse und Emissionen.

Auf der zweiten Ebene analysiert die Studie einzelne Pilotbetriebe, die mit betriebsspezifischen Daten modelliert wurden und einen detaillierten Einblick in deren jeweiligen individuellen Handlungsspielraum bieten. Diese Analysen auf Betriebsebene ermöglichen eine genauere Betrachtung der landwirtschaftlichen Praktiken und Herausforderungen, was wiederum wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung gezielter Massnahmen und Empfehlungen liefert.

In einem nächsten Schritt wurden potenzielle Klimaschutzmassnahmen und deren Auswirkungen für die Stadtlandwirtschaft modelliert. Die modellierten Massnahmen wurden für die Entwicklung von Szenarien verwendet. Der aggregierte Betrieb wurde nachfolgend für jedes dieser Szenarien modelliert, wohingegen die Pilotbetriebe nur in jeweils ausgewählten Szenarien modelliert wurden. Anschliessend wurden die Szenarien anhand verschiedener Parameter (THG-Emissionen, Klimaanpassung- und Resilienz, Biodiversität, Nahrungsmittelversorgung und Ernährung, ökonomische Aspekte, Kreislaufwirtschaft, Landschaftsbild) analysiert. Im Rahmen von drei Workshops über den gesamten Studienverlauf wurden Landwirt*innen auf Stadtgebiet einbezogen (Abbildung 1).

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Studie präsentiert.

3. Methode

3.1 Berechnung der THG-Emissionen nach IPCC-Richtlinien

3.1.1 Allgemein

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) veröffentlichte 2019 eine umfassende Aktualisierung der 2006 publizierten Methodik zur Abschätzung der THG-Emissionen im Zusammenhang mit der Landwirtschaft (IPCC, 2019). Dieser Bericht dient als Grundlage für die Modellierung der THG-Emissionen der Landwirtschaft, die in dieser Studie verwendet wird. Eine wichtige Unterscheidung in der Methodik des IPCC ist die Einteilung in verschiedene Stufen der Genauigkeit und des Detaillierungsgrads der Berechnungen und Emissionsfaktoren, gemeinhin als Tier 1, Tier 2 und Tier 3 bezeichnet.

Tier 1: Hier werden globale oder landesspezifische Durchschnittswerte für THG-Emissionen verwendet. Diese Methode ist relativ einfach und wird oft in Ländern angewendet, die nur begrenzt Daten zur Verfügung haben.

Tier 2: Diese Methode beinhaltet eine genauere Analyse auf nationaler Ebene und verwendet spezifischere Daten zur Emissionsschätzung. Sie berücksichtigt auch regionale Unterschiede und landwirtschaftliche Praktiken.

Tier 3: Dies ist die genaueste Methode und basiert auf detaillierten Daten und Messungen auf Betriebsebene. Sie ermöglicht eine genaue Quantifizierung von THG-Emissionen und kann spezifische landwirtschaftliche Praktiken und Technologien abbilden.

In dieser Studie wurde mit wenigen Ausnahmen die Tier 3 Methode angewendet. In der Tierhaltung ermöglicht diese Methode eine besonders detaillierte Analyse, bei der die Fütterung spezifisch für jedes Tier berücksichtigt wird. Dies beinhaltet nicht nur die Art und Menge des aufgenommenen Futters, sondern auch die Aktivität und Produktivität des Tieres. Indem sie die Fütterungsgewohnheiten und den Stoffwechsel jedes Tieres erfasst, ermöglicht die Methode präzise Berechnungen der Methanemissionen. Darüber hinaus wird das Hofdünger-Management berücksichtigt, um die daraus resultierenden Methan- und Lachgasemissionen zu erfassen.

Die Berechnung der Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen mit der Tier 3 Methode schliesst die Art der Flächennutzung (Ackerland, Grünland usw.) und wie sich diese im Laufe der Zeit verändert mit ein. Zudem werden detaillierte Informationen zu Bewirtschaftungspraktiken erfasst, darunter Bodenbearbeitungsmethoden, Düngungstechniken, Ernteverfahren und Weidemanagement auf Acker- und Grünland. Diese umfassende Analyse ermöglicht eine genaue Quantifizierung von THG-Emissionen im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Landnutzung und trägt dazu bei, massgeschneiderte Reduktionsstrategien zu entwickeln, die die gesamte landwirtschaftliche Praxis berücksichtigen.

Agroforst wurde mit der Tier 1 Methode modelliert. Bei dieser Berechnung liegt der Fokus auf der jährlichen Perspektive. Dabei wird berechnet, wie viel Kohlenstoff in einem bestimmten Jahr in der Biomasse (zum Beispiel in Bäumen) gespeichert werden kann. Die Agroforstberechnungen geben jedoch keine Auskunft darüber, wie lange dieser Kohlenstoff gespeichert bleibt und ob er später (nach Abholzung) verbrannt oder anderweitig freigesetzt wird. Um diesen Unterschied deutlich zu machen, werden die Ergebnisse der Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse immer separat aufgezeigt.

Für die Berechnung des Speicherpotenzials von Pflanzenkohle wurden nicht die IPCC-Richtlinien als Referenz genutzt, sondern eine Studie des Agroscope (Alig et al., 2015). Diese Studie berücksichtigt die CO₂-Emissionen, die in der Schweiz während der Herstellung von Pflanzenkohle entstehen. Dies ermöglicht eine genauere Berechnung der Netto-Klimaschutzwirkung von Pflanzenkohle als Kohlenstoffspeicher.

3.1.2 Bodenkohlenstoff

Da detaillierte Bodenkohlenstoffmessungen, die für die Tier 3 Methode nötig wären, fehlen, wurde die Tier 2 Methode angewendet. Der Bodenkohlenstoff wurde dann mit dem vereinfachten Century-Modell modelliert (IPCC, 2019). Das Century-Modell ist ein biochemisches Modell, das die Kohlenstoffdynamik in Böden simuliert, und mit 20 Jahren Klimadaten initialisiert wird. Es berücksichtigt Faktoren wie organische Materie, Mikroorganismen, Wurzeln und ihre Wechselwirkungen im Boden. Das Modell berechnet, wie sich landwirtschaftliche Praktiken, Nutzungstypen sowie Änderungen der Landnutzung auf den Bodenkohlenstoffspeicher auswirken. Dabei werden verschiedene Faktoren wie Bodentyp, Klima und Bewirtschaftungspraktiken wie Stroheinarbeitung oder reduzierte Bodenbearbeitung berücksichtigt.

Drei zeitlich verschiedene Bodenkohlenstoffpools im Century Modell

Das vereinfachte Century-Modell unterscheidet zwischen drei Kohlenstoffpools, die zeitlich dynamisch voneinander abhängen (Sadatshojaei et al., 2021).

- Aktiver Kohlenstoffpool: Dieser Pool umfasst organischen Kohlenstoff, der leicht abbaubar ist und von Mikroorganismen schnell zersetzt wird. Er repräsentiert kurzfristige Kohlenstoffvorräte im Boden, die durch frisches organisches Material wie Pflanzenreste und Wurzeln aufgefrischt werden. Dieser Pool ist in ständiger Bewegung und spielt eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf.
- Langsamer Kohlenstoffpool: Hier handelt es sich um organischen Kohlenstoff, der weniger leicht abbaubar ist und sich über längere Zeiträume im Boden ansammelt. Dazu gehören beispielsweise gut zersetzes Pflanzenmaterial und Humus. Dieser Pool ist weniger dynamisch als der aktive Pool und trägt zur längerfristigen Kohlenstoffspeicherung bei.
- Passiver Kohlenstoffpool: Dieser Pool besteht aus hochstabilen organischen Kohlenstoffverbindungen, die sehr langsam abgebaut werden. Er repräsentiert Kohlenstoff, der über Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende im Boden verbleibt. Der passive Speicher kann in gewisser Weise als Humusaufbau verstanden werden, und es wird angenommen, dass er mindestens über die nächsten 20 Jahre im Boden verbleibt¹. Diese Zeitspanne wird auch von LCA-Standards als ausreichend betrachtet, um als «langfristige Speicherung» zu gelten.

Langfristiger und kurzfristiger Kohlenstoffspeicher

Gemäß IPCC gilt ein Boden als Kohlenstoffspeicher, wenn im betrachteten Jahr mehr Kohlenstoff im Boden gebunden als emittiert wird (Don et al., 2023). In dieser Studie

¹ Per Definition ist der passive Speicher langfristig und da das verwendete Modell nur die kommenden 20 Jahre modelliert, sprechen wir von Speicherung über mindestens 20 Jahre.

wird der Bodenkohlenstoff, der im betrachteten Jahr gebunden wird, als die Summe vom aktiven, langsamen und passiven Pool im Century-Modell berechnet. Dieser Bodenkohlenstoff wird in dieser Studie «kurzfristiger Bodenkohlenstoffspeicher» genannt, da durch die Summierung nicht klar ist, ob es sich um langfristige Bindung handelt, oder der Kohlenstoff über die nächsten 20 Jahre als Feldemissionen wieder in die Atmosphäre gelangt. Die Feldemissionen, einschließlich der Lachgasemissionen, werden in dieser Studie separat berechnet und aufgezeigt. Der kurzfristige Bodenkohlenstoff und die Feldemissionen werden dem Ackerbau angerechnet. Wenn mit der T2 Methode die Netto-Emissionen des Ackerbaus negativ werden, dann ist der Boden im betrachteten Jahr ein Kohlenstoffspeicher. Diese Berechnung entspricht dem IPCC-Standard.

Es ist schwer zu sagen, wie viel Bodenkohlenstoff langfristig (mehr als 20 Jahre) im Boden bleibt, da dies von vielen Faktoren abhängt, darunter auch die zukünftigen klimatischen Bedingungen und (landwirtschaftliche) Landnutzung. Der passive Kohlenstoffpool im Modell gibt jährliche Änderungen in der gespeicherten Menge an. Die sich daraus ergebende Dynamik über mehrere Jahre hinweg gibt einen zuverlässigen Trend an. Daher betrachtet diese Studie den langfristigen Bodenkohlenstoffspeicher als Summe des Century-Passivpools über 20 Jahre, um einen konsistenten Überblick zu bieten.

Die Grenzen des Century-Modells

Das Century-Modell ist ein nützliches Werkzeug, um die Kohlenstoffdynamik im Boden kurz und langfristig zu untersuchen und Szenarien zu modellieren. Es bietet eine erste Annäherung an die Kohlenstoffspeicherung und -freisetzung in Böden. Allerdings ist es wichtig zu betonen, dass die tatsächliche Kapazität des Bodenkohlenstoffspeichers von zahlreichen Faktoren abhängt und von Standort zu Standort variieren kann.

Die Menge an bereits im Boden vorhandenem Kohlenstoff, der Bodentyp, die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken und Umweltbedingungen sind nur einige der variablen Einflussfaktoren (Georgiou et al., 2022). Daher ist es unerlässlich, kontextspezifische Studien durchzuführen, um zu bestimmen, wie viel Kohlenstoff tatsächlich in einem bestimmten Gebiet gespeichert werden kann. Das Century-Modell sollte als Ausgangspunkt für solche Studien betrachtet, aber nicht zur exakten Quantifizierung des Bodenkohlenstoffspeichers gebraucht werden.

In der Wissenschaft besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass Böden eine wichtige Rolle bei der Kohlenstoffbindung und -freisetzung spielen (Zomer et al., 2017). Dennoch sind genauere und kontextspezifische Untersuchungen erforderlich (McSherry and Ritchie, 2013; Tifafi et al., 2018), um das Verständnis zu vertiefen und zu bestimmen, wie die Kohlenstoffspeicherung in Böden für die Region Zürich am effektivsten maximiert werden kann.

T0 und T2

Der LCA ISO 14067:2018-Standard verlangt, dass neben der T2-Berechnung auch die T0-Berechnung vorgelegt wird, d.h. die Berechnung, bei der der Bodenkohlenstoff ignoriert,

aber die Emissionen aus dem Feld berücksichtigt werden. Demnach werden in dieser Studie immer beide Ergebnisse aufgeführt.

3.1.3 Anrechnen von Methan

Das Treibhauspotenzial (Englisch: global warming potential (GWP)) von Gasen wird standardgemäss über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet und angegeben (GWP100). Die verschiedenen Treibhausgase werden im Verhältnis zum Erwärmungspotenzial eines CO₂ Moleküls bewertet (als CO₂ Äquivalente; CO_{2eq}). Das Erwärmungspotenzial von Methan über 100 Jahre ist 28-mal so hoch wie das von CO₂. Die Klimawirkung von Substanzen hängt ausserdem von der Verweilzeit in der Atmosphäre ab, denn Treibhausgase zerfallen unterschiedlich schnell in der Atmosphäre. So ist etwa ein Methanmolekül kurzlebiger als ein CO₂-Molekül. Infolgedessen führt die Bewertungsmethode dazu, dass Methanemissionen über längere Zeit, als sie effektiv in der Atmosphäre sind, angerechnet werden, aber dafür mit geringerem Erwärmungspotential. GWP100 sagt darum etwas über die Erderwärmung über die folgenden 100 Jahre aus, und kann nicht verwendet werden, um etwas über die Erderwärmung in 20 oder 50 Jahren auszusagen. Dazu gibt es aber ähnliche Metriken mit entsprechend kürzeren Zeithorizonten, nämlich GWP20 und GWP50. Diese Methoden rechnen Methan für den angegebenen Zeithorizont richtig an, ohne jedoch etwas über die Kurzfristige Dynamik von Methan auszusagen. Ein alternativer, aber wissenschaftlich umstrittener Ansatz zur Berechnung des Treibhausgaspotenzials von Gasen nennt sich GWP* (Allen et al., 2018; Cain et al., 2019; Lynch et al., 2020). Diese Methode ist ein Versuch, die Abbauraten und Effekte von Methan auf die Erderwärmung im kurzfristigen Zeitverlauf besser abzubilden. GWP* hebt hervor, dass Methanemissionen möglich sind, ohne das Klima weiter zu erwärmen. Dies würde voraussetzen, dass globale Emissionsraten von Methan konstant bleiben und nicht weiter ansteigen. Eine konstante Emissionsrate von Methan bedeutet, dass sich die Methankonzentration in der Atmosphäre auf erhöhtem Niveau stabilisiert. Eine erhöhte Emissionsrate trägt zur weiteren Erwärmung und eine reduzierte Emissionsrate zur Abkühlung des Planeten bei.

Weltweit ist zum heutigen Zeitpunkt weder eine Stabilisierung noch eine Reduktion der Emissionsrate von Methan feststellbar. Im Gegenteil, die globalen Methanemissionsraten erhöhen sich und übersteigen die Abbaufähigkeit der Atmosphäre (Nisbet et al., 2019; Saunois et al., 2020). Ganz unabhängig von der gewählten Metrik trägt jegliche Reduktion von Methanemissionen zur Entschärfung des Klimawandels bei.

Daher wird in dieser Studie GWP100 nach IPCC Standard verwendet, was auch dem Vorgehen des BLW in der «Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050» entspricht (BLW et al., 2023). Die gängige wissenschaftliche Praxis besteht zudem darin, Methanemissionen separat auszuweisen. Im Anhang (10.4) wird dies gewährleistet, in

dem die Berechnungen einmal mit Methanemissionen und einmal ohne Methanemissionen dargestellt werden.

3.2 FarmLCA Modell auf 2 Ebenen

3.2.1 Das Farm LCA Modell

Das Tool *FarmLCA* (Meier and Moakes, 2019; Schader et al., 2014) wurde in den letzten zehn Jahren entwickelt und ist in Microsoft EXCEL® programmiert. Das Tool dient zur Bewertung der ökologischen und wirtschaftlichen Leistung von landwirtschaftlichen Produkten, Betrieben und Systemen. Es besteht aus i) einem landwirtschaftlichen Betriebsmodell, ii) einer Ökobilanz und iii) einer ökonomischen Bewertung. Dieser kombinierte Ansatz ermöglicht es, alle landwirtschaftlichen Produktionstätigkeiten und -ströme bis zum Hoftor zu erfassen und mit zunehmender Detailtiefe und Genauigkeit zu modellieren.

Eine Stärke des FarmLCA ist die detaillierte Darstellung der tierischen und pflanzlichen Produktionszweige und ihrer Verflechtungen. Die Umweltwirkungen interner Biomasseflüsse, wie z.B. Getreide oder Futtermittel aus der betriebseigenen Futtermittelproduktion, werden den Tierhaltungsaktivitäten mit betriebsspezifischen Wirkungswerten angerechnet. Andererseits werden die Nährstoffe des Hofdüngers aus der Tierhaltung und die damit verbundenen Umweltwirkungen basierend auf der Beweidung oder Ausbringung auf den Flächen zu den Ackerbauaktivitäten gerechnet. Dabei sind diese Hofdüngerflüsse abhängig von der Ernährung der Tiere und dem Produktionsniveau im Betrieb. Dieser kontextspezifische Ansatz ermöglicht eine höhere Genauigkeit im Vergleich zu Standarddaten. Die Struktur des Viehbestands des Betriebs, sein Nährstoffbedarf in den verschiedenen Lebensstadien, die enterische Fermentation und das Hofdüngermanagement werden modelliert, ebenso wie der Nährstoffbedarf der Pflanzen und die Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffemissionen. Die Lachgasemissionen (N_2O) werden mit den disaggregierten Emissionsfaktoren des IPCC (IPCC, 2019) berechnet, während die Ammoniakemissionen aus den Kulturen mit EMEP/EEA (EMEP/EEA, 2019) (NH_3 auf Tier 2, NO_x auf Tier 1) berechnet und die Nitratverluste mit der SQCB-Methode (Faist et al., 2009) geschätzt werden. Zur Darstellung der landwirtschaftlich erzeugten Nahrungsmittel wurden die Outputs aus dem FarmLCA Modell in Frischmasse (kg) mit Hilfe der Schweizer Nährwertdatenbank (BLV, 2023) in verwertbare Kalorien und Proteine umgerechnet.

Tabelle 1 enthält detaillierte Informationen über die für die einzelnen Arten von Feldemissionen verwendeten Methoden.

Die zweite Funktion des Tools ist das integrierte Ökobilanz-Modell (LCA). Inputs und Outputs werden über das oben beschriebene landwirtschaftliche Systemmodell quantifiziert, und die Hintergrundprozesse stammen aus der Ecoinvent 3.8 LCI-Datenbank (Wernet et al., 2016), die als Inventardatenbank im Modell integriert ist. Dieser Ansatz ermöglicht es, Inputs und Outputs auf die spezifischen Umstände eines Betriebs oder einer Region zuzuschneiden. Die Auswirkungen können im Rahmen des Tools anhand der IMPACT World+ (Midpoint Version 1.28) LCIA-Methodik (Bulle et al., 2019) mit ihren 18 Auswirkungskategorien oder der Methode der ökologischen Knappheit 2021 (BAFU, 2021) bewertet werden. Die Grenze des FarmLCA-Tools zeigt sich darin, dass Biomasse von einem Feld nicht auf einem anderen eingearbeitet werden kann. So kann zum Beispiel Mulch als Düngung auf Ackerland (Transfermulch) nicht berechnet werden.

Die dritte Funktion, eine wirtschaftliche Bewertung, ist eine wertvolle Ergänzung des Instruments. Bei der Umsetzung von Änderungen oder neuen Strategien in der Lebensmittelproduktion sind die finanziellen Auswirkungen ein sehr wichtiger Faktor für Landwirt*innen. Daher wird in dem Tool eine Deckungsbeitrag-Analyse durchgeführt, um die wirtschaftliche Leistung verschiedener landwirtschaftlicher Produktionsstrategien zu bewerten. Kostendaten für alle externen variablen Inputs (z.B. Düngemittel, Pestizide, Saatgut, Diesel) sowie Preise für den Verkauf der landwirtschaftlichen Produkte sind im Modell enthalten.

Für dieses Projekt wurden das Betriebsmodell und die Ökobilanzierung des FarmLCA Tools verwendet. Aufgrund des Projektziels, die Standlandwirtschaft auf Netto-Null auszurichten, wurden die Auswirkungskategorien «Klimawandel», gemessen an CO₂-Äquivalenten (CO_{2eq}), sowie «Energie» (MJ verbraucht für fossile Energien) berechnet.

Bei den Berechnungen des fossilen Energieverbrauchs wurde der Bau der Infrastruktur, einschliesslich einer Remise für den Maschinenpark sowie der Ställe nicht berücksichtigt. Bei Neubauten muss dieser Energieverbrauch noch hinzugefügt werden. Die in die Berechnung einbezogene Stallinfrastruktur umfasst die Energiekosten für den Betrieb von Einrichtungen wie Milchrobotern und die Beheizung von Hühnerställen. Es ist auch wichtig anzumerken, dass die Berechnungen des Energieverbrauchs bei Futtermitteln zum grossen Teil auf Futtermittelimporten aus dem Ausland basieren. Dies überschätzt die fossile Energie der zugekauften Fütterung, insbesondere in Bezug auf die schweizerische Bioproduktion.

Andere aus ökologischer Sicht wichtige Wirkungsfelder, nämlich Biodiversität, Klimaresilienz, Beitrag zu einer lokalen und nachhaltigen Ernährung und das Landschaftsbild, wurden qualitativ bewertet. Die wirtschaftlichen Berechnungen wurden im Projekt aus Zeitgründen durch vereinfachte Deckungsbeitragsberechnungen ersetzt (siehe Kapitel 3.6.1)

Zur Darstellung der landwirtschaftlich erzeugten Nahrungsmittel wurden die Outputs aus dem FarmLCA Modell in Frischmasse (kg) mit Hilfe der Schweizer Nährwertdatenbank (BLV, 2023) in verwertbare Kalorien und Proteine umgerechnet.

Tabelle 1 Überblick über die im FarmLCA-Modell berücksichtigten Emissionen und die entsprechenden Berechnungsmethoden

Produktion	Modul	Feldemission	Nach	Methoden	Referenz
Pflanzenbau	Feldemissionen	Distickstoffmonoxid (Lachgas, N ₂ O)		IPCC, Tier 2 ^a	(IPCC, 2019)
		Kohlendioxid (CO ₂)	Luft	IPCC, Tier 1 ^a	(IPCC, 2019)
		Stickoxide (NO _x)		EMEP/EEA, Tier 1c	(EMEP/EEA, 2019)
		Ammoniak (NH ₃)		EMEP/EEA, Tier 2 ^c	(EMEP/EEA, 2019)
		Nitrat (NO ₃ ⁻)	Grundwasser	SQCB-NO3 ^d	(Faist et al., 2009)
		Phosphat (PO ₄ ³⁻)	Oberflächengewässer		(Prasuhn, 2006)
		Phosphor (P)	Grundwasser	SALCA- Phosphor ^{fg}	(Oberholzer et al., 2006)
	Rationierung	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Oberflächengewässer	SALCA- Schwermetalle ^h	(Freiermuth, 2006)
		Futtermittel aus der Landwirtschaft	Boden		
		Externe Futtermittel	Vieh	Ertragsabhängiger Tagesbedarf ⁱ	(Lfl, 2017)
Tierhaltung	Hofdünger-Management	Feste und flüssige Hofdünger	Lagerung	Nährstoffbilanz ^j	(Richner et al., 2017)
		Methan (CH ₄)	Feld		
		Distickstoffmonoxid (N ₂ O), direkt		IPCC, Tier 2 & 3 ^{ak}	(IPCC, 2019),
		Distickstoffmonoxid (N ₂ O), indirekt	Luft	IPCC, Tier 3 ^{ak}	(BAFU, 2021)
	Enterische Fermentation	Ammoniak (NH ₃)		IPCC, Tier 3 ^{ak}	
		Methan (CH ₄)	Luft	AGRAMMON ^l	(Kupper et al., 2010)

3.2.2 Der 2-Ebenen Ansatz mit verschiedenen Systemgrenzen

Das FarmLCA Modell bietet die Möglichkeit, interne Biomasse-, Stickstoff- und Kohlenstoffflüsse abzubilden. Die Berechnungen sind dabei stark von den gewählten Systemgrenzen abhängig. In dieser Studie wurden zwei Ebenen analysiert. Zunächst wurden landwirtschaftliche Zusammenhänge auf städtischer Ebene untersucht. Diese Ebene wird im Bericht als "aggregierter Betrieb" bezeichnet. Hierbei geht es darum, zu verstehen, ob die Ressourcen und Nährstoffe innerhalb der Stadt für die Aufrechterhaltung der Landwirtschaft ausreichen und wie viele Tiere mit lokalen Ressourcen ernährt werden können.

Allerdings hat die städtische Ebene ihre Grenzen, da sie nicht die detaillierte Betrachtung eines individuellen landwirtschaftlichen Betriebs und seines spezifischen Kontexts ermöglicht. Daher wurden in dieser Studie sechs Pilotbetriebe im Detail untersucht, um zu veranschaulichen, welche verschiedenen Möglichkeiten und Herausforderungen für Betriebe entstehen können. Diese Betriebsanalysen helfen, die konkreten Auswirkungen von Massnahmen auf die Praxis und den Handlungsspielraum der Betriebe aufzuzeigen.

Die Systemgrenze wurde für diese Studie geografisch wie zeitlich festgelegt: Die untersuchten landwirtschaftlichen Flächen beziehen sich auf das Gemeindegebiet der Stadt Zürich (mit Ausnahme der Alpflächen der Pilotbetriebe) im Jahr 2021. Die Umweltwirkungen werden dabei für alle Produkte der Landwirtschaft bis zum Hoftor berechnet. Das heisst, dass eventuelle Verarbeitungsschritte nach der Ernte/Schlachtung/Melken nicht weiter miteinbezogen wurden. Umweltwirkungen durch Inputs und Hilfsmittel, auch wenn importiert, wurden jedoch immer berücksichtigt.

3.3 Daten für die Modellierung

3.3.1 Aggregierter Betrieb

Der aggregierte Betrieb wurde mittels verschiedener Datenquellen modelliert. Datenquellen waren die städtische Tier- und Landnutzungsstatistik, Standarddaten aus der Ökobilanzdatenbank EcoInvent (Wernet et al., 2016) sowie durchschnittliche Herdenbuchdaten aus der «Tal» Region (Nutzungsdauerstudie am FiBL, noch nicht publiziert). Da der aggregierte Betrieb basierend auf diesen Standarddaten sehr ungenau war wurde er entsprechend angepasst. Dazu wurden die Expertise von Grün Stadt Zürich sowie die Daten der verfügbaren Suisse-Bilanzen von städtischen Betrieben und der Pilotbetriebe verwendet.

3.3.2 Pilotbetriebe

Bei den Pilotbetrieben wurden die Daten mittels Interviews und Betriebsbesuchen im Frühjahr 2023 erhoben. Mit einem eigens dafür entwickelten Fragebogen wurden detaillierte Betriebsdaten gesammelt, die für die Modellierung im FarmLCA nötig waren. Das Ziel war es, möglichst viele betriebsspezifische Daten und nur wenig Standard-Inventardaten zu verwenden, um die realen Emissionen so genau wie möglich berechnen zu können.

3.4 Partizipation der Betriebsleiter*innen

Im Verlauf dieser Studie wurden Betriebsleiter*innen aus dem Raum Zürich eingebunden.

Der partizipative Prozess wurde auf drei Workshops (WS) aufgeteilt (Abbildung 2). An den Workshops waren die Betriebsleiter*innen und die Mitarbeiter*innen von Grün Stadt Zürich sowie vom FiBL anwesend. Alle Teilnehmer*innen konnten Klimaschutzmassnahmen vorschlagen und diskutieren und ihre eigene Perspektive einfließen lassen.

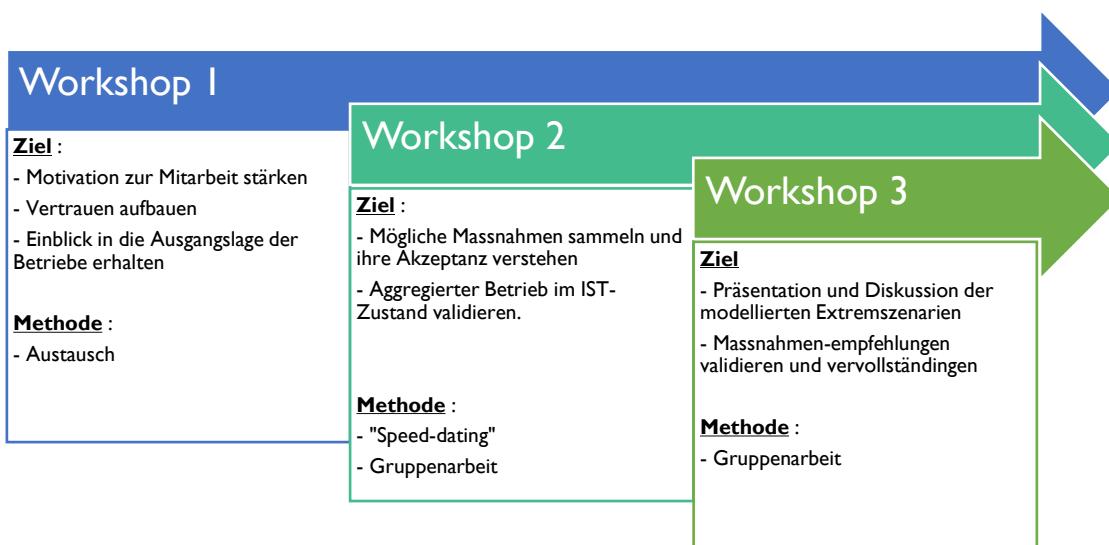


Abbildung 2: Der partizipative Prozess, so wie er im Rahmen des Projekts in den drei Workshops umgesetzt wurde.

Der erste Workshop war vor allem ein Kennenlernen mit dem Ziel, Vertrauen für das gemeinsame Vorhaben aufzubauen. Im zweiten Workshop wurden erste Modellierungsergebnisse gezeigt, wobei der IST-Zustand der Stadt Zürich als aggregierter Betrieb besprochen und im Detail validiert wurde.

Auf Basis dieser Präsentation wurde dann die Haltung der Betriebsleiter*innen zu einem breiten Spektrum an Klimaschutzmassnahmen, die in einem landwirtschaftlichen

Betrieb umgesetzt werden können, gesammelt. Zudem gab es für die Betriebsleiter*innen Raum, miteinander zu diskutieren und zusätzliche betriebliche Klimaschutzmassnahmen vorzuschlagen. Sofern die Vorschläge modellierbar waren, wurden sie in die Entwicklung der Szenarien aufgenommen.

Im dritten Workshop wurden extreme Szenarien und die daraus resultierenden Ergebnisse präsentiert. Nach einer Diskussion setzten sich die Teilnehmenden in Gruppenarbeiten mit einem politischen Massnahmenpaket auseinander, das von Grün Stadt Zürich und dem FiBL erstellt wurde. Die Gruppenarbeiten wurden in die Bereiche Pflanzenbau, Tierhaltung, Energie und Gebäude aufgeteilt. Innerhalb dieser Arbeitsgruppen hatten die Teilnehmer*innen die Möglichkeit, Fragen zu stellen, Kritik zu äussern und Änderungsvorschläge zu machen. Abschliessend wurde der Massnahmenkatalog im Plenum zusammengefasst und verabschiedet.

3.5 Szenario Entwicklung

Um die verschiedenen Möglichkeiten für die Stadt Zürich zu erfassen, wurden Klimaschutzmassnahmen zu Szenarien gebündelt.

Exkurs:

Um Szenarien für die Landwirtschaft zu entwickeln, ist es wichtig zu verstehen, dass es sich um ein komplexes System handelt. Dies bedeutet, dass viele Elemente miteinander verknüpft sind. Als Konsequenz können Massnahmen nicht isoliert betrachtet werden. Wird ein Element im System verändert, hat dies einen Einfluss auf andere Elemente im System.

Die zentralen Verknüpfungen ergeben sich aus der Verbindung zwischen Ackerbau und Tierhaltung. Im Ackerbau werden nicht nur Pflanzen für den menschlichen Verzehr angebaut, sondern auch Futtermittel, wie beispielsweise Mais, der hauptsächlich für die Silage für Milchkühe verwendet wird, oder Triticale und Körnermais, die für Schweine und Hühner angebaut werden. Des Weiteren wird der Ertrag der Kunstwiese, die Teil einer gesunden Fruchtfolge ist und zur Bodengesundheit sowie Unkrautbekämpfung beiträgt, an die Tiere verfüttert. Ein Teil des Strohs von Getreideernten wird ebenfalls als Einstreu für die Tiere verwendet, während der nicht geerntete Teil des Strohs in den Boden eingearbeitet wird.

Andererseits erzeugen die Tiere Hofdünger, der als wertvoller organischer Dünger dient. Dies ist von besonderer Bedeutung in der biologischen Landwirtschaft, in der gänzlich auf chemisch-synthetische Dünger zu verzichten ist. Für die Pachtbetriebe in der Stadt Zürich ist diese Bewirtschaftungsweise verpflichtend.

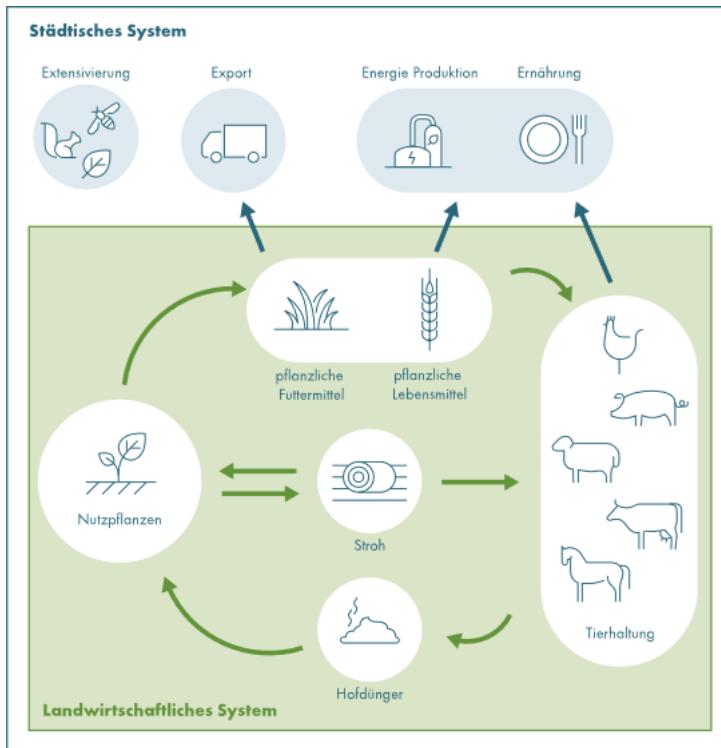


Abbildung 3 Darstellung eines landwirtschaftlichen Systems innerhalb des Stadtgebietes. Die Grafik zeigt alle möglichen Elemente eines solchen Systems inklusive der Nährstoffflüsse und Verbindungen auf.

In einem ersten Schritt wurde dazu eine umfassende Liste an Klimaschutzmassnahmen erstellt. Als Grundlage diente eine Agroscope-Studie von Alig et al. (2015). Diese Ursprungsliste wurde dann durch zusätzliche Literaturquellen erweitert, darunter eine aktuelle Bio Suisse-Studie (Müller et al., 2023) sowie internationale wissenschaftliche Veröffentlichungen (Rosa and Gabrielli, 2023). Die Liste wurde auch im Rahmen von Expert*innen-Gesprächen am FiBL überarbeitet und ergänzt. Im zweiten Workshop wurde diese Liste diskutiert und ergänzt. Im Anhang 10.2 sind diese Massnahmen aufgeführt.

In einem zweiten Schritt wurden Szenarien entwickelt. Die Szenarien sind keine Empfehlungen, sondern Extremfälle, die helfen sollen, die Dynamik des landwirtschaftlichen Systems zu verstehen und kritische Faktoren zu identifizieren. Es wurde ein Basis Szenario entwickelt, worauf die drei Extrem-Szenarien basieren. Es wurde jeweils darauf geachtet, dass innerhalb der Szenarien die Nährstoffflüsse erhalten bleiben und realistische Größen angenommen werden.

3.5.1 Szenario I: Basic - Anwendung der Prinzipien der konservierenden Landwirtschaft

Konservierende Landwirtschaft

Im Szenario Basic (BASIC) wurden für den Anbau von Nutzpflanzen grundlegende Prinzipien der konservierenden Landwirtschaft angenommen. Dazu gehören die Integration von Untersaaten zur Bodenabdeckung, die reduzierte Bodenbearbeitung und die verstärkte Einarbeitung von Stroh. Das Stroh, das im IST-Zustand ausserhalb der Stadt verkauft wurde, wurde nun im Boden eingearbeitet.

Bei allen Kulturen, bei denen dies möglich ist, wurde das Pflügen durch Tiefenlockerung ersetzt. In der Biolandwirtschaft kann der Pflug zur Unkrautunterdrückung in einzelnen Fällen eine wichtige Rolle spielen (Krauss et al., 2020). Um dies im Modell zu repräsentieren, wurden gewisse Felder doch noch gepflügt. Im Modell wird in der gesamten Fruchfolge von 7 Jahren im Schnitt etwa einmal gepflügt.

Auf allen Getreidefeldern wurde die Untersaatmischung Typ «Carbon-Fix» von Sativa modelliert. Diese Untersaat fördert die Blattgesundheit der Hauptkultur, unterdrückt Unkräuter und unterstützt die Nährstoffspeicherung und Humusbildung. Sie ermöglicht eine lückenlose Bedeckung des Feldes, während immer eine Pflanzenart für die Bestäuber blüht. Auf den anderen Feldern wurde eine Gründüngung als Zwischenfrucht angenommen. Untersaat sowie Gründüngung wurden in den Boden eingearbeitet.

Keine Änderungen in der Tierhaltung

Die Tierbestände sind im Szenario Basic gleich hoch wie im IST-Zustand und werden mit derselben Fütterung und Produktivität modelliert.

Erhöhung der biologisch bewirtschafteten Fläche

Nur die von der Stadt verpachteten Betriebe und Flächen sind zur biologischen Bewirtschaftung verpflichtet. Heute sind ca. die Hälfte der Landwirtschaftsflächen in der Stadt Zürich biologisch bewirtschaftet. Der Anteil der biologisch bewirtschafteten Fläche wurde im Szenario Basic auf 2/3 der städtischen Gesamtfläche erhöht (verglichen mit dem IST-Zustand). Dabei sind nur die Flächen der Kulturen, die bereits im IST-Zustand auch biologisch angebaut wurden, vergrössert worden.

Einsatz von Pflanzenkohle

Weiter wurde auf der gesamten Ackerbaufläche Pflanzenkohle ausgebraucht. Dabei wurde angenommen, dass 2 t/ha pro Jahr eingearbeitet werden, was der Maximalempfehlung von Agroscope entspricht (Schmidt et al., 2021).

Elektrifizierung

Letztlich wurde in diesem Szenario angenommen, dass ein Teil der Feldarbeiten mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug durchgeführt werden kann, was den Verbrauch fossiler Brennstoffe um 40% reduzieren würde (Moro and Lonza, 2018).

Dieses BASIC-Szenario dient als Grundlage für alle weiteren Szenarien.

Szenario 2: Feed no Food – optimale grasbasierte Wiederkäuerhaltung und Steigerung der Nahrungsmittelproduktion für die direkte menschliche Ernährung

Das Szenario Feed no Food (FNF) zielt auf eine ressourcetechnische Optimierung der Ernährungsproduktion für den menschlichen Verzehr ab (Abbildung 4).

Anpassungen in der Tierhaltung

Es werden so viele Tiere gehalten, wie mit lokal produziertem Raufutter ohne Konkurrenz zur menschlichen Ernährung gefüttert werden können. In diesem Szenario wurden die Milchkühe, inklusive Remonten und Masttiere, ausschliesslich mit Gras ernährt. Basierend auf dem vorhandenen Grünland und der Kunstwiese wurde berechnet, wie gross die städtische Herde von Kühen sein könnte und entsprechend angepasst. Schweine und Legehennen wurden aus dem Modell entfernt, da sie in direkter Konkurrenz zur menschlichen Ernährung stehen.

Alle Milch- und Mutterkühe wurden in diesem Szenario durch Zweinutzungsrasse mit langer Nutzungsdauer ersetzt. Zweinutzungsrasse ermöglichen es, mehr Protein aus Grünland zu produzieren, da die Produktion von Milch gegenüber der von Fleisch gesteigert wird. Milch ist die effizientere Art, Grünland in Protein umzuwandeln als Fleisch. Milchkühe zu halten ist jedoch nicht auf allen Grünflächen möglich, zum Beispiel, wenn diese nur umständlich erreicht werden können oder sie nur eine unzureichende Futterqualität für die Milchproduktion bieten. Diese Flächen können potenziell durch Mutterkühe oder Schafe genutzt werden. In diesem Szenario wurde die Anzahl der Schafe erhöht, da diese tendenziell geringere THG-Emissionen pro GVE als Mutterkühe haben (Poore and Nemecek, 2018).

Die Weidezeit im Freien wurde maximiert: Milchkühe wurden nach Weide RAUS (BLW, 2023) modelliert. Für die anderen Tiere wurde angenommen, dass sie den ganzen Sommer im Freien verbringen würden, und den Winter teilweise. Zudem wurde das Weidemanagement nach den mob-grazing Prinzipien modelliert. Mob-grazing, auch bekannt als Umtriebsweide, ist eine nachhaltige Beweidungspraktik, bei der Tiere in grösserer Anzahl auf begrenzten Flächen weiden. Dies fördert dichte Bewuchsmuster und stärkt die Pflanzenwurzeln (Billman et al., 2020; Zaralis and Padel, 2019). Ob und wieviel Kohlenstoff mit dieser Praxis gespeichert werden kann, ist höchst umstritten (Garnett et al., 2017; Godde et al., 2020). Dennoch ist es die einzige Möglichkeit, im Modell ein verbessertes Grünland-Management darzustellen. Auch ist es unbestritten, dass verbessertes Grünland-Management Kohlenstoff binden kann (Bai and Cotrufo, 2022; Chang et al., 2021). Deshalb sollte die mob-grazing Intervention als generisches, verbessertes Grünland-Management interpretiert werden, ohne in der Praxis nur auf die Umtriebsweide reduziert zu werden. Diese Modellierung repräsentiert auch die maximal mögliche kurzfristige Bodenkohlenstoffspeicherung und ist höchstwahrscheinlich zu optimistisch. Das Schweizer Treibhausgasinventar berechnet, dass Grünland im Durchschnitt weder Kohlenstoff verliert noch zusätzlich speichert

(FOEN, 2023). Allerdings berücksichtigt deren Berechnung kein optimiertes Weidemanagement.

Anpassungen im Ackerbau

Des Weiteren wurde im Ackerbau der Mais für die Silageproduktion zur Tierfütterung durch Gemüse für die menschliche Ernährung ersetzt. Kunstmiesen bleiben erhalten, da sie ein wichtiger Bestandteil einer gesunden Fruchtfolge sind.

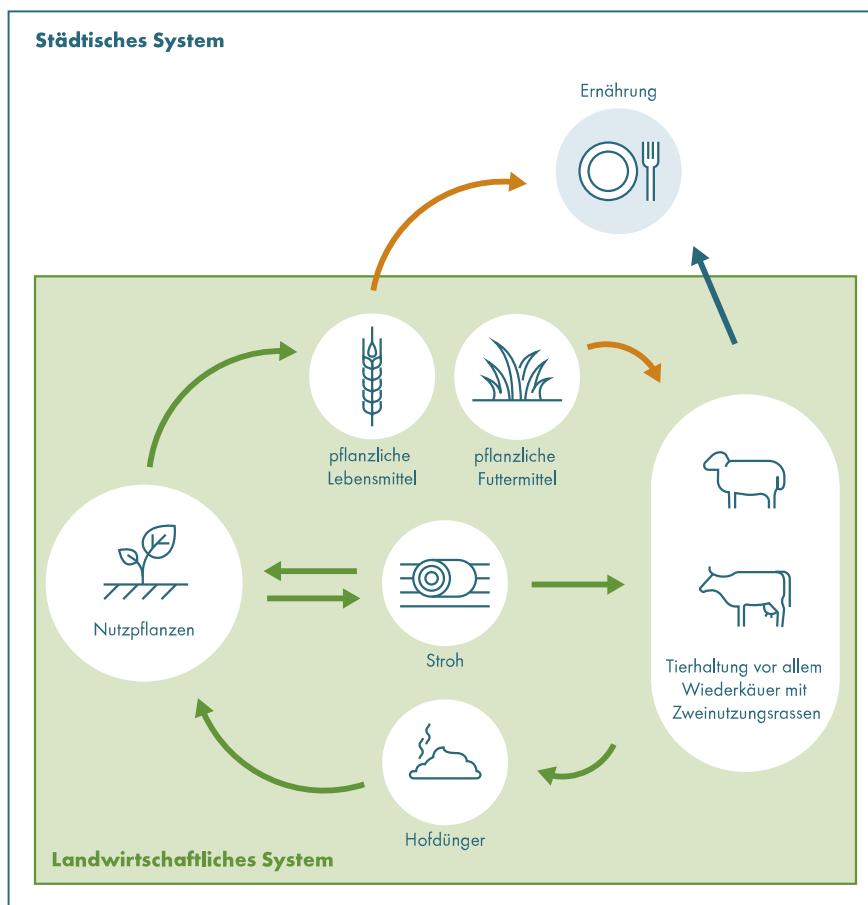


Abbildung 4: Szenario 2 (Feed no Food): Visualisierung der Elemente und Nährstoffflüsse

Stärkung Klimaresilienz

Um die Klimaresilienz von diesem Szenario zu fördern, wurden Weidengewächse um das Grünland gepflanzt. Die Bäume binden während des Wachstums nicht nur Kohlenstoff, sie können Zusatzfutter zur Verfügung stellen, wenn das Gras z.B. wegen einer Dürre nicht ausreicht. Zusätzlich hat die Weide eine leichte methanhemmende Wirkung, wenn ihre Blätter als Futter für Wiederkäuer verwendet werden. (Huyen et al., 2016; Ramírez-Restrepo et al., 2010). Diese Wirkung wurde jedoch nicht modelliert.

3.5.2 Szenario 3: Extensivierung – Monogastrier ersetzen Wiederkäuer und Grünland wird extensiviert

Das Szenario Extensivierung (EXT) setzt auf die positiven Umweltwirkungen extensiver Grünflächen sowie die geringeren enterischen THG-Emissionen von Monogastrern im Vergleich zu Wiederkäuern.

Anpassungen in der Tierhaltung

Im Szenario Extensivierung wurden die Wiederkäuer durch Monogastrier (Pferde, Schweine und Hühner) ersetzt, und nicht mehr für die Fütterung benötigtes Grasland wurde extensiv bewirtschaftet. Das extensive Grünland wurde von Pferden beweidet, die mit dieser Qualität von Gras zurechtkommen. Das Futter für die Monogastrier wurde von ausserhalb der Stadtgrenze importiert. Das treibende Element in diesem Szenario ist der landwirtschaftliche Nährstoffbedarf, der nicht mehr von Wiederkäuern durch ihre Hofdünger gedeckt wird. Soll die gleiche Menge Hofdünger weiterhin produziert werden, erfordert dies eine 100-fach grössere Schweineproduktion als die gegenwärtige, welche bei 80 Schweinen liegt. Dies wäre im Stadtgebiet nur in grösseren geschlossenen Ställen möglich. Ausgedrückt in GVE, ist die Gesamt-Tierhaltungsintensität um etwa 20% tiefer als im IST-Zustand.

Anpassungen im Ackerbau

Des Weiteren wurde die Maissilage durch Hafer zur Pferdefütterung und/oder für die direkte menschliche Ernährung ersetzt.

Verstärkte Stroheinarbeitung

Da Monogastrier im Allgemeinen weniger Stroh benötigen als Wiederkäuer, ermöglicht dieses Szenario auch eine verstärkte Einarbeitung von Stroh in den Boden.

Erhöhung Anzahl Hochstammbäume

Weil das Grünland nicht mehr intensiv genutzt wird, werden die Hochstammbäume darauf um 50% erhöht. Diese Bäume speichern während des Wachstums Kohlenstoff, produzieren Früchte und können am Ende ihrer Lebenszeit für die Pflanzenkohlenproduktion verwertet werden. Fruchterträge sowie die interne Pflanzenkohlenproduktion wurden in der Modellierung dieser Studie nicht berücksichtigt.

Alle Eigenschaften des Szenario Basic sind auch im Szenario 3 integriert.

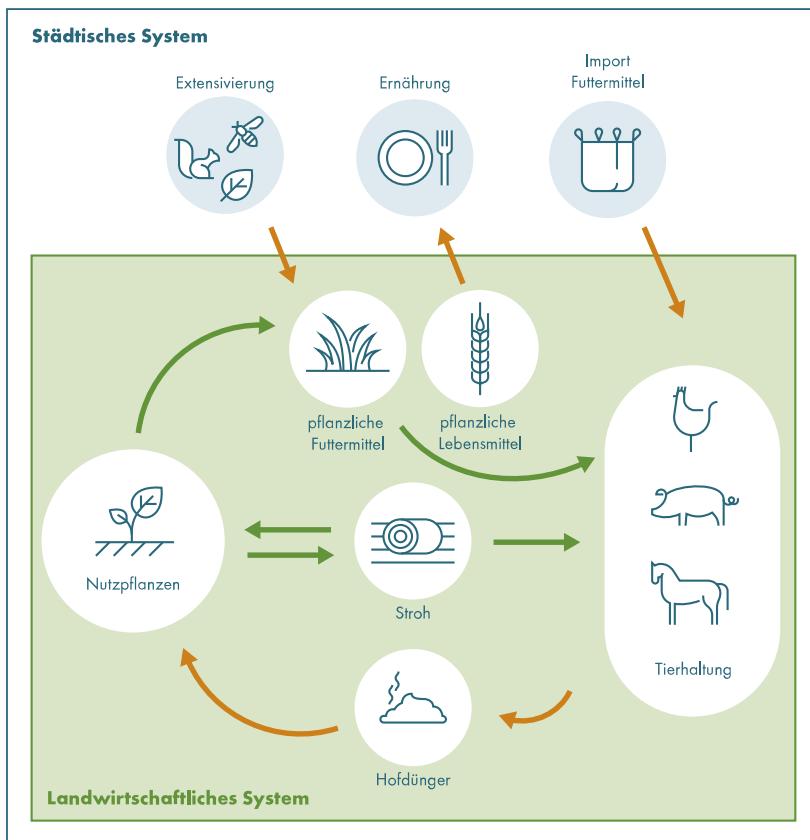


Abbildung 5 : Szenario 3 (Extensivierung): Visualisierung der Nährstoffflüsse und Elemente. Die Haupttreiber im Szenario sind mit orangefarbenen Pfeilen dargestellt.

Szenario 4: Zirkuläre Stadt – Ersatz der Wiederkäuer durch eine Biogasanlage

Im Szenario Zirkuläre Stadt (ZKS) werden eine nutztierlose Landwirtschaft und alternative Nutzungsweisen für die Nährstoffe im Grünland modelliert.

Anpassungen in der Tierhaltung

Wiederkäuer wurden in diesem Szenario entfernt, aber die wenigen Monogastrier und Pferde wurden wie im IST beibehalten.

Nährstoffe aus der Biogasanlage

In diesem Szenario wurde die Funktion des Kuhmagens durch eine Biogasanlage ersetzt (Abbildung 6). Das bedeutet, dass das Grünland und die Kunstmiesen weiterhin wie im IST-Zustand bewirtschaftet und gedüngt wurden. Statt das Futter an Wiederkäuer zu verfüttern, wird Grassilage hergestellt und zur städtischen Biogasanlage gebracht. Dieses Szenario funktioniert unter der Annahme, dass die aktuelle Biogasanlage genügend Kapazität hat und ausreichend andere Materialien aus dem städtischen Abfall erhält, um effizient betrieben werden zu können. Die Gärreste aus der Biogasanlage

werden dann als Nährstoffe auf die Ackerflächen zurückgeführt. Die Gärreste ersetzen den fehlenden Hofdünger. Es wird auch angenommen, dass diese Biogasanlage ausreichend Gärreste produziert, um die landwirtschaftlichen Flächen der Stadt Zürich zu düngen.

Anpassungen im Ackerbau

Anstelle von Mais für Maissilage wurde Gemüse zur direkten menschlichen Ernährung angepflanzt.

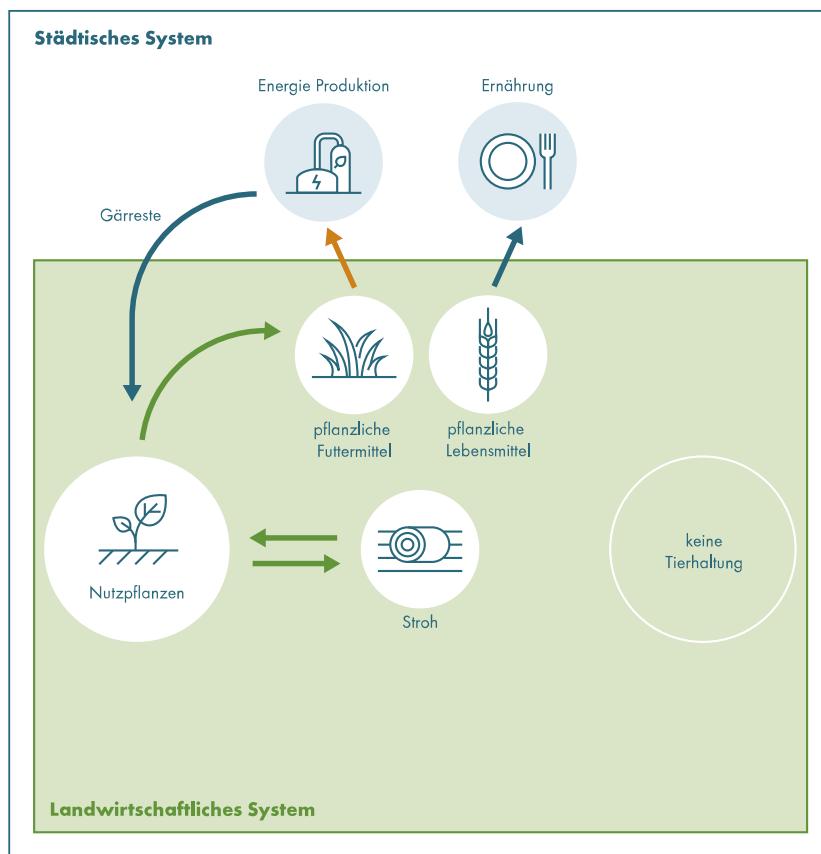


Abbildung 6: Szenario 4 (Zirkuläre Stadt): Visualisierung der Nährstoffflüsse und Elemente. Die Haupttreiber im Szenario sind mit orangefarbenen Pfeilen dargestellt.

Alle anderen Eigenschaften des Szenario Basic sind auch im Szenario 4 integriert.

3.5.3 Landnutzung und Tierbestand

Die Grösse des Betriebes gemessen an der landwirtschaftlichen Fläche bleibt im aggregierten Betrieb in allen Szenarien dieselbe, aber die Landnutzung verändert sich (Abbildung 7). Bei Szenario Basic ist hauptsächlich der gestiegerte Bio-Anteil zu nennen, der als Grundlage für die folgenden Szenarien beibehalten wird (z.B. Weizen bio). Bei den Szenarien FNF und ZKS wurde mehr Gemüseanbau anstatt der Maissilage modelliert. Im Szenario Extensivierung hingegen wurde die Silage durch Hafer ersetzt,

der als Futter für die gestiegene Anzahl an Pensionspferden verwendet werden kann (Abbildung 8).

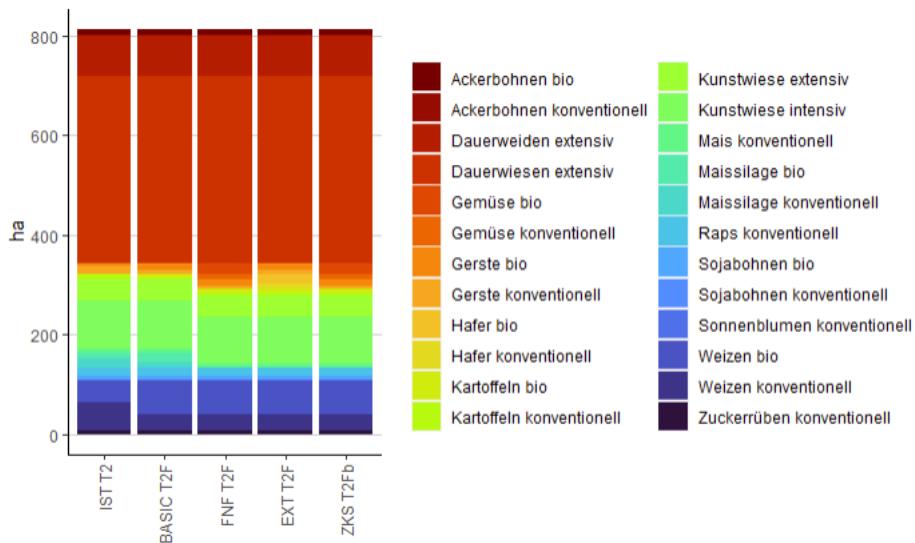


Abbildung 7: Flächenverteilung (in ha) von angebauten Kulturen im aggregierten Betrieb in den verschiedenen Szenarien

Abbildung 8 zeigt die Veränderungen in den Tierzahlen für jede Tierart in GVE in den verschiedenen Szenarien. Im Szenario Basic wurden keine Änderungen im Tierbestand modelliert. Im Szenario Feed no Food fallen alle Mutterkühe, Legehennen und Schweine weg, während Schafe und Ziegen sowie Milchkühe inklusive der anfallenden Mastrinder stark steigen. Es ist das Szenario mit den meisten GVE.

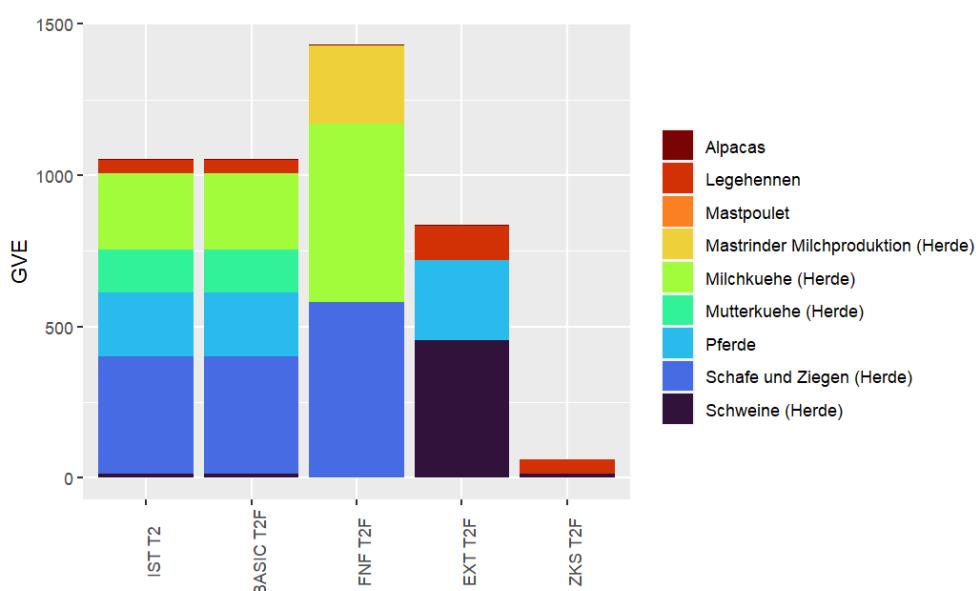


Abbildung 8: GVE pro Tierart in den verschiedenen Szenarien, die Bezeichnung 'Herde' deutet darauf hin, dass die gesamte Herde abgebildet ist, einschliesslich der Remonten bei Wiederkäuer und Masttiere bei Schweinen.

Im Szenario Extensivierung ist besonders die hohe Schweineanzahl auffallend. Gefolgt wird diese Nutztierart von den Pferden und den Legehennen. Insgesamt sinkt die Zahl der GVE im Vergleich zum IST-Zustand. Letztlich bleiben im Szenario Zirkuläre Stadt nur wenige Legehennen und Schweine erhalten, welche keine wirtschaftliche Relevanz haben.

Im Anhang 10.1 findet sich eine detaillierte Übersicht über die Interventionen und Zahlen zu den einzelnen Szenarien.

3.6 Weitere Indikatoren

Neben der Bewertung der THG-Emissionen gibt es eine Vielzahl weiterer Indikatoren, die für eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung eines Ernährungssystems betrachtet werden können. Aufgrund dessen wurden auch in dieser Studie weitere Aspekte (teils qualitativ) beleuchtet. Die ökonomischen Aspekte wurden innerhalb des FarmLCA-Tools quantifiziert, während Aspekte der Klimaresilienz, Biodiversität, der Beitrag zum lokalen und nachhaltigen Ernährungssystem, Landschaftsbild sowie Zirkularität anhand von Literaturrecherchen qualitativ beurteilt wurden.

3.6.1 Zirkularität

Der Grad an Zirkularität im System wird in dieser Studie an der Herkunft der Düngemittel gemessen. Gärgülle aus der städtischen Biogasanlage, sowie Hofdünger, die nicht von importiertem Futter stammen, tragen zur Zirkularität bei. Nicht zirkulär sind hingegen Nährstoffe, die von ausserhalb der Stadt stammen, was für chemisch-synthetische Dünger immer der Fall ist sowie für Hofdünger, die von Betrieben ausserhalb der Stadt geholt werden. Auch müssen Hofdünger von Tieren, die mit importierten Futtermitteln gefüttert werden, dazu gerechnet werden. Die einzelnen Düngemittel werden in Tonnen Stickstoff pro Szenario gemessen (t N).

3.6.2 Beitrag zum lokalen und nachhaltigen Ernährungssystem

Laut aktuellen Studien zu einer ausgeglichenen und gesunden Ernährung sollte in der Schweiz deutlich weniger Zucker und mehr Gemüse konsumiert werden (Frehner et al., 2022). Andere Studien heben auch die Rolle der tierischen Produkte in der Ernährung hervor und betonen, dass bis zu 30% des Kalorienbedarfs durch solche Produkte gedeckt werden sollte, um die Zufuhr aller nötigen Nährstoffe zu garantieren (Stanton, 2024). Es ist jedoch auch unbestritten, dass der übermässige Konsum gesundheitsschädlich ist.

Die städtische Produktion kann nur einen kleinen Teil des Lebensmittelbedarfs der Stadt abdecken. Dennoch trägt die vielseitige landwirtschaftliche Produktion der Stadt zum lokalen Ernährungssystem bei. Die Bereitstellung von Gemüse und Obst sowie tierischer Produkte fördert eine gesunde Ernährung mit lokalen Lebensmitteln.

In einem nachhaltigen Ernährungssystem, in dem die Produktion für die menschliche Ernährung maximiert und somit der Anbau von Futter für Tiere minimiert wird, ist die Proteinproduktion für die menschliche Ernährung oft ein limitierender Faktor (van Zanten et al., 2023). Die Szenarien können also daraufhin verglichen werden, wie viel Protein sie für die menschliche Ernährung zur Verfügung stellen.

3.6.3 Fossiler Energieverbrauch

Obwohl der Anteil des Energieverbrauchs der Landwirtschaft einen kleinen Teil des gesamtschweizerischen Verbrauchs ausmacht (2%), ist der Anteil nicht-erneuerbarer Energiequellen beträchtlich (sowohl beim direkten als auch indirekten Energieverbrauch) (BLW, 2017). Deshalb ist es entscheidend zu verstehen, wo dieser Energieverbrauch anfällt und wie er effektiv reduziert werden kann. Dieser Indikator wurde im FarmLCA Modell, wie in Kapitel 3.2.1 erläutert, quantifiziert.

3.6.4 Einkommenswirkung - Deckungsbeitragsrechnung

Um die Massnahmen und Szenarien finanziell zu beurteilen, wurde eine vereinfachte Deckungsbeitragsrechnung durchgeführt. Dabei wurde der Deckungsbeitragskatalog 2022 von Agridea (AGRIDEA, 2022) als Vorlage verwendet. Der IST-Zustand wurde als Ausgangspunkt für die Vergleiche mit den Szenarien gewählt und somit mit dem Wert (CHF) 0 versehen. Die Kostenschätzungen beziehen sich dann auf die entgangenen oder gewonnenen Einnahmen durch die Umsetzung der verschiedenen Interventionspakete und erlauben so die Beurteilung der Veränderungen im Vergleich zur Situation im Ausgangszustand. Als Rechnungsbasis wurde der Deckungsbeitrag ohne Beiträge und Direktzahlungen gewählt, weil letztere in Anbetracht von umgesetzten Interventionen potenziell angepasst werden könnten. Der Deckungsbeitrag ohne Direktzahlungen zeigt somit die reellen ökonomischen Kosten, welche von den Betrieben getragen werden müssten.

Der Deckungsbeitrag basiert im Ackerbau auf dem Ertragseinkommen abzüglich der anfallenden Direktkosten (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutz, Maschinenkosten und Zertifizierungskosten). Bei der Tierhaltung besteht der Ertrag aus der Leistung (Milch, Eier, abgegebene Tiere, Masttiere). Davon abgezogen werden Remontierungskosten, Futtermittel, Tiergesundheitskosten und Einstreu.

Die Liste der verwendeten Kulturen und Nutztiere aus dem Deckungsbeitragskatalog befindet sich im Anhang 10.3.

Einzig beim Preis für die Pflanzenkohle wurde kein Deckungsbeitrag verwendet. Pro Tonne Pflanzenkohle wurde ein Preis von 850 CHF angenommen. Die Preisspanne für Pflanzenkohle kann je nach Marktlage und Qualität stark variieren (Campion et al., 2023). Schmidt et al. (2021) schlagen für die Schweiz einen Preis zwischen 600-800 CHF vor. Nach einer Online-Recherche sowie Kostenübersicht der bereits verwendeten Pflanzenkohle bei Pilotbetrieb 5, bei dem die Preise deutlich über 1 000 CHF lagen, wurde mit 850 CHF schliesslich eine konservative Annahme getroffen.

Aufgrund der groben Berechnungsweise sind die Resultate als rein indikativ zu betrachten. Das Ziel war eine generelle Abschätzung eines Kostentrends pro Szenario oder Intervention, jedoch keine betriebsspezifische Berechnung. Deshalb wurden nur Standardwerte für die Schweiz verwendet und nicht betriebseigene. Der Deckungsbeitrag kann bei kleineren Interventionen als relativ gute Einschätzung gesehen werden, weniger jedoch bei grösseren, strukturellen Interventionen. Bei signifikanten Umstellungen der Betriebe (z.B. Umstellung von Mutterkühen auf Milchkühe, Spezialisierung in Pferdepensionshaltung oder Ersetzen von Futtermais durch Gemüseanbau) wurden benötigte Infrastruktur oder Personalinvestitionen nicht berücksichtigt. Deshalb können die Kostenschätzungen im besten Fall als konservativ gesehen werden und sie decken die variablen Kosten besser ab als die evtl. anfallenden grossen Fixkosten. Die reellen Kosten der Interventionen wären sehr wahrscheinlich höher.

3.6.5 Klimaresilienz

Die klimatischen Veränderungen führen zu einer Zunahme extremer Wetterereignisse wie längere Trockenzeiten, aber auch verstärkte Niederschläge und Stürme. Die Resilienz, also die Fähigkeit, nur wenig von solchen Ereignissen beeinflusst zu werden, bzw. sich schnell von den allfälligen Schäden solcher Klimaschocks erholen zu können, ist ein zentraler Aspekt der Nachhaltigkeit eines Betriebs.

Es gibt drei Hauptstrategien zur Steigerung der Resilienz in der Landwirtschaft (Meuwissen et al., 2019): Erstens die Robustheit, die sicherstellt, dass die bestehenden Systeme und Praktiken widerstandsfähig gegenüber Klimaveränderungen sind. Zweitens die Anpassungsfähigkeit, die es den Landwirt*innen ermöglicht, flexibel auf unerwartete Ereignisse zu reagieren und ihre Praktiken anzupassen, um den neuen Gegebenheiten gerecht zu werden. Flexibilität und Vielfalt an landwirtschaftlichen Aktivitäten spielen dabei eine Schlüsselrolle bei der Steigerung dieser Anpassungsfähigkeit. Und drittens die Möglichkeit zur Transformation. In einigen Fällen kann das bedeuten, die Landwirtschaft aufzugeben und sich auf völlig neue Aktivitäten zu konzentrieren.

Um die Resilienz in den verschiedenen Szenarien zu vergleichen, werden die verschiedenen Massnahmen auf ihre Robustheit und Anpassungsfähigkeit im Falle eines die Produktion beeinträchtigenden Klimaschocks qualitativ verglichen.

3.6.6 Biodiversität

Bis heute besteht in der Ökobilanzierung kein universell anerkannter Indikator, der die Biodiversität in der Landwirtschaft beurteilen kann. Darum wird Biodiversität in dieser Studie nur qualitativ bewertet. Die verschiedenen Klimamassnahmen, die einen Einfluss auf die Biodiversität haben können, werden analysiert und qualitativ bewertet.

3.6.7 Landschaftsbild

Wenn sich die Landwirtschaft verändert, beeinflusst dies auch das Landschaftsbild. Drei Klimamassnahmen, die in dieser Studie qualitativ besprochen werden, verursachen Landschaftsveränderungen.

Erstens benötigen erneuerbare Energien wie Solarzellen oder Windräder zusätzlichen Platz, was zu einer veränderten Infrastruktur in der Landschaft führen kann, die möglicherweise nicht als ästhetisch empfunden wird (Ioannidis and Koutsoyiannis, 2020).

Zweitens kann eine veränderte Landnutzung, insbesondere mit mehr Bäumen und Agroforstsystemen, das visuelle Erscheinungsbild beeinflussen und an bestimmten Orten die Aussicht beeinträchtigen. Regulierungen sind oft notwendig, um solche Veränderungen zu steuern. Wenn die Förderung von Agroforst oder erneuerbaren Energien in Zürich in Betracht gezogen wird, sollten die Landnutzungspläne entsprechend überprüft und angepasst werden. Jedoch wurde auch gezeigt, dass Streuobstwiesen in der Gesellschaft als positiv für das Landschaftsbild wahrgenommen werden, weshalb sie trotz der oft fehlenden oder geringer Wirtschaftlichkeit erhalten bleiben sollten (Herzog, 1998).

Letztens zeigen Studien vermehrt, dass auch die Anwesenheit von Weidetieren, besonders in städtischen Umgebungen, einen attraktiven Landschaftsfaktor für Besucher*innen darstellt (Davis, 2021; Goliński et al., 2012).

4. Resultate der Modellierung – Aggrigerter Betrieb

Sofern nicht explizit anders erwähnt, beziehen sich die folgenden Resultate und Grafiken immer auf ein einzelnes modelliertes Jahr 2021.

4.1 IST-Zustand: Aggrigerter Betrieb

Der aggregierte Betrieb erstreckt sich über eine Fläche von 812 Hektar und besteht zu drei Viertel aus Dauer- und Kunswiesen (siehe Tabelle 1). Etwa ein Drittel der Fläche wird für Ackerbauzwecke genutzt, um Lebensmittel und Futtermittel zu produzieren. Ein Drittel dieser Ackerfläche ist biologisch zertifiziert. Im IST-Zustand ist Weizen die vorherrschende Ackerfrucht.

Tabelle 1 Flächen der verschiedenen Landnutzungstypen und Kulturen im aggregierten Betrieb Zürich für das Jahr 2021.

Kultur	Fläche (ha)
Ackerbohnen bio	9.6
Ackerbohnen konventionell	3.3
Dauerweiden extensiv	80.6
Dauerwiesen extensiv	375.7
Gerste bio	14.0
Gerste konventionell	7.0

Kartoffeln bio	7.9
Kartoffeln konventionell	4.0
Kunstwiese extensiv	43.4
Kunstwiese intensiv	95.3
Mais konventionell	7.8
Maissilage bio	21.1
Maissilage konventionell	10.5
Raps konventionell	16.0
Sojabohnen bio	6.3
Sojabohnen konventionell	1.7
Sonnenblumen konventionell	2.5
Weizen bio	65.5
Weizen konventionell	32.8
Zuckerrüben konventionell	7.7

4.2 THG-Emissionen

4.2.1 Emissionen des aggregierten Betriebs

Die Übersicht in Abbildung 9 zeigt die gesamten THG-Emissionen des aggregierten Betriebs mit und ohne Bodenkohlenstoff (T2 resp. T0). Die Emissionen werden pro Szenario und Emissionsquelle (farblich) dargestellt. Dabei werden sowohl die positiven als auch die negativen (d.h. CO₂ Senken) Emissionen angezeigt. Separate Grafiken mit den Senken und Emissionen aus der Landwirtschaft finden sich in Anhang (10.5.5). In Abbildung 10 werden die summierten Nettoemissionen pro Szenario gezeigt. Es ist darin nicht mehr zu erkennen, welche Quellen genau zur Gesamtumweltwirkung beigetragen haben, dies kann aber von Abbildung 9 abgeleitet werden. Abbildung 11 zeigt die Emissionen die auf Acker und Grünland anfallen, um Biomasse zu produzieren. Die Emissionen der Tiere selbst sind in dieser Darstellung nicht enthalten.

Der grösste Anteil der Emissionen stammt aus der Tierhaltung (gelb). Obwohl der Ackerbau den Hofdünger aus der Tierhaltung erhält, werden die gesamten Emissionen der Tierhaltung angerechnet. Dies deshalb, da der Hofdünger als Nebenprodukt der Tierhaltung und somit als "emissionsfrei" für den Pflanzenbau behandelt wird. Die Emissionen aus dem betriebseigenen Anbau von Futtermitteln und Einstreu werden separat von anderen Emissionen aus dem Pflanzenbau gezeigt (Türkis). Diese beinhalten Maissilage, Gras aus Kunstwiese und Grünland, sowie das Stroh aus der Getreideproduktion. Die Emissionen aus dem Acker- und Grünland werden den Tieren angerechnet, wenn sie sich von diesen Futterquellen ernähren. Diese Emissionen würden jedoch weiterhin anfallen, falls es keine Tiere in der Stadt gäbe, die Futtermittel jedoch weiterhin produziert und exportiert würden.

Keines der Szenarien ist ohne die Berücksichtigung der Bodenspeicherung klimaneutral, und selbst mit der kurzfristigen Speicherung im Boden ist dies nur bei der Zirkulären

Stadt der Fall (Abbildung 10). Auch spielt die Verwendung von Pflanzenkohle eine wichtige Rolle bei der langfristigen Kompensation der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft (Abbildung 9, grau). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Landwirtschaft diese Kompensation nur dann anrechnen darf, wenn die entsprechende Senkenleistung nicht auch in Form von CO₂-Zertifikaten auf dem Kohlenstoffmarkt verkauft, bzw. sonst, z.B. intern mit anderen Emissionen der Stadt verrechnet wird.

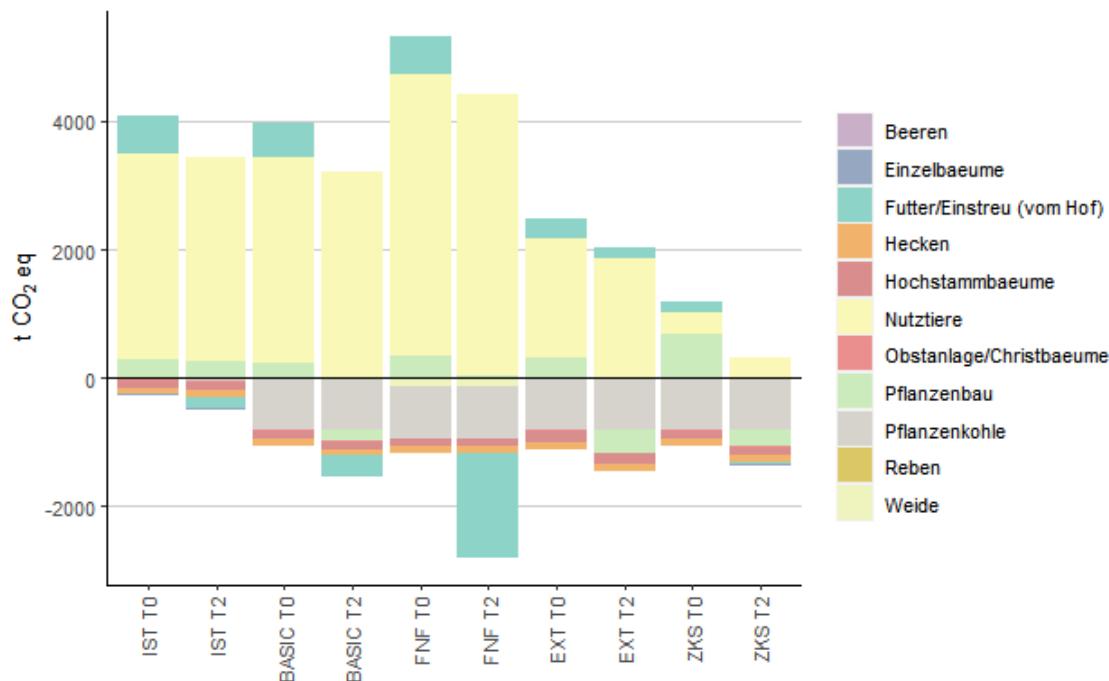


Abbildung 9: THG-Emissionen für jedes Szenario werden sowohl mit (T2) als auch ohne Bodenspeicherung (T0) (inkl. kurzfristiger Speicherung) dargestellt. Die Emissionen werden nach ihrer Herkunft oder Speicherung aufgeschlüsselt.

Im T0 sind der Pflanzenbau (grün) und der Teil, der als Futter und Einstreu für die Tiere angebaut wird (türkis), immer emissionsbehaftet. Diese Emissionen werden jedoch im IST-Zustand (T2) durch die kurzfristige Kohlenstoffspeicherung im Boden kompensiert. In diesem Fall bleibt der Pflanzenbau zwar emissionsbehaftet, aber der Futteranbau, besonders durch Kunstwiesen (siehe Absatz 4.2.2), wird zu einem kurzfristigen Speicher. Das bedeutet, dass der Futterbau so viel Kohlenstoff kurzfristig im Boden speichert, dass sämtliche Feldemissionen überkompensiert werden. Dazu zählen zum Beispiel N₂O-Emissionen aus der Düngung.

Erst durch die Methoden der konservierenden Landwirtschaft (in allen Szenarien) kann auf dem Ackerland kurzfristig mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert werden, als Feldemissionen (CO_{2eq}) durch die Düngung, Bodenbearbeitung und Ernte usw. entstehen, was der kurzfristige Speicher im Pflanzenbau erklärt.

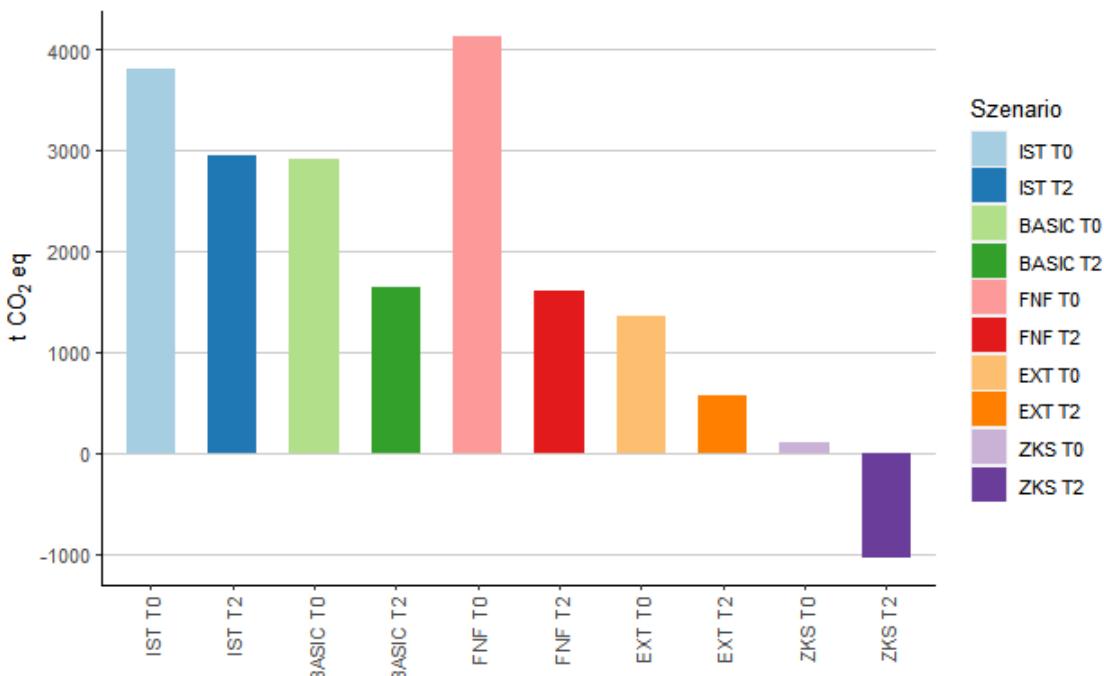


Abbildung 10: Netto-Gesamtemissionen von Treibhausgasen (THG) unter Berücksichtigung der kurzfristigen Kohlenstoff Speicherung von Biomasse, einschliesslich Hecken, Bäumen und Reben sowie Pflanzenkohle.

Im Folgenden wird vertieft auf wichtige Ergebnisse aus den einzelnen Szenarien eingegangen.

4.2.1.1 Basic

Im Szenario Basic werden Interventionen, die einen Fokus auf die Anreicherung von Kohlenstoff im Boden haben, modelliert. Da im T0 die kurzfristige Speicherung im Boden nicht angerechnet wird, kann der Unterschied zu IST T0 durch die erhöhte Biofläche sowie dem Einsatz von Pflanzenkohle (grau) erklärt werden, was eine Reduktion von 21.5% der Nettoemissionen ermöglicht.

Die Auswirkung der konservierenden Landwirtschaft wird erst im T2, wo die kurzfristige Kohlenstoffdynamik im Boden mitgerechnet wird, ersichtlich. Die modellierten Praktiken der konservierenden Landwirtschaft – weniger Pflügen, mehr Untersetzung und Gründüngungen – zeigen, dass Futterbau und Pflanzenbau zum kurzfristigen Kohlenstoffspeicher beitragen können. Damit sinken die Nettoemissionen im Szenario Basic T2 im Vergleich zum IST T2 um 44%.

4.2.1.2 Feed no Food

Im Szenario Feed no Food, bei dem so viele Wiederkäuer gehalten werden wie auch ausschliesslich vom Grünland gefüttert werden können, wird am meisten Kohlenstoff kurzfristig im Boden gespeichert. Während die T0 Berechnung um 5% höhere THG-

Emissionen durch die höhere Anzahl an Wiederkäuer im Vergleich zum IST Zustand aufzeigt, kompensiert die kurzfristige Speicherung im Boden (T2) einen grossen Teil davon. Die THG-Emissionen sind um nahezu 37% geringer als im IST Zustand. Dies beruht vor allem auf dem Grünland dank der modellierten Umtriebsweide (Abbildung 13). Aus dieser Perspektive könnten mehr Kühe gehalten, und trotzdem die Nettoemissionen gesenkt werden. Trotzdem bleibt das Feed no Food Szenario innerhalb der Szenarien das mit den höchsten Gesamtemissionen in der jeweiligen Rechenmethode (T0 oder T2). Dies beruht auf der hohen Wiederkäuerzahl und den damit verbundenen Methanemissionen.

Bemerkenswert ist dennoch, dass die THG-Emissionen pro Wiederkäuereinheit (GVE) verglichen mit dem IST Zustand reduziert wurden (Abbildung 12). Dies ist auf eine optimale Grünlandnutzung mit Zweinutzungsrassen, eine grasbasierte Fütterung und verlängerte Nutzungsdauer zurückzuführen.

4.2.1.3 Extensivierung

Beim Szenario Extensivierung, bei dem die Wiederkäuer durch Monogastrier ersetzt werden, sticht vor allem der emissionsreduzierende Effekt der fehlenden Wiederkäuer hervor. Das Szenario verursacht um 66% (T0) und 75% (T2) geringere Netto-THG Emissionen im Vergleich zum IST-Zustand. Neben dem geringen Tierbestand speichern auch die Hochstammbäume weitere 66 t CO_{2eq} pro ha, was in Abbildung 11 ersichtlich ist. Andererseits haben die extensivierten Grünflächen auch Konsequenzen für die Netto-Emissionen: Es wird weniger Biomasse produziert, überirdisch, wie auch unterirdisch als Wurzelmasse. Geringere Graserträge bedeuten auch weniger Wurzeln und somit weniger Kohlenstoffspeicherung. Dies führt dazu, dass der Futterbau im T2 nahezu doppelt so viel emittiert wie im IST T2. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt sind die Emissionen aus dem Futterimport. Die Nettoemissionen aus der Tierhaltung sind um ca. 40% tiefer als im IST-Zustand (für beide T0 und T2). Aufgrund der für die Monogastrier benötigten Futtermittel, welche im Modell importiert werden, steigen jedoch die Emissionen für deren Produktion stark an. Während externe Futtermittel im IST-Zustand noch zwischen 9,5% (T0) und 12% der THG-Emissionen aus der Tierhaltung ausmachten, sind es im Extensivierungsszenario 78% (T0) oder gar 86% (T2). Damit steigt die Abhängigkeit der städtischen Landwirtschaft von Importen und den Fluktuationen der Marktpreise.

4.2.1.4 Zirkuläre Stadt

Im Szenario Zirkuläre Stadt wird die städtische Landwirtschaft nahezu nutztierfrei geführt und das Grass wird in Biogas Anlage gebracht, was sich – zusammen mit den Praktiken aus dem Szenario Basic auf die Emissionen auswirkt. Diese sinken bereits in T0 um 97% auf 110.35 t CO_{2eq} pro Jahr. Mit Einbezug des Bodenkohlenstoffs im T2 würde die städtische Landwirtschaft dann mit einer errechneten kurzfristigen Speicherung von 1 046 t CO_{2eq} pro Jahr klimaneutral und gar mehr Kohlenstoff speichern, als insgesamt emittiert wird.

Die Emissionen des Pflanzenbaus würden im T0 höher ausfallen als in allen anderen Szenarien (grün, Abbildung 10). Dies ist auf eine Verlagerung der Emissionen aus der hofeigenen Futterproduktion und somit aus der Tierhaltung zum Ackerbau zurückzuführen, da das produzierte Gras nicht mehr an die Tiere verfüttert, sondern als Substrat für die Biogasanlage verwendet wird.



Abbildung 11: Die hier dargestellten THG-Emissionen im aggregierten Betrieb pro Jahr beinhalten ausschliesslich Emissionen, die durch das Gras- und Ackerland verursacht werden. Hierbei wird zwischen Ackerland und Grünland unterschieden. Die Emissionen der Tiere sind in dieser Abbildung mit Fokus auf die Emissionen der Landnutzung nicht dargestellt, die Emissionen des Futterbaus jedoch schon.

4.2.2 Emissionen aus dem Ackerland und Grünland

In allen Szenarien ohne Bodenkohlenstoff (T0) bleiben die THG-Emissionen aus dem Acker- und Grünland auf einem ähnlichen Niveau, da die kurzfristige Bodenspeicherung nicht berücksichtigt wird. Die Kulturen mit den höchsten Emissionen sind Mais, Weizen, Zuckerrüben und Gerste im konventionellen Anbau (Abbildung 12). Der grösste Anteil der Emissionen entfällt auf Feldemissionen, vor allem Lachgas (N_2O) aus der Düngung sowie die Herstellung der Dünger. Die Emissionen der Herstellung von Dünger fallen im ökologischen Landbau nicht an, da dieser keine chemisch-synthetischen Düngemittel verwendet.

Die Emissionen aus Dauerwiesen sind generell geringer als diejenigen von Ackerbaukulturen, was darauf zurückzuführen ist, dass keine Bodenbearbeitung

durchgeführt wird. Besonders auf extensivem Grünland fallen zudem die Emissionen aus der Gülleausbringung und dem Pflanzenschutz weg.

Die Ergebnisse mit kurzfristiger Bodenkohlenstoffspeicherung (T2) zeigen, dass Kulturen, bei denen viel Biomasse auf dem Feld verbleibt (wie Mais), auch kurzfristig mehr Bodenkohlenstoff speichern. Dies bedeutet auch, dass Kulturen, die mehr speichern, auch mehr Bodenkohlenstoff verlieren können, da der Grossteil der Biomasse im selben Jahr bereits abgebaut wird. Insgesamt speichern trotzdem alle Szenarien über die gesamte Fruchtfolge mehr Kohlenstoff als im IST-Zustand. Dies ist das Ergebnis einer konservierenden Landwirtschaft, die durch besseres Bodenmanagement den Humuserhalt und -aufbau fördert. Weiter ist zu erkennen, dass im Grünland des Szenario Feed no Food T2 mehr Kohlenstoff gespeichert wird, besonders auf den Dauerwiesen. Das erklärt sich durch die höheren Rückstände, die durch das Weidemanagement auf den Feldern verbleiben.

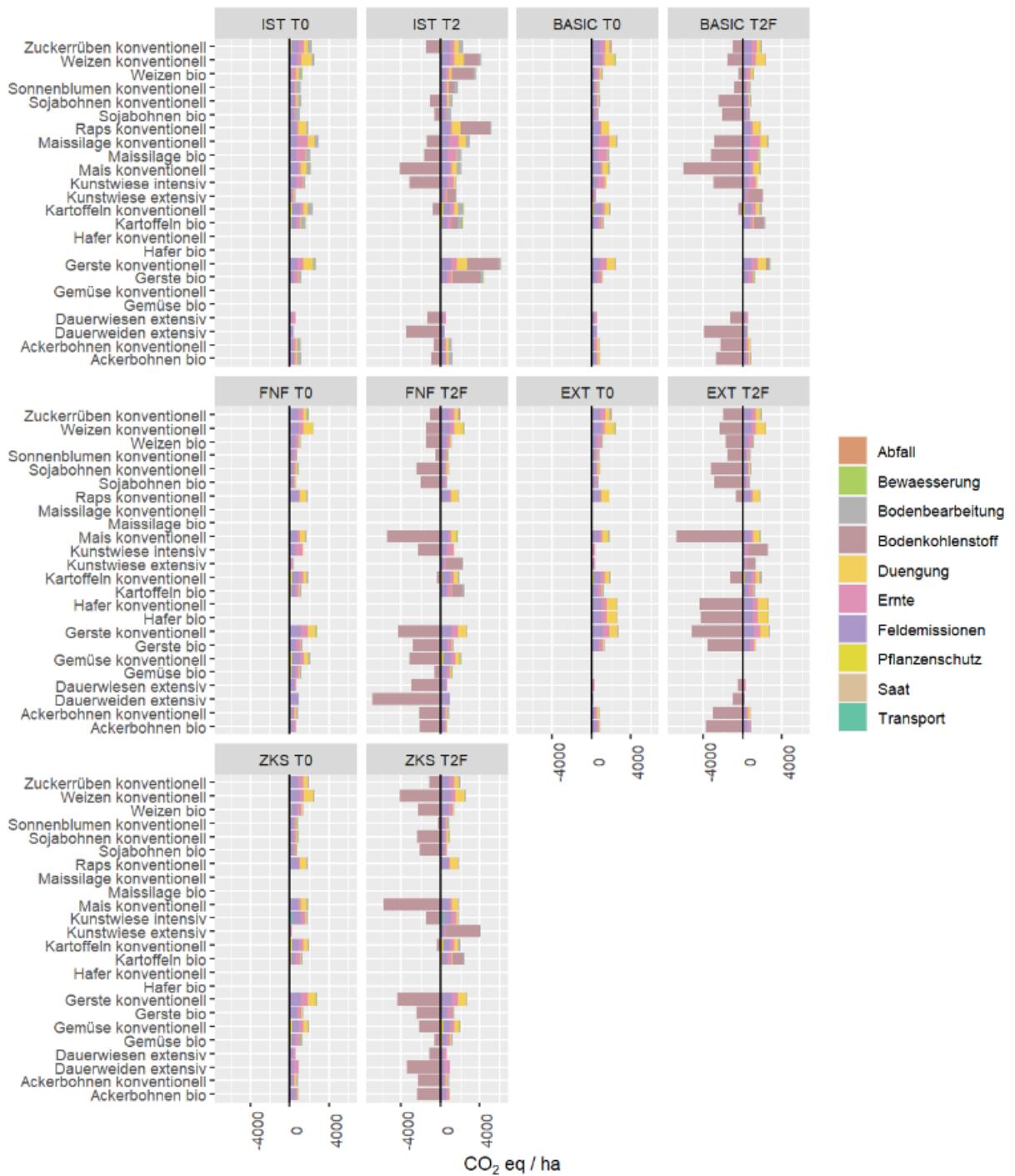


Abbildung 12 : THG-Emissionen pro Hektar nach Kultur und Emissionsquelle.

4.2.3 Emissionen aus der Tierhaltung

Im IST T0 Zustand ist zu sehen, dass Kühe, sowohl Milchkühe als auch Mutterkühe, die höchsten Emissionen verursachen (Abbildung 13). Der Hauptgrund dafür ist die enterische Fermentation, bei der hauptsächlich Methan entsteht. Ein Teil dieser Emissionen kann durch kurzfristige Speicherung im Grünland dank verbessertem Grünlandmanagement kompensiert werden (T2). Allerdings ist diese Kompensation im Vergleich zu den Emissionen der enterischen Fermentation klein.

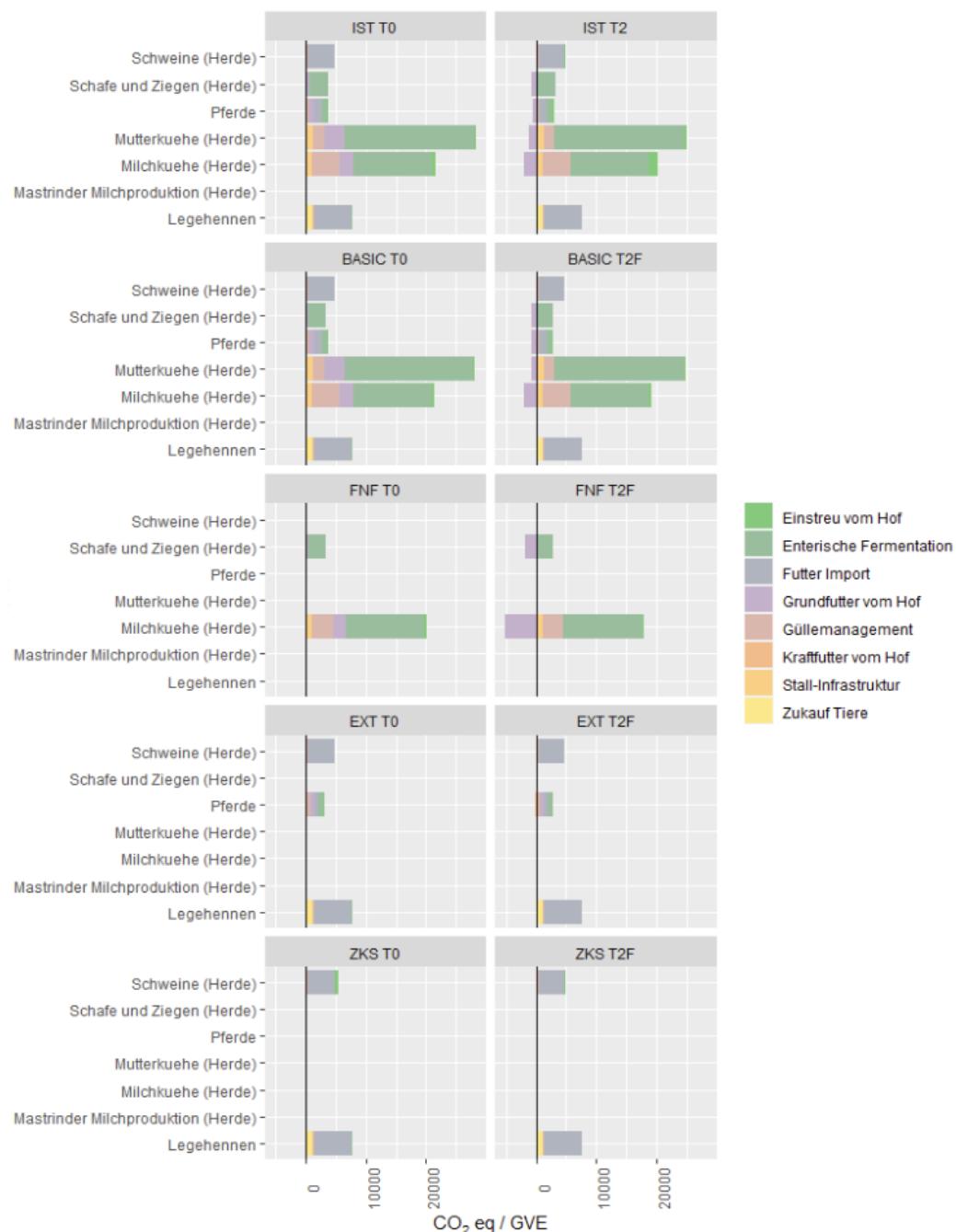


Abbildung 13 : THG-Emissionen nach Tierart und Emissionstyp in Grossvieheinheiten (GVE)

Mutterkühe weisen höhere THG-Emissionen auf als Milchkühe (+31 bis 39,5%), jedoch haben sie geringere Emissionen aus dem Güllemanagement. Dies liegt daran, dass Mutterkühe im Vergleich zu Milchkühen mehr Zeit im Freien auf der Weide verbringen und nicht täglich gemolken werden müssen. Dadurch fällt im Stall weniger Hofdünger an, der gelagert werden muss. Bei der Lagerung entsteht ein grosser Teil der Emissionen der Hofdünger. Milchkühe wiederum benötigen Infrastruktur und verbrauchen Energie fürs Melken, was weitere Umweltwirkungen mit sich bringt.

Die Reduktion der THG-Emissionen (-3,4% in T0) bei den Milchkühen zwischen den Szenarien IST und Feed no Food resultiert aus der Verlängerung der Nutzungsdauer. Die Einsparungen kommen davon, dass weniger Tiere nachgezogen werden müssen, um eine Milchkuh zu ersetzen. Allerdings bedeutet dies auch, dass jedes Jahr mehr Kälber geboren werden, die dann in die Mast gehen, weil sie nicht für die Nachzucht benötigt werden. Durch den Einsatz von Zweinutzungsrassen können diese zusätzlichen Kälber in einem Gras-basierten System aufgezogen werden, wodurch sie Fleisch aus dem Mutterkuhsystem ersetzen können. Im T2 wird dabei auch noch der Effekt des modellierten optimalen Weidemanagements im Szenario Feed no Food sichtbar, wie bereits in Kapitel 4.2.2 erläutert wurde. Fressen die Tiere von diesem Grünland, so werden ihnen diese negativen Emissionen gutgeschrieben.

Die meisten Emissionen bei Schweinen und Hühnern resultieren aus dem Futterimport, und dieser bleibt pro GVE in allen Szenarien konstant, da sich die Annahmen zur Haltung von Schweinen und Hühnern über die verschiedenen Szenarien hinweg nicht verändert haben.

4.2.4 Langfristiger Bodenkohlenstoff

Im Szenario Basic ermöglicht die konservierende Landwirtschaft den Erhalt und den Aufbau von Humus im Ackerbau, was langfristig über einen Zeitraum von 20 Jahren zu einer Speicherung (> 20 Jahre?) von etwa 421 kg CO_{2eq} führt (Abbildung 14).

Im besten Fall, im Szenario Feed no Food, können über einen Zeitraum von 20 Jahren 5 500 kg Kohlenstoff langfristig gespeichert werden. Das entspricht 245 kg pro Jahr, was verschwindend gering ist im Vergleich zu den gesamten THG-Emissionen. In diesem sehr optimistischen Szenario wird zwar kurzfristig eine grosse Menge Kohlenstoff im Grünland gespeichert, die aber langfristig wenig ausmacht, und die Emissionen der Tiere nicht kompensieren kann.

Im Szenario Extensivierung hingegen führen die reduzierten Graserträge und die in Folge auch reduzierten unterirdischen Wurzelmassen zu einem Verlust an Bodenkohlenstoff.

Im Szenario Zirkuläre Stadt speichert das Grünland langfristig weniger Kohlenstoff da mit dem Wegfall des Hofdüngers von den Tieren die Kohlenstoffzufuhr insgesamt reduziert wird. Gärreste können die Nährstoffe aus der Tierhaltung nicht vollständig kompensieren.

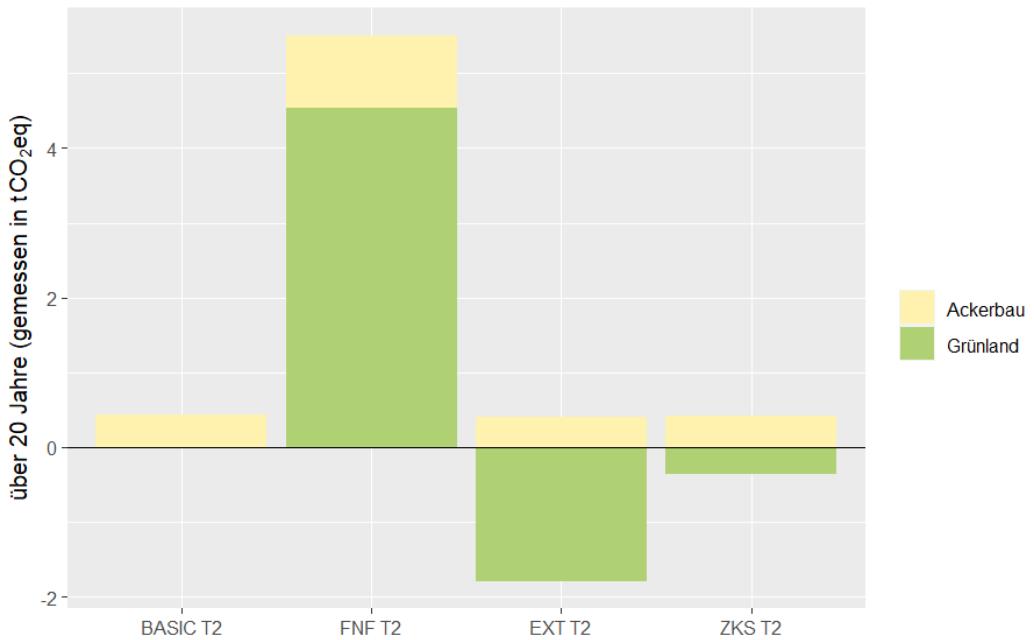


Abbildung 14 : Langfristige Bodenkohlenstoffspeicherung für den gesamten aggregierten Betrieb, berechnet für den Zeitraum von 2020 bis 2040, unter der Annahme, dass das veränderte Management über die 20 Jahre im Vergleich zum IST-Zustand beibehalten wird. Ein positiver Wert bedeutet eine Steigerung im langfristigen Bodenkohlenstoffspeicher, während der negative Wert für Verlust und somit Abbau des gespeicherten Kohlenstoffs steht.

4.3 Zirkularität

Um die Zirkularität in den verschiedenen Szenarien zu analysieren, ist von Interesse, wie viel und welche Dünger in jedem Szenario zur Deckung des Bedarfs von Acker- und Grünland ausgebracht wurden. In allen Szenarien wurden zusätzliche Gründüngungen modelliert, was dazu führt, dass weniger Nährstoffe zugeführt werden müssen. Am wenigsten Nährstoffe werden im Szenario Extensivierung benötigt, da keine Grünflächen mehr gedüngt werden.

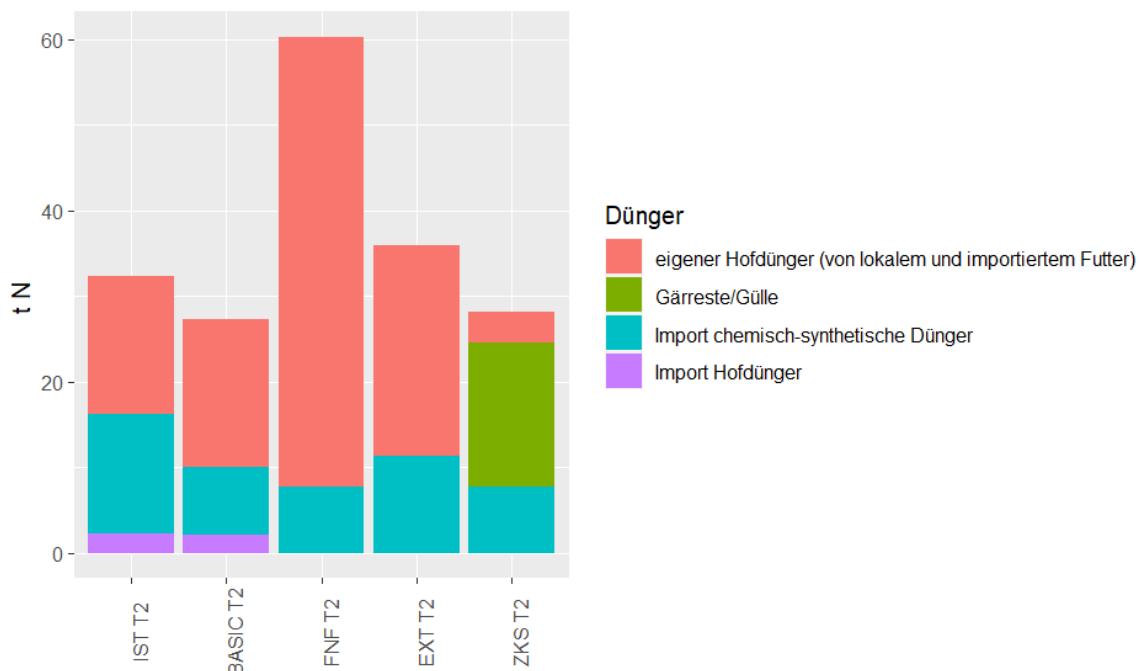


Abbildung 15: Verteilung von Stickstoff in Tonnen N pro Jahr im aggregierten Betrieb für jedes Szenario.

In allen Szenarien wurde der chemisch-synthetische Düngereinsatz verglichen mit dem IST Zustand reduziert (Abbildung 15), da die Bioflächen, auf welchen diese Produkte nicht angewendet werden dürfen, erhöht wurden. Bei konventionellen Flächen wurde der Anteil chemisch-synthetischer Dünger wie im IST- Zustand belassen. Das Szenario Extensivierung stellt eine Ausnahme dar. In diesem wurden auf den konventionellen Flächen ca. 5% mehr chemisch-synthetische Dünger angewendet, um die benötigte Zahl der für die Hofdüngerzufuhr gehaltenen Monogastrier zu reduzieren.

Da das Modell nicht zwischen Hofdünger von Tieren, die mit importiertem Futter gefüttert wurden, und Hofdünger von Tieren, die sich von lokal verfügbaren Futtermitteln ernähren, unterscheiden kann, zeigt Abbildung 16 wie viel Futter jeweils importiert wurde.

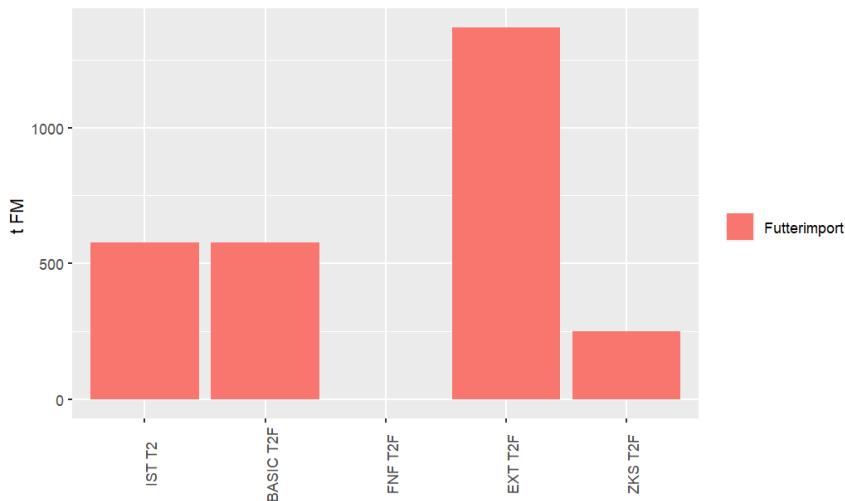


Abbildung 16: Futtermittelimport in Tonne Frischmasse pro Jahr im aggregierten Betrieb für jedes Szenario

Das Szenario Feed no Food ist das Szenario mit dem höchsten Grad an Zirkularität. Es werden kaum Nährstoffe und kein Tierfutter importiert. Zudem werden mehr Nährstoffe verteilt als im IST Zustand, obwohl der Bedarf auch in diesem Szenario vermindert ist. Dieses Änderung erklärt sich durch die zusätzlichen Tiere die für längere Zeit auf der Weide sind und wodurch mehr Hofdünger direkt auf dem Grünland liegen bleibt. Diese erhöhte Ausbringung von Stickstoff auf dem Grünland bleibt jedoch im Rahmen der GRUD-Empfehlungen (Richner et al., 2017) und ist aus Umweltsicht daher nicht problematisch.

4.4 Beitrag zum lokalen und nachhaltigen Ernährungssystem

Die Abbildung 17 und die Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die Nahrungsmittelproduktion pro Szenario, einmal in Tonnen landwirtschaftlicher Produkte (Frischmasse) und einmal in Tonnen Proteine pro Jahr. Es ist erwähnenswert, dass die pflanzliche Produktion in der Stadtlandwirtschaft mehr zur Produktion von Proteinen beiträgt als die tierische Produktion. Als Proteinquellen relevant sind insbesondere Weizen, Soja, Hafer und Gemüse.

Im Szenario Basic wird eine geringere Menge pflanzlicher Produkte produziert, da ein grösserer Teil des Landes für biologische Landwirtschaft genutzt wird und biologische Anbaumethoden in der Regel niedrigere Erträge aufweisen.

In den Szenarien Feed no Food, Zirkuläre Stadt und Extensivierung wurden Flächen, auf denen Mais für Silage angebaut wurde, durch Gemüse- bzw. Haferanbau ersetzt. Dadurch produzieren diese drei Szenarien mehr pflanzliche Produkte und Proteine für die menschliche Ernährung als das Basic-Szenario, und können somit einen höheren Beitrag zum lokalen Ernährungssystem leisten.

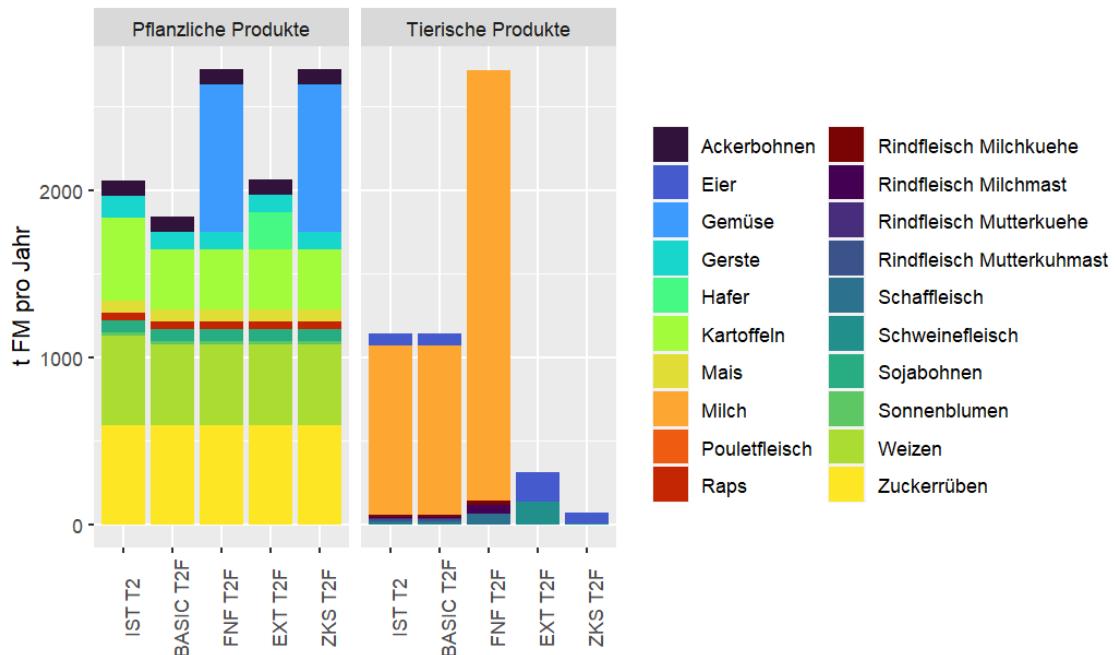


Abbildung 17 : Gesamtproduktion des aggregierten Betriebs für die menschliche Ernährung in Tonnen Frischmasse pro Produkt.

Im Szenario Feed no Food kann die Menge der tierischen Produkte sowie Proteine im Vergleich zum IST-Zustand mehr als verdoppelt werden. Dieser Anstieg ist auf eine grössere Anzahl Tiere sowie auf eine effizientere Grünlandnutzung durch die gekoppelte Milch- und Fleischproduktion von Zweinutzungsrassen zurückzuführen. Dies, obwohl jede Milchkuh aufgrund ihrer 100% grasbasierten Ernährung 5% weniger Milch pro Jahr produziert (Anpassung der Produktion an die Produktion einer Zweinutzungsrasse mit langer Nutzungsdauer aus dem Herdebuch – Nutzungsdauerprojekt am FiBL, noch nicht publiziert). Die längere Nutzungsdauer der Kühe ermöglicht eine höhere Anzahl von Kälbern, die nicht zur Nachzucht genutzt werden. Somit können diese Kälber als Jungtiere für die Fleischerzeugung ausgemästet werden. Dieses Szenario hat den höchsten Beitrag zum lokalen Ernährungssystem.

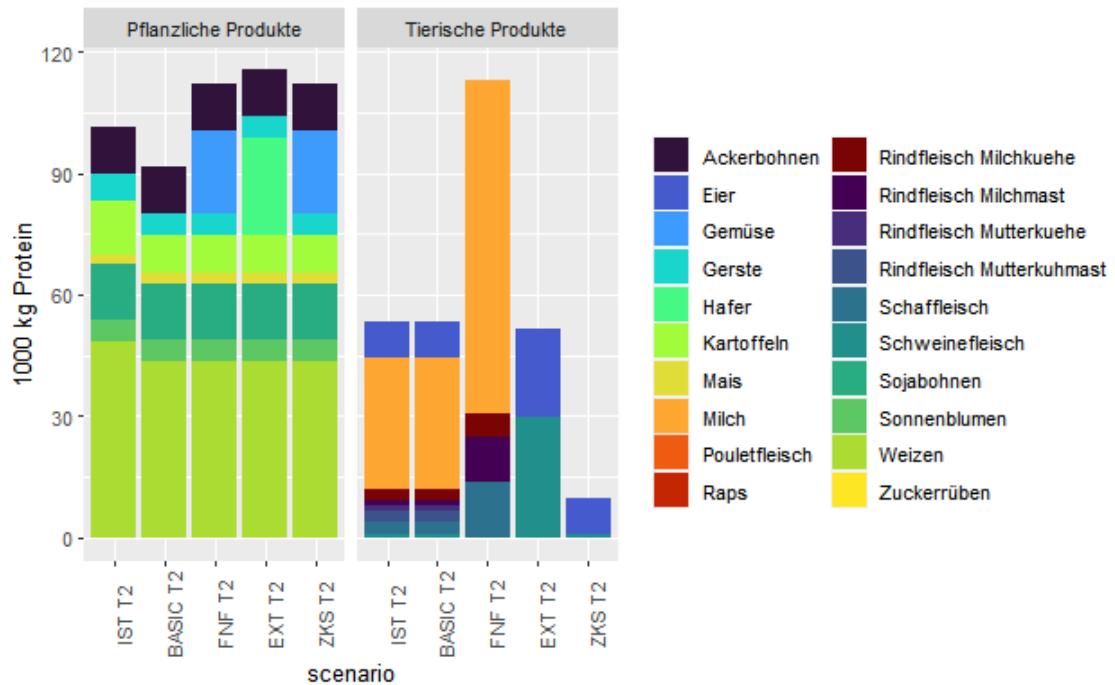


Abbildung 18: Gesamtproduktion des aggregierten Betriebs für menschliche Ernährung in Tonnen Proteine

Im Szenario Extensivierung fällt auf, dass in Tonnen Frischmasse zwar weniger tierische Produkte im Vergleich zum IST-Zustand produziert wurden, aber dennoch fast die gleiche Menge an tierischen Proteinen zur Verfügung steht. Dies ist hauptsächlich auf die Proteindichte der Produkte zurückzuführen. Die Wiederkäuer, welche in diesem Szenario nicht mehr vorhanden sind, haben neben Fleisch vor allem Milch geliefert, welche zum Grossteil aus Wasser besteht. Damit stellt sie zwar eine beträchtliche Menge an Frischmasse dar, aber nur geringe Mengen an Nährstoffen wie Proteine. Werden diese Produkte durch tierische Produkte mit höherer Nährstoffdichte wie Eier oder Schwein- und Hühnerfleisch ersetzt, so steigt die Menge an verfügbaren Proteinen proportional stärker an. Diese Proteine werden jedoch mit importiertem Futter, das direkt in Konkurrenz zur menschlichen Ernährung steht, erzeugt. Darum tragen diese Proteine zwar zum lokalen Ernährungssystem bei, fördern damit aber kein nachhaltiges und zirkuläres Ernährungssystem, wie in dieser Studie definiert.

Im Szenario Zirkuläre Stadt hingegen werden fast alle Tiere aus der Produktion genommen, was zu einer starken Reduktion der tierischen Proteinerzeugung führt. Dieser Proteinabbau wird nur teilweise durch mehr pflanzliche Proteine kompensiert.

4.5 Verbrauch fossiler Energie

Die Abbildung 16 zeigt den Anteil des Verbrauchs fossiler Energie in den einzelnen Szenarien.

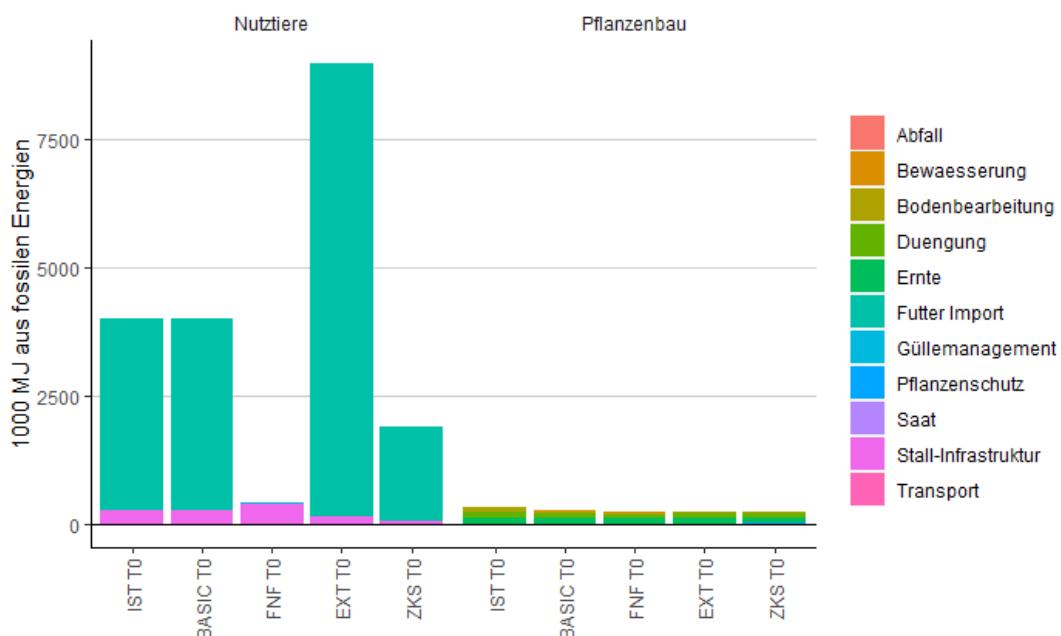


Abbildung 19: Verbrauch fossiler Energie (ohne Infrastruktur) nach Szenario aufgeteilt nach Tierhaltung und Pflanzenbau

Der Hauptteil an fossiler Energie wird für die Haltung von Nutztieren verbraucht. Der grösste Anteil steckt dabei in zugekauften Futtermitteln, aufgrund von deren Transport sowie deren Emissionen im Anbau (Düngemittel, Maschineneinsatz etc.) (Abbildung 19). Diese Abhängigkeit von fossilen Energien ist/war im Szenario Feed no Food am niedrigsten, da keine externen Futtermittel mehr zugekauft werden mussten. Im Szenario Zirkulären Stadt wurden lediglich die Wiederkäuer entfernt, was den Zukauf von Futtermitteln sowie Maschinennutzung etwas reduziert. Im Szenario Extensivierung werden deutlich mehr Monogastrier gehalten, die einen höheren Bedarf an zugekauften Futtermitteln mit sich bringen und somit den fossilen Energieverbrauch mehr als verdoppeln.

Der Pflanzenbau hingegen benötigt deutlich weniger fossile Energien. Die Energie wird hauptsächlich für Maschinen in der Feldarbeit (Säen, Düngen, Pflanzenschutz, Bewässerung und Ernte) benötigt. In der biologischen Landwirtschaft sind in der Regel mehr Feldüberfahrten erforderlich als in der konventionellen Landwirtschaft. Dies ist bedingt durch gängige Methoden der biologischen Landwirtschaft wie die mechanische Unkrautbekämpfung oder nicht-systemische Pflanzenschutzmittel. In allen Szenarien ist der Verbrauch nicht-erneuerbarer Energien geringer als im IST, weil angenommen wurde, dass Elektrofahrzeuge verwendet werden, die den Bedarf fossiler Energie um 40%

reduzieren könnten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass diese Technologien derzeit noch begrenzt verfügbar sind und sich in der Entwicklung befinden.

Zudem ist der Bedarf an fossiler Energie im Pflanzenbau des Szenarios Feed no Food am niedrigsten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Szenario die Tiere vermehrt draussen weiden, wodurch weniger Traktorfahrten auf Kunstmiete und Grünland erforderlich sind, um das Gras zu mähen.

Der Energiebedarf wurde in dieser Studie nur vereinfacht modelliert und berücksichtigt z.B. die Auswirkungen einiger anderer Interventionen nicht. Zum Beispiel wird im Szenario Zirkuläre Stadt zusätzliche Energie, die als Biogas produziert wird, nicht angerechnet. Dabei ist wichtig zu beachten, dass der Transport von Gras zur Biogasanlage und die Ausbringung von Gärgülle auch Energie erfordern. Es gilt abzuklären, ob die zusätzliche Energieproduktion nicht durch den zusätzlichen Transport und die Verteilung der Gärgülle kompensiert wird.

4.6 Einkommenswirkung

Die modellierten Massnahmen verändern die Betriebe teilweise stark. Das kann sowohl den erzeugten Output steigern und somit potenziell mehr Umsatz für den Betrieb generieren, aber auch die Produktivität beeinträchtigen und zu Umsatzverlusten führen. Solche Verluste sind sogenannte «Kosten» der Szenarien. Sie sind eine Abschätzung vom finanziellen Aufwand, der von den Betrieben selbst oder von öffentlicher Hand getragen werden müsste.

Die nach Deckungsbeitrag geschätzten Kosten für die Szenarien für den aggregierten landwirtschaftlichen Betrieb der Stadt Zürich sind in Tabelle 2 dargestellt.

Insgesamt würde jedes Szenario mehr Verluste als Erträge im Vergleich zum IST-Zustand generieren, wobei das Szenario Extensivierung für den Gesamtbetrieb im Vergleich zum aktuellen Zustand nahezu gleichauf liegt. Besonders die erweiterte Fläche an modelliertem Gemüsebau sowie die erhöhte Zahl an Pensionspferden wirken sich hier positiv aus. Die grössten Verluste sind der modellierten reduzierten Wiederkäueranzahl zuzuschreiben. Alle weiteren Szenarien liegen sehr deutlich im negativen Bereich und deren Umsetzung bedürfte signifikanter Investitionen seitens der Betriebe oder der Stadt. Die grob geschätzten Kosten lägen für das Szenario Basic, also weitflächiger Umsetzung von konservierender Landwirtschaft, und für das Szenario Feed no Food zwischen 500 000 und 1 000 000 CHF pro Jahr. Trotz der deutlich erhöhten pflanzlichen und tierischen Produktion, können die höheren Kosten (Kauf von Pflanzenkohle, Reduktion von Mutterkühen und Pensionspferden) nicht selbstständig kompensiert werden.

Weit abgeschlagen hingegen liegt das Szenario der Zirkulären Stadt, in der nahezu keine Tiere mehr modelliert wurden. Kosten von bis zu 3 000 000 CHF pro Jahr auf städtischer Ebene wurden errechnet. Noch nicht mit einbezogen sind potenzielle Einnahmen durch den generierten Strom in der städtischen Biogasanlage. Die Einnahmen wären jedoch bescheiden, da aus Gras nur wenig Energie gewonnen werden kann. Abzuklären ist

dabei jedoch, wem solche Umsätze gutgeschrieben werden würden, da die Biogasanlage nicht direkt den landwirtschaftlichen Betrieben gehört.

Abschliessend muss nochmals betont werden, dass die berechneten Kosten eine grobe Schätzung sind und wichtige betriebswirtschaftliche Komponenten, wie Arbeitskräfte, nicht miteinbeziehen. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten der Szenarien unterschätzt wurden, aber grob einen realen Trend abbilden.

Tabelle 2 Deckungsbeiträge pro Szenario. Die Tabelle zeigt die hinzukommenden und entgangenen Einnahmen in CHF durch Änderungen im Anbau und Tierhaltung nach Deckungsbeitragskatalog 2022. In der letzten Zeile wird die Nettowirkung für den gesamten aggregierten Betrieb der Stadt Zürich pro Szenario aus den Spalten berechnet.

	Kultur/Tier	BASIC T2	EXT T2	FNF T2	ZKS T2
Pflanzen	Gemüsebau (Zwiebeln, Blumenkohl, Broccoli, Fenchel und Sellerie)			248463	248558
	Gemüsebau bio (Zwiebeln, Blumenkohl, Broccoli, Fenchel und Sellerie; Annahme +40%/%/ha im Vergleich zu konventionellem Anbau)			695632	695632
	Gründung Extenso + Bio	-29961	-29961	-29961	-29961
	Kartoffel Grosshandel	-39279	-39279	-39279	-39279
	Kartoffel Grosshandel Extenso + Bio	51003	51003	51003	51003
	Kunstwiese Extenso + Bio		-119912		
	Naturwiese intensiv Extenso + Bio			93588	
	Naturwiese wenig intensiv Extenso + Bio		94271		-79723
	Silomais	-10092	-20536	-20536	-10440
	Silomais Extenso + Bio	37095	-39650	-39650	-75487
	Sommerhafer		7701		
	Sommerhafer Extenso + Bio		36422		
	Tafeläpfel ohne Hagelschutz, Bio		3906		
	Pflanzenkohle	-606254	-606254	-606254	-606254
	Wintergerste	-12432	-12432	-12432	-12432

	Wintergerste Extenso + Bio	29976	29976	29976	29976
	Winterweizen	-37475	-37475	-37475	-37475
	Winterweizen Extenso + Bio	66471	66471	66471	66471
Tiere	Bio-Weide-Beef, 700 g Tageszunahme; SG=290		-23366	477334	-23366
	Legehennen, 2000 Plätze, Freilandhaltung; Bio			-118575	
	Legehennen, 6000 Plätze, weisse BTS/RAUS		72343		
	Milchkuh 6000 kg Silozone; Extenso + Bio		-773280	1159920	-773280
	Mutterkuh; Mastremonten Bio Naturabeef		-195990	-195990	-195990
	Pensionspferd		565404	-2039493	-2039493
	Schafe; Fleischschafe Bio		-143993	73707	-143993
	Schwein; Alleinfutter 700 g Tageszunahme; Bio		80164	-2793	
	Vollmilchmast ohne Milchablieferung, Bio; SG=130		9775*	10465*	8740*
	Zuchtschwein; Alleinfutter Bio		191574	-6606	
	Total	-55094	-833116	-336072	-2854968

* Wegfallender Verlust – Diese Tierkategorie hat einen negativen Deckungsbeitrag. Der Deckungsbeitrag ist also positiv, wenn die Tiere nicht mehr gehalten werden.

4.7 Klimaresilienz

Klimaresilienz wurde anhand der Robustheit und der Anpassungsfähigkeit bei einem Klimaschock qualitativ bewertet.

Das verbesserte Bodenmanagement in allen Szenarien trägt zum Humuserhalt und-Aufbau bei, was die Robustheit erhöht. Durch mehr Humus im Boden wird die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens tendenziell verbessert und Kulturen reagieren weniger empfindlich auf Wetterextreme wie Trockenheit oder Starkregen. (Lal, 2020).

Im Szenario Feed no Food wurden Zweinutzungsrassen eingesetzt. Sie erhöhen die Robustheit des Systems, da diese Rassen oft kräftiger gebaut sind und weniger empfindlich auf die Qualität des Futters reagieren. Auch tragen sie zur Anpassungsfähigkeit bei, da das Herdenmanagement in Bezug auf Milch- und Fleischproduktion flexibler gestaltet werden kann, und zum Beispiel bei Trockenheit Milchkühe zur Fleischproduktion verkauft werden können.

Die Diversität der Produktion ist essentiell für die Anpassungsfähigkeit, bei Klima wie Marktschocks. Die Limitierung landwirtschaftlicher Produktionszweige, sei es durch den Verzicht auf Wiederkäuer (Extensivierung und Zirkulare Stadt) oder weniger Diversität bei den Ackerkulturen (alle Szenarien ausser Basic) könnte die Anpassungsfähigkeit bei Wetterextremen beeinträchtigen. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass im Rahmen des Projekts keine Untersuchungen zu neuen landwirtschaftlichen Kulturen durchgeführt wurden, was das Potenzial zur Steigerung der Anpassungsfähigkeit weiter erhöhen könnte.

Im Szenario Extensivierung mit einer höheren Zahl an Monogastriern sowie im Feed no Food mit mehr Milchkühen muss mehr Infrastruktur bereitgestellt werden. Diese bindet finanzielle Ressourcen, was die Anpassungsfähigkeit des Betriebes beeinträchtigen kann. Die Produktion von Monogastriern zeigt sich oft als robust, insbesondere weil diese Tiere hauptsächlich in überdachten Räumen gehalten werden und ihr Futter importiert wird. Dadurch sind sie weniger von lokalen Wetterextremen abhängig. Im Feed no Food ist es während eines trockenen Sommers schwierig, genügend grasbasiertes Futter zu produzieren. Um dem entgegenzuwirken, wurden in diesem Szenario zusätzlich Weiden am Rande des Grünlandes modelliert. Diese können während einer kurzen Trockenheitsphase als Futter für die Tiere genutzt werden. Dazu kommt noch, dass dieses Raufutter die Methanproduktion der Tiere leicht senken kann (Ramírez-Restrepo et al., 2010).

Zusammenfassend wurden alle Szenarien als klimaresilient-robust eingestuft, hauptsächlich basierend auf der konservierenden Landwirtschaft. Im Szenario Feed no Food wurde diese Robustheit als höher bewertet, aufgrund der widerstandsfähigeren Tiere. Das Szenario Extensivierung zeichnet sich ebenfalls durch eine höhere Robustheit aus, bedingt durch die Stallhaltung der Monogastrier. In allen Szenarien wurde jedoch eine Verringerung der Klimaresilienz aufgrund verminderter Anpassungsfähigkeit wegen der fehlenden Diversität festgestellt. Diese Reduktion der Anpassungsfähigkeit

wurde im Szenario Feed no Food sowie im Szenario Extensivierung als noch gravierender eingestuft, da sie höhere Infrastrukturkosten verursachen. Im Szenario Feed no Food ist jedoch zu beachten, dass die Zweitnutzungsrassen eine erhebliche Anpassungsfähigkeit aufzeigen, da sie flexibel sowohl für Milch- als auch für Fleischproduktion eingesetzt werden können. Dies kompensiert teilweise die Reduktion der Anpassungsfähigkeit, die durch höhere Infrastrukturkosten verursacht wird.

4.8 Biodiversität

Die Zunahme von Bioflächen in allen Szenarien führt zu einer Reduktion des Einsatzes von synthetischen Pflanzenschutzmittel, was sich positiv auf die Biodiversität auswirkt (Cozim-Melges et al., 2024). Weniger synthetische Pflanzenschutzmittel bedeuten weniger negative Auswirkungen auf die natürlichen Lebensräume und die Tierwelt. Dies führt zu einer allgemeinen Verbesserung der Artenvielfalt in der Landwirtschaft (Brühl and Zaller, 2019).

Durch die Implementierung konservierender landwirtschaftlicher Praktiken wie vermehrte Gründüngung und der Anbau von Mischkulturen mit Untersaaten, zeigen alle Szenarien ein erhöhtes Biodiversitätspotential. Es ist erwähnenswert, dass bei der Auswahl der Mischkulturen in der Modellierung auf existierende Marktprodukte zurückgegriffen wurde. Diese zeichnen sich nicht nur durch die Bedeckung des Bodens und die Förderung des Humusaufbaus aus, sondern stellen auch sicher, dass bestäubende Insekten stets blühende Pflanzen auf den Feldern vorfinden können.

Im Szenario Extensivierung wird die Bewirtschaftung des Grünlands in der Landwirtschaft reduziert. Diese Veränderung hat positive Auswirkungen auf die Biodiversität (Herrero-Jáuregui and Oesterheld, 2018). Weniger intensive Beweidung und geringere Häufigkeit des Mähens schaffen mehr Raum und Zeit für Pflanzen und Tiere, um gemäss ihren natürlichen Lebenszyklen wachsen zu können. Dies führt zu einer erhöhten Vielfalt von Pflanzenarten, da verschiedene Pflanzen unter extensiven Bedingungen besser gedeihen können (Herrero-Jáuregui and Oesterheld, 2018). Die gesteigerte Pflanzenvielfalt bietet Nahrung und Lebensraum für eine breitere Palette von Insekten, Vögeln und anderen Tieren.

Zusammenfassend wurde allen Szenarien ein positiver Einfluss auf die Biodiversität beigemessen, wobei der Beitrag im Szenario Extensivierung als der proportional grösste erachtet wurde.

4.9 Landschaftsbild

Obwohl nicht modelliert, kann angenommen werden, dass in allen Szenarien mehr Solarpanele oder Windräder installiert werden. Diese verändern das Landschaftsbild: Ob dies positiv oder negativ ist, wird kontrovers diskutiert (Ioannidis and Koutsoyiannis, 2020) und darum in dieser Studie als neutral bewertet.

Bezüglich der Obstbäume wurde festgestellt, dass diese bereits auf allen Pilotbetrieben zu finden sind und somit schon heute zum Landschaftsbild beitragen. Im Szenario

Extensivierung wurden sie zum Beispiel um 50% erhöht, was einen positiven Effekt auf das Landschaftsbild haben sollte.

Die Anwesenheit von Weidetieren variiert in den Szenarien. Sie verschwinden aus dem Szenario Zirkuläre Stadt, da alle Wiederkäuer aus dem Modell entfernt wurden, im Szenario Feed no Food wurden sie deutlich erhöht und im Szenario Extensivierung teilweise durch Pferde ersetzt.

Daher wurde den Szenarien Feed no Food und Extensivierung ein positiver Einfluss auf das Landschaftsbild zugesprochen, während das Szenario Zirkuläre Stadt als negativ für das Landschaftsbild bewertet wurde.

Die für die Monogastrier benötigten grossen Infrastrukturen (z.B. Hühner- und Schweineställe) beeinflussen das Landschaftsbild negativ.

4.10 Synergien und Konflikte

Die Studie verdeutlicht, dass die Landwirtschaft auf das Netto Null Ziel ausgerichtet werden kann. Je nach Handlungsfeld und Massnahme entstehen dabei Zielkonflikte oder Synergien mit anderen Funktionsbereichen der Landwirtschaft. Um diese zu identifizieren, wurden die oben besprochenen Resultate qualitativ interpretiert (vgl. Tabelle 3). Die +/- Zeichen zeigen die zu erwartende Steigerung oder Senkung der Funktion pro Nachhaltigkeitsaspekt in jedem Szenario. Ob dies als positive (grün) oder negative (rot) Entwicklung angesehen wird, wird farblich verdeutlicht.

Tabelle 3 : Qualitative Einschätzung von ausgewählten Nachhaltigkeitsaspekten im Vergleich zum IST-Zustand. Die +/- Zeichen signalisieren die zu erwartende Steigerung oder Senkung der Werte pro Nachhaltigkeitsaspekt in jedem Szenario. Ob dies als positive (grün) oder negative (rot) Entwicklung angesehen wird, wird farblich hervorgehoben. 0 steht für eine neutrale Bewertung/keine Veränderung.

Nachhaltigkeitsaspekte	BASIC	FNF	EXT	ZKS
Klimawirkung Netto THG-Emissionen (T0)	-	+	--	---
Klimawirkung Netto THG-Emissionen (T2)	-	-	--	---
Kreislaufwirtschaft/Zirkularität	+	+++	--	++
Beitrag zum lokalen und nachhaltigen Ernährungssystem	-	++	+	+
Fossile Energieträger	0	--	++	-
Einkommenswirkung	-	-	--	---
Biodiversität	+	+	++	+
Klimaresilienz – Robustheit	+	++	++	+
Klimaresilienz – Anpassungsfähigkeit	0	-	--	-
Landschaftsbild	0	+	+/-	-

Die Tabelle verdeutlicht, dass kein Szenario in allen Aspekten überlegen ist, was auf notwendige Kompromisse hinweist. Lediglich Biodiversität und Robustheit verbessern sich stets, wenn THG-Emissionen reduziert werden. Dies zeigt, dass politische Entscheidungsträger*innen abwägen müssen, welche Prioritäten gesetzt werden sollen, und akzeptieren, dass dies negative Auswirkungen auf andere Aspekte haben kann. Wenn dem Klimaschutz höchste Priorität eingeräumt wird, sollte die Klimawirkung sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung von Bodenkohlenstoff und fossilen Energieträgern separat betrachtet werden.

Aus der Klima-Perspektive schneidet das Szenario Zirkuläre Stadt am besten ab, da es durch die Produktion von Biogas fossile Energien reduziert und dank weniger Tiere auch geringere Emissionen verursacht. Es ist jedoch das kostspieligste Szenario und auch das schwierigste zu implementieren, da Landwirt*innen heute befürchten, dass es zu Qualitätsproblemen bei der Gärgülle kommen könnte. Ein mögliches Problem ist beispielsweise, dass durch die städtische Gärgülle zu viele Schwermetalle und andere Schadstoffe auf die Äcker gelangen könnten (Tampio et al., 2016).

Das Szenario Feed no Food hat im T0 zwar höhere Emissionen als der IST Zustand, bleibt jedoch aus der Klima-Perspektive interessant, weil es den Verbrauch fossiler Energien am meisten reduziert. Mit der Anrechnung des kurzfristig gespeicherten Bodenkohlenstoffs kann zudem ein Teil der THG-Emissionen kompensiert werden. Dieses Szenario ist vor allem aus der Sicht der Ernährungssicherheit interessant, weil es zeigt, dass mehr Proteine aus Grasland produziert werden können, ohne die Emissionen zu erhöhen. Es hebt somit einen möglichen Kompromiss zwischen Produktion und Klimaminderung hervor. Dieser kann teilweise durch Optimierungen, wie zum Beispiel einer verlängerten Nutzungsdauer der Milchkühe, erreicht werden. Auch ist dieses Szenario verglichen mit den Szenarien Zirkuläre Stadt und Extensivierung das günstigere.

Das günstigste Szenario ist das Basic, bringt aber auch tendenziell die geringste Klimaminderung (im T2) mit sich.

Das Szenario Extensivierung reduziert zwar die THG-Emissionen, verschiebt jedoch das Problem aus der Stadt heraus, was sich in einem viel höheren Verbrauch fossiler Energieträger sowie einer verminderten Zirkularität widerspiegelt.

5. Pilotbetriebe (Vertraulich)

In diesem Kapitel werden die Modellierungen für die Pilotbetriebe der städtischen Landwirtschaft vorgestellt. Diese dienten dazu, die modellierten Szenarien in einem individuellen, realistischen Zusammenhang darzustellen und dadurch weitere Erkenntnisse zu gewinnen als die, die auf der Analyse des aggregierten Betriebs beruhen.

Die Ergebnisse sind auf Anfrage einsehbar.

5.1 Pilotbetrieb I

5.1.1 Beschreibung

5.1.2 Umsetzung Szenarien

5.1.3 Emissionen

5.1.4 Einkommenswirkung

5.1.5 Erkenntnisse

5.2 Pilotbetrieb 2

5.2.1 Beschreibung

5.2.2 Umsetzung Szenarien

5.2.3 Emissionen

5.2.4 Einkommenswirkung

5.2.5 Erkenntnisse

5.3 Pilotbetrieb 3

5.3.1 Beschreibung

5.3.2 Umsetzung Szenarien

5.3.3 Emissionen

5.3.4 Einkommenswirkung

5.3.5 Erkenntnisse

5.4 Pilotbetrieb 4

5.4.1 Beschreibung

5.4.2 Umsetzung Szenarien

5.4.3 Emissionen

5.4.4 Einkommenswirkung

5.4.5 Erkenntnisse

5.5 Pilotbetrieb 5

5.5.1 Beschreibung

5.5.2 Umsetzung Szenarien

5.5.3 Emissionen

5.5.4 Einkommenswirkung

5.5.5 Erkenntnisse

5.6 Pilotbetrieb 6

5.6.1 Beschreibung

5.6.2 Umsetzung Szenarien

5.6.3 Emissionen

5.6.4 Einkommenswirkung

5.6.5 Erkenntnisse

5.7 Pilotbetriebe im Vergleich zum IST-Zustand und schweizer Durchschnitt

Die Analyse der Pilotbetriebe hat gezeigt, dass die Landwirt*innen, die am Prozess teilgenommen haben, für Neuerungen offen sind und ebenfalls Teil der Lösung sein möchten. Die analysierten Betriebe sind oft bereits auf einem sehr guten Weg in Bezug auf Nutzungsdauer der Milchkühe, reduzierte Bodenbearbeitung, Agroforst mit Streuwiesen und überzeugen im Stadtvergleich durch oft bereits geringere THG-Emissionen. Einige setzen zum Beispiel bereits reduzierte Bodenbearbeitung im Ackerbau ein. Bei der Nutztierhaltung haben gewisse Milchkühe eine Nutzungsdauer, die zu den besten 25% in der Schweiz gehört, während andere Betriebe bereits auf Zweinutzungsrassen setzen.

6. Erkenntnisse die aus der Modellierung abgeleitet werden können.

Die Ergebnisse der Modellierungsarbeit zur Klimawirkung lassen sich in drei Kategorien einteilen, nämlich Zirkularität, Bodenkohlenstoff und Optimierung der Tierhaltung. Zusätzlich gibt es noch Erkenntnisse zur ökonomischen Komponente der Einkommenswirkung.

6.1 Zirkularität

Zirkularität zielt darauf ab, Kreisläufe zu schließen und so eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen zu ermöglichen, was auch zu tieferen THG-Emissionen führt. Die Nähe zwischen Städten und landwirtschaftlichen Betrieben bietet eine einzigartige Chance, die Landwirtschaft in die Kreisläufe der Stadt zu integrieren, und diese besser zu schliessen. Dabei gibt es drei Möglichkeiten die Landwirtschaft und die Abfälle der Stadt zu verbinden: die Biogas-Anlage, Lebensmittelabfälle als Futter für Tiere und Pflanzenkohleproduktion aus der städtischer Holzbiomasse.

Erstens, die Biogasanlage stellt eine zentrale Maßnahme im Rahmen der Zirkularität dar. Sie ermöglicht es, den Prozess, der üblicherweise im Kuhmagen stattfindet und dabei Methan freisetzt, zu ersetzen. Das in der Biogasanlage produzierte Methan kann als klimaneutraler Brennstoff verwendet werden. Darüber hinaus erzeugt die Anlage Gärgülle, die als Ersatz von Hofdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann, und trägt somit zur Schließung des Nährstoffkreislaufs bei. Diese Vorgehensweise erfordert eine hohe Qualität der Gärölle, um die Ausbringung von Schadstoffen zu vermeiden. Dieses System funktioniert jedoch nur in städtische Biogasanlagen, wo zusätzliche organische Abfälle die in der Stadt anfallen eingebbracht werden können. Dies ermöglicht einen vielfältigen und vergärbaren Materialmix, was die Effizienz der Biogasproduktion steigert.

Zweitens, Abfällen aus dem städtischen Ernährungssystem oder der Lebensmittelproduktion, können potenziell für die Fütterung von Tieren genutzt werden, sofern dies gesetzlich erlaubt ist. Derzeit ist die Verwendung von Speiseresten aus der Gastronomie für diesen Zweck verboten, doch gibt es andere Möglichkeiten wie zum Beispiel die Nutzung von Biertreber aus lokalen Brauereien. Diese Praxis kann besonders für Monogastrier effektiv sein, bei denen ein großer Teil der Emissionen durch den Import von Futtermitteln verursacht wird.

Drittens kann die Biomasse, die weder vergoren noch als Tierfutter eingesetzt werden kann, zum Beispiel Baumschnitt aus städtischen Grünanlagen oder landwirtschaftlichen Betrieben, zu Pflanzenkohle pyrolysiert werden. Diese kann dann auf die Felder ausgebracht werden und Kohlenstoff langfristig im Boden speichern. Das Fördern von Bäumen und Agroforst-Systeme bindet nicht nur kurzfristig Kohlenstoff in der Biomasse, sondern bietet auch in Zukunft genügend Rohstoff für die Pflanzenkohlenproduktion.

6.2 Bodenkohlenstoffspeicherung

Die Studie hat aufgezeigt, dass kurzfristig eine erhebliche Menge an Kohlenstoff im Boden gespeichert werden kann, was allerdings auch zu einem Anstieg der Feldemissionen in den Folgejahren führen kann. Langfristig besteht jedoch das Potenzial, mehr Kohlenstoff im Boden zu speichern als heute. Im Ackerbau kann dies durch die Anwendung konservierender Landwirtschaftsmethoden erreicht werden, zu denen selektive Bodenbearbeitung, Untersaat und das Einarbeiten von Ernteresten zählen. Das Potenzial der konservierenden Landwirtschaft für die Reduktion von Klimaeffekten ist unbestritten. Allerdings sollte das Ausmaß, in dem tatsächlich CO₂ an spezifischen Standorten, wie beispielsweise in Zürich, gebunden werden kann, durch ein Monitoring des Bodens und Vor-Ort-Messungen bestätigt werden. Ob Grünland durch geänderte Bewirtschaftungspraktiken wie die Umtriebsweide (Mob Grazing) zusätzlich langfristig CO₂ binden kann, ist wissenschaftlich noch nicht eindeutig geklärt, könnte aber ebenfalls Teil eines Monitorings sein. Unstrittig ist jedoch, dass die Umwandlung von Grünland in Ackerland erhebliche Emissionen verursacht, da Grünland grundsätzlich mehr CO₂ speichert als Ackerland. Anfallende Emissionen wären so gross, dass selbst mit darauffolgender konservierender Landwirtschaft die Emissionen nicht kompensiert werden können.

6.3 Optimierte Tierhaltung

In der biologischen Landwirtschaft ist es bislang nahezu unmöglich, gänzlich auf Tiere zu verzichten, es sei denn, der notwendige Hofdünger würde importiert, was allerdings einer Verlagerung der Emissionen gleichkäme. Eine alternative Lösung könnte die Verfügbarkeit von ausreichend hochwertiger Gärgülle aus Biogasanlagen darstellen, die als Ersatz für herkömmlichen Hofdünger genutzt werden kann. Die Verwendung von Transfermulch anstelle von Hofdüngern ist derzeit noch in Entwicklung und Pionierarbeit.

Die Studie zeigt, dass die Tierhaltung in der Stadt gegenwärtig extensiv gestaltet ist, wobei viele grasbasierte Futtermittel exportiert werden. Auf Basis der aktuell noch verfügbaren, lokalen Biomasse, die nicht in Konkurrenz zum Lebensmittelanbau für den menschlichen Direktverzehr steht, könnten innerhalb der Stadt mehr Wiederkäuer gehalten werden, wenn auf den Futtermittelexport verzichtet wird. Ausserhalb der Stadtgrenze würde sich die Wiederkäuerzahl aber reduzieren müssen, da das Futter nicht mehr zur Verfügung steht, weil es bereits innerhalb der Stadt verfüttert wurde.

Die Studie zeigt auch, dass bei gleichbleibenden Wiederkäuer-Produktionseinheiten (Anzahl der Kühe und die Zusammensetzung ihrer Herden) mehr Proteine mit geringeren THG-Emissionen produziert werden könnten. Dies kann durch eine verlängerte Nutzungsdauer kombiniert mit einer verbesserten Integration der Milch-Fleisch-Produktion sowie mit richtigem Hofdüngermanagement erreicht werden.

Eine verlängerte Nutzungsdauer von Milchkühen bedeutet, dass die Tiere länger leben und somit weniger Jungtiere aufgezogen werden müssen, die während ihrer Aufzucht

Emissionen verursachen. Aus Sicht der Ökobilanz bedeutet dies, dass die Emissionen, die während der Aufzucht anfallen, über einen längeren Zeitraum verteilt werden können. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen und einer Reduktion der gesamten Emissionen.

Wenn sich die Nutzungsdauer von Milchkühen verlängert, führt dies auch dazu, dass mehr Kälber für die Ausmast und somit für die Fleischproduktion zur Verfügung stehen. Bei der Nutzung von Zweitnutzungsrassen oder durch den Einsatz von geschlechtsspezifischem Sperma (welches im biologischen Landbau allerdings nicht zugelassen ist), können mit einer fleischbetonten Rasse gekreuzte Kälber, die nicht für die Remontierung benötigt werden, auf der Weide gemästet werden. Diese Praxis bietet eine Alternative zur Mutterkuhhaltung, die im Vergleich mehr THG pro Kilogramm produziertem Fleisch emittiert. In der Logik der Ökobilanzierung werden die Emissionen einer Mutterkuh vollständig der Fleischproduktion zugeschrieben, während bei Milchkühen ein großer Teil der Emissionen der Milchproduktion und nur ein kleiner Teil dem Kalb zugewiesen wird. Dies erklärt, warum Fleisch aus der Milchproduktion weniger THG-Emissionen verursacht als Fleisch von Mutterkühen. Rechnet man die THG-Emissionen pro kg Protein, dann fallen dank der verbesserten Integration der Milch-Fleisch-Produktion weniger THG-Emissionen an.

Das Management von Hofdünger stellt ebenfalls einen wichtigen Ansatzpunkt dar. Emissionen entstehen vor allem bei der Lagerung von Hofdünger. Wenn Tiere häufiger auf der Weide gehalten werden, fällt weniger Hofdünger an, der gelagert werden muss, wodurch vor allem Methanemissionen von vornherein vermieden werden. Bei der Lagerung spielt die Trennung von Harn und Feststoffen eine entscheidende Rolle, die durch bauliche Massnahmen verbessert werden kann. Zudem tragen das Abdecken oder die Vergärung des Hofdüngers in einer Biogasanlage dazu bei, Emissionen zu reduzieren und das Düngermanagement zu optimieren.

6.4 Kosten der Treibhausgasreduktion durch höhere Deckungsbeiträge kompensieren

Alle Szenarien verursachen hohe Kosten, wobei gilt: Je stärker die THG-Reduktion, desto höher die Kosten. Es gibt jedoch zwei Maßnahmen, die helfen können, die Kosten zu senken.

Erstens, das konsequente Fördern von Alternativen zur Tierhaltung, die einen höheren Deckungsbeitrag erzielen. Im Pflanzenbau wäre dies der Gemüsebau, der sehr hohe Deckungsbeiträge generiert und auch erheblich zu einem nachhaltigen, lokalen Ernährungssystem beiträgt. Der Gemüsebau ist jedoch auch sehr arbeitsintensiv und stellt darum keinen einfachen Wandel dar, auch weil Gemüse eine anspruchsvolle Kultur ist, die nicht überall möglich ist. In der Tierhaltung erzielt die Pferdepension einen sehr hohen Deckungsbeitrag. Obwohl Pferde keine Nahrungsmittel produzieren, bieten sie dennoch eine Freizeitaktivität für Stadtbewohner*innen und tragen somit zur Erholungszone der Stadt bei. Die Umstellung braucht je nach Ausgangslage Investitionen in die Infrastruktur, welche kostspielig sein könnte.

Zweitens können über den Einzelhandel in der Nähe der Stadt durch Direktverkauf an die Konsumenten höhere Margen erzielt werden. Dies gelingt, da der Zwischenhandel nicht beteiligt ist und somit keine Gewinnanteile beansprucht. Die Produkte gelangen ohne Umweg zu den Kund*innen. Außerdem ermöglicht der Direktverkauf, den Konsument*innen die nicht-monetären Vorteile eines Produktes direkt zu erläutern. Dadurch können höhere Preismargen gerechtfertigt werden, da die Verbraucher*innen besser verstehen, was die Produkte besonders macht und wo der Mehrwert liegt.

7. Massnahmen

7.1 Handlungsspielraum der Stadt und landwirtschaftlichen Betriebe

Der Handlungsspielraum für die Umsetzung von Klimaschutzmassnahmen in der Landwirtschaft ist für die Stadt Zürich vielfältig.

Die Stadt Zürich ist im Besitz von 14 landwirtschaftlichen Betrieben und rund 700 ha Landwirtschaftsland. Dies ermöglicht der Stadt, direkt in die landwirtschaftliche Infrastruktur auf den Pachtbetrieben zu investieren und bei der Formulierung der Pachtverträge (Hof und Flächen) Kriterien festzulegen, die mit ihren Zielen im Einklang stehen.

Auf dem städtischen Gutsbetrieb Juchhof können bspw. neue Praktiken erprobt werden oder es können Investitionen in einen klimafreundlicheren Maschinenpark erfolgen.

Durch finanzielle Förderungen oder Ausgleichszahlungen kann die Stadt Anreize für eine klimafreundliche Bewirtschaftung schaffen. Darüber hinaus können Innovations- und Forschungsprojekte initiiert und unterstützt werden.

7.2 Massnahmenplan

Der folgende Massnahmenplan stellt die vielfältigen möglichen Massnahmen für die städtischen Betriebe zusammen. Zusätzlich zu den modellierten Massnahmen wurden noch die Themenbereiche erneuerbare Energien und Gebäude in den Massnahmenplan miteinbezogen. Dieser Plan wurde im Austausch mit den Landwirt*innen überarbeitet und erweitert.

7.2.1 Tierhaltung

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
Gesamtbetriebliche Beratung etablieren		
Wirkungsvoller und kontextspezifischer Klimaschutz auf Landwirtschaftsbetrieben erfordert eine <u>gesamtheitliche Betriebsoptimierung</u> .	GSZ finanziert gesamtheitliche Beratungen zur nachhaltigen Ausrichtung der Stadtlandwirtschaft.	Gesamtbetriebliche Optimierung
	Landwirt*Innen können sich bei Interesse an den Fachbereich Landwirtschaft wenden.	
Nutztierbestand anpassen		
<u>Laufende Pachtverhältnisse:</u> Bei bestehenden Betriebs-Pachtverhältnissen werden alternative Betriebszweige zur Tierhaltung oder Extensivierungen periodisch durch gesamtbetriebliche Beratungen geprüft. Wo nötig wird mit Umstellungshilfen (Investitionen, Forschung, Beratung) unterstützt. Bei bedeutenden ökonomischen Nachteilen wird eine finanzielle Unterstützung der Stadt geprüft.	GSZ diskutiert gemeinsam mit den Betriebsleitenden der Pachtbetriebe und ggf. externer Fachpersonen Möglichkeiten zur Anpassung der Tierzahl. Das Vorgehen wird in den kommenden Jahresgesprächen definiert. GSZ prüft Möglichkeiten für finanzielle Unterstützungen bei bedeutenden ökonomischen Nachteilen.	Nutztierbestand an den richtigen Stellen anpassen
<u>Neuverpachtungen und Investitionen:</u> Bei Neuverpachtungen und vor grossen Investitionen in Tierstallungen werden Bewirtschaftungsvarianten ohne oder mit reduziertem Tierbestand sowie Zweinutzungsrasse geprüft. Gesamtheitliche Bewirtschaftungskonzepte ohne oder mit reduzierter Tierhaltung werden bevorzugt. Bei bedeutenden ökonomischen Nachteilen wird eine finanzielle Förderung von der Stadt geprüft. Es wird mit Forschung und Beratung in solche Bewirtschaftungskonzepte investiert.	Der Fachbereich Landwirtschaft von GSZ prüft vor Neuverpachtungen mögliche Nutzungskonzepte und berücksichtigt entsprechende Erkenntnisse in den Ausschreibungen. Das Auswahlverfahren erfolgt anhand einer umfassenden Analyse unter Berücksichtigung aller Ziele für die Stadtlandwirtschaft. Bei Gleichstand werden Konzepte ohne oder mit reduzierter Tierhaltung bevorzugt.	

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
<u>Private Landwirtschaftsbetriebe:</u> Privaten Landwirtschaftsbetrieben wird Beratung angeboten. Mit der Verpachtung von Einzelflächen an Privatbetriebe werden künftig keine Aufstockungen von Tierbeständen mehr gefördert. Bei der Verpachtung werden biologisch wirtschaftende und tierextensive Betriebe bevorzugt. Aber auch hier gilt: es erfolgt keine Verpachtung an Betriebe, die ausserhalb der ortsüblichen Bewirtschaftungsdistanz liegen (maximal ca. 6 km Fahrstrecke).		
Optimierte Weidemanagement: Weidegang steigern		
Ein hoher Weideanteil geht mit einem reduzierten Energieverbrauch für die Futterernte, Futterkonservierung und für die Mist- oder Gülleausbringung einher. Verbringen die Tiere mehr Zeit auf der Weide, wirkt sich dies zudem auch positiv auf die Ammoniakbildung (indirektes Treibhausgas durch Umwandlung zu Lachgas) aus, da Urin und Kot weniger miteinander in Verbindung kommen als im Stall. Ausserdem unterstützen kohlenstoffbindende Weidemanagementtechniken (z.B. Umtriebsweide) den Humuserhalt und/oder Humusaufbau.	GSZ: Mittels Finanzierung von Beratung soll das Weidemanagement auf den Landwirtschaftsbetrieben optimiert und der Weideanteil erhöht werden. Mit Arrondierungen soll der Zugang zu Weideland erleichtert werden. Landwirt*innen können sich bei Interesse an den Fachbereich Landwirtschaft melden.	Die Betriebe beteiligen sich in hohem Mass am Bundesprogramm "Weide-Raus". GSZ schafft, wo nötig und möglich die Voraussetzungen dazu (z.B. mit einer Arrondierung der Weideflächen)
Nutzungsdauer erhöhen		
Bei der Aufzucht von Rindvieh entstehen beachtliche Emissionen. Da diese Jungtiere zwei bis drei Jahre unproduktiv sind, schlagen sich die Emissionen für die Aufzucht folglich auf die Anzahl der Laktationen nieder, die sie während ihrer produktiven Lebensphase	GSZ fragt die Anmeldung zum Produktionssystembeitrag "Längere Nutzungsdauer Kühe" beim Jahresgespräch ab.	Bis 2035 zeichnen sich alle Pachtbetriebe im schweizweiten Vergleich durch eine überdurchschnittlich hohe Nutzungsdauer von

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
machen. Wenn die Anzahl der Laktationen pro Kuh erhöht wird, wird gleichzeitig der Bedarf an Remonten und damit auch die Emissionen gesenkt. Die Landwirtschaftsbetriebe sollen dementsprechend die Nutzungsdauer der Milchkühe erhöhen. Eine Teilnahme am Produktionssystembeitrag "Längere Nutzungsdauer Kühe" wird vorausgesetzt.	Betriebspächter*innen melden sich zum Produktionssystembeitrag "Längere Nutzungsdauer Kühe" an.	Milchkühen aus. Alle Pachtbetriebe sind am Bundesprogramm angemeldet.
Stallmanagement verbessern		
Auf Böden von Laufställen, auf denen der Harn liegen bleibt, herrschen optimale Bedingungen für die Bildung von Ammoniak (NH3).	Wo nötig, investiert GSZ in die Stallinfrastruktur, damit die Bildung von Ammoniak reduziert wird (z.B. stärkeres Gefälle, Schlitzrinne).	Bis 2035 wurden alle stadteigenen Ställe in Bezug auf NH3 Emissionen optimiert.
Alle Güllelager abdecken		
Offene Hofdüngerlager begünstigen den Luftaustausch über der Gülleoberfläche. Als Folge davon wird Ammoniak gebildet und freigesetzt. Indirekt trägt dies zu Lachgasemissionen bei und schädigt sensible Ökosysteme.	GSZ deckt alle Güllelager in ihrem Besitz vor der gesetzlichen Frist ab.	Bis spätestens 2029 sind alle stadteigenen Güllelager abgedeckt. Wo nur geringe bauliche Anpassungen notwendig sind, schon früher.
Fütterung für Monogastrier optimieren		
Insbesondere das Futter für Monogastier steht in Konkurrenz mit Nahrungsmitteln für die menschliche Ernährung. Die Fütterung von Monogastriern soll so weit wie möglich mit anfallenden Nebenprodukten aus der Lebensmittelindustrie in der Stadt (z.B. Brauereien) erfolgen.	GSZ initiiert Partnerschaften zwischen Landwirtschaftsbetrieben und Lebensmittelindustrie. Landwirt*innen melden sich bei Interesse beim Fachbereich Landwirtschaft	Partnerschaften werden aufgebaut.
Düngerkreislauf erweitern		
Zur Deckung des Nährstoffbedarfs im Pflanzenbau sollen verstärkt Gärreste aus Biogasanlagen ähnlich wie Gülle auf landwirtschaftlichen Flächen zur Nährstoffversorgung der Kulturen ausgebracht werden. Andere alternative Düngemittel beispielsweise aus menschlichen Ausscheidungen sind eine weitere	GSZ setzt sich nach Möglichkeit für die Qualitätsverbesserung von Biogasgülle ein und initiiert dazu ein Projekt mit geeigneten Partner*innen. GSZ trägt nach Möglichkeit zur Wissensgenerierung von Düngemitteln aus Fäkalien bei.	Wissensgenerierung zur Erweiterung des Düngerkreislaufs.

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
Möglichkeit, die stadtinternen Kreisläufe besser zu schliessen.		

7.2.2 Gebäude

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
Energiesparen und energetische Sanierungen priorisieren		
<p>Ein sparsamer Umgang mit Energie ist die kostengünstigste Art, den Verbrauch von Energie und Emissionen direkt zu senken</p>	<p>GSZ investiert in die eigenen Gebäude zur Reduktion des Energieverbrauchs. Zur Identifikation von Energiesparmassnahmen im laufenden Betrieb werden die bestehenden Energieberatungsangebote genutzt.</p> <p>GSZ investiert in die Erneuerung ihrer eigenen energieintensiven Anlagen in Abstimmung auf die Lebensdauer (graue Energie), z.B. Kühlzellen, Heubelüftung, Rührgeräte usw.</p>	<p>Netto-Null 2035</p>

7.2.3 Erneuerbare Energien

Kernmassnahme/Umsetzung	Ziel
Solarenergie zügig ausbauen	
GSZ nutzt die grossen Dächer von Landwirtschaftsgebäuden zur Erzeugung von Solarstrom. Diese Massnahme hat hohe Priorität.	Bis 2025 ist das Potenzial ermittelt und bis 2035 ausgeschöpft.
Biogas, Windenergie und Energieholz produzieren	
GSZ prüft das Potenzial und schöpft es aus. Bei der Nutzung von Biomasse erfolgt im ersten Schritt möglichst eine stoffliche Verwertung und erst zum Schluss eine energetische Nutzung.	Bis 2025 ist das Potenzial ermittelt und bis 2035 ausgeschöpft.
Alternativen zu fossil betriebenen Fahrzeugen und Maschinen fördern	
GSZ elektrifiziert (oder andere alternative Antriebsformen) den eigenen landwirtschaftlichen Fuhr- und Maschinenpark. Neue Technologien	Bis 2035 wird der landwirtschaftliche Fuhr- und Maschinenpark frei von fossilen Treibstoffen betrieben (Bedingung: Technologie vorhanden, Ausnahmen möglich).

Kernmassnahme/Umsetzung	Ziel
werden getestet und GSZ engagiert sich für deren Weiterentwicklung. GSZ schafft bei Um- und Neubauten oder Sanierungen Anreize durch beispielsweise die Installationen von Ladestationen.	
Gewächshäuser nur erneuerbar beheizen	
Gewächshäuser im Besitz von GSZ werden in erster Linie nicht beheizt. Sollten sie in Ausnahmefällen doch beheizt werden, werden neue Gewächshäuser ab sofort zu 100 % erneuerbar beheizt, bestehende bis 2030.	Alle Gewächshäuser bis 2030 zu 100 % erneuerbar beheizt oder gar nicht beheizt. Zudem gelten die Einschränkungen der Richtlinien für die Erzeugung von Knospe-Produkten.

7.2.4 THG-Senken/Pflanzenbau

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
Humusgehalt: Datengrundlage und Monitoring von städtischen Böden messen und monitoren		
Bei Bedarf werden interessierte Betriebe bei der Ermittlung des Humusgehalts in Böden und bei einem entsprechenden Monitoring unterstützt.	GSZ initiiert ein Projekt zur Messung des Humusgehalts von städtischen Landwirtschaftsböden. Landwirt*Innen können sich bei Interesse an den Fachbereich Landwirtschaft wenden.	Der Humusgehalt von städtischen Landwirtschaftsböden ist bekannt.
Boden permanent bedecken		
Eine ganzjährige Bodenbedeckung unterstützt die Nährstoffspeicherung, den Humuserhalt, reduziert den Unkrautdruck und schützt vor Erosion (Anpassung an Wetterextreme). Städtische Landwirtschaftsböden sollen deshalb ganzjährig bedeckt sein. Zur Erreichung dieses Ziels sollten Untersaaten, Mulchschichten, Gründüngungen und Zwischenfrüchte angewendet werden. Die Anmeldung zum Produktionssystembeitrag "angemessene Bedeckung des Bodens" ist verpflichtend für alle Bewirtschafter*innen von städtischem Landwirtschaftsboden.	GSZ leihst Maschinen aus. Die Anmeldung zum Produktionssystembeitrag wird im Rahmen der Jahresgespräche/Gesprächen bei den Pachtbetrieben/Betrieben abgefragt. Pächter*Innen von Landwirtschaftsflächen melden sich zum Produktionssystembeitrag an.	Städtische Landwirtschaftsböden sind ganzjährig bedeckt.
Weitere Massnahmen konservierende Landwirtschaft		
Mit dem Einarbeiten von Biomasse (z.B. Stroh), kann der in der Biomasse gebundene Kohlenstoff die Bodenkohlenstoffvorräte anreichern und	GSZ setzt Massnahmen der konservierenden Landwirtschaft auf dem Gutsbetrieb Juchhof um und prüft die Anschaffung entsprechender	Es werden verstärkt Massnahmen der konservierenden Landwirtschaft umgesetzt

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
soll somit vermehrt praktiziert werden. Eine reduzierte Bodenbearbeitung schont die Bodenstruktur und das Bodenleben. Der Boden wird vor der Saat viel weniger intensiv bis gar nicht bearbeitet. Es gibt verschiedene Verfahren mit unterschiedlicher Bearbeitungstiefe bis hin zur Direktsaat (z.B. Ersatz von Pflug durch Stoppelhobel oder Grubber). Diese Anbautechnik geht mit reduzierten Überfahrten und Treibstoffverbrauch einher. Vielfalt ist eine Eigenschaft von klimafreundlichen Fruchtfolgen und soll gefördert werden. Mischkulturen, Sortenwahl, Einsatz von Leguminosen, tiefwurzelnde Kulturen usw. eignen sich zur Erreichung dieses Ziels.	Maschinen. Landwirt*Innen können diese Massnahmen umsetzen. Bei Bedarf können Maschinen von GSZ ausgeliehen werden. Interesse an Weiterbildungen oder ERFA's sowie die Kostenübernahme an Weiterbildungen können beim Fachbereich Landwirtschaft angemeldet werden.	und es wird mehr Wissen generiert.
Grünland erhalten		
Wird Grünland zu Ackerflächen umgebrochen (mit dem Pflug), wird Humusabbau verstärkt und es werden vermehrt Nitrat, Lachgas und Kohlendioxid freigesetzt. Außerdem schützt Grünland vor Austrocknung und Erosion, da es ganzjährig bewachsen ist.	Grundsätzlich speichert Grünland mehr CO ₂ als Ackerland. Bevor Dauergrünland zu Ackerland umgebrochen wird, braucht es dazu eine standortspezifische Abwägung der Vor- und Nachteile mit. Die neue Bewirtschaftungsweise soll dabei zu Gunsten des Humusgehaltes im Boden erfolgen. Pächter*Innen von Landwirtschaftsflächen brechen kein Grünland mit dem Pflug um.	Grünland wird nicht mit dem Pflug umgebrochen.
Alternative Grünlandbewirtschaftung weiterentwickeln		
Werden weniger Wiederkäuer gehalten, braucht es alternative Nutzungskonzepte für das Grünland, die weiterhin eine Produktion von Nahrungsmitteln gewährleisten.	GSZ setzt sich dafür ein, dass Wissen in Bezug auf eine Grünlandbewirtschaftung ohne Futterproduktion generiert wird. Dazu werden nach Möglichkeit Projekte initiiert sowie und finanzielle Mittel bereitgestellt. Ob eine Übernahme ausbleibender Direktzahlungen bei einer Grünlandbewirtschaftung ohne Futterproduktion möglich ist, wird abgeklärt.	Wissensgenerierung für alternative Bewirtschaftungskonzepte für Grünland
Produktives Grünland an den richtigen Standorten fördern		
Hochproduktives Grünland speichert mehr Kohlenstoff als ertragsarmes. Geringe	GSZ empfiehlt Extensivierung von Grünland nur dort, wo es einen Nutzen für die Biodiversität gibt, z.B.	Biodiversität gezielt fördern.

Kernmassnahme	Umsetzung	Ziel
Erträge sind aber tendenziell besser für die Artenvielfalt.	im Rahmen der Vernetzungsprojekte oder Schutzverordnungen. Landwirt*innen können Gras-Mischungen mit hoher Diversität verwenden.	
Pflanzenkohle anwenden		
Pflanzenkohle hat einen hohen Kohlenstoffgehalt und ist nach heutigem Wissenstand relativ stabil bzw. wird nur langsam abgebaut.	GSZ setzt sich weiter für Wissensgenerierung im Thema Pflanzenkohle ein (laufendes Forschungsprojekt Black goes green Juchhof, Prüfung eigene Pyrolyseanlage zur Pflanzenkohleproduktion oder für Heizzwecke auf dem Juchhof und teilt Erkenntnisse.	Wissensgenerierung Pflanzenkohle
Agroforst fördern		
Agroforstsysteme speichern kurzfristig Kohlenstoff und ermöglichen einen Beitrag zu einem resilienten Ernährungssystem.	GSZ fördert Agroforstprojekte auf Stadtgebiet und realisiert einen eigenen Agroforst. Landwirt*Innen können sich bei Interesse an den Fachbereich Landwirtschaft wenden.	Bis 2035 werden mehrere Agroforstprojekte erfolgreich umgesetzt.
Bäume fördern		
Die Anzahl Bäume (Hochstamm- und Niederstammbäume) wird erhöht.	GSZ initiiert eine Pflanz- und Pflegekampagne.	Die Anzahl Bäume auf städtischem Landwirtschaftsland wird erhöht.

7.2.5 Rückmeldung von den Landwirt*innen

Dieses Kapitel beleuchtet die Diskussionen während der Erstellung der Massnahmen und schafft Raum für die Haltung der Bewirtschaftenden. Generell wurde der Massnahmenplan mit breiter Zustimmung zu Kenntnis genommen.

Mehrmals wurde eine Reduktion des Tierbestandes in Frage gestellt. Das Argument, dass in der Stadt Zürich, wo der Tierbestand bereits relativ niedrig ist, eine verpflichtende Reduktion der Tierbestände notwendig ist, wurde nicht von allen akzeptiert.

Die beteiligten Landwirt*innen betonten die Notwendigkeit eines rentablen Geschäftsmodells und heben hervor, dass zunächst die Optimierung des aktuellen Systems im Vordergrund stehen sollte. Sie schlugen vor, die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur bis ans Ende der wirtschaftlich sinnvollen Nutzungsdauer zu ermöglichen. In Bezug auf Grünland wurde auch der Vorschlag eingebracht, dass die Stadt zukünftig die Möglichkeit der Flächenarrondierung für die Pachtbetriebe prüfen und weiterentwickeln sollte. Dies könnte auch ein optimiertes Weidemanagement ermöglichen.

In Bezug auf das Thema Zweinutzungsrasse wurde eine Studie aus dem Kanton Graubünden erwähnt, in der festgestellt wurde, dass die Fleischproduktion mit Mutterkühen weniger Emissionen verursacht, als die Produktion von Schaffleisch (Bündner Bäuerinnen et al., 2022). Es wurde vorgeschlagen, eine Studie speziell für Zürich durchzuführen, um zu verstehen, ob es im Kontext der Stadt Zürich sinnvoller ist, Schafe anstelle von Mutterkühen zu halten.

Des Weiteren ist es sinnvoll, Abfälle aus der Stadt, wie beispielsweise aus der Lebensmittelproduktion, in der Tierhaltung zu verwenden, sofern dies im rechtlichen Rahmen erfolgt. Gegenwärtig ist es jedoch nicht mehr gestattet, Abfälle aus der Gastronomie an Tiere zu verfüttern. Die Betriebsleitenden zeigen Bereitschaft, Nebenprodukte aus der Lebensmittelindustrie aus der Stadtnähe zu verwenden. Dies wurde im Maßnahmenplan berücksichtigt.

Es wurde darauf hingewiesen, dass Holz bei Neubauten eine grösse Rolle spielen sollte. Dies sei neben der Produktion von klimaneutralem Strom ein relevantes Thema.

Im Allgemeinen betonten die Landwirt*innen, dass viele der vorgeschlagenen Maßnahmen ihre Kosten erhöhen und ihre Einkommen verringern würden, was zu einer insgesamt geringeren Wertschöpfung führt. Sie argumentierten, dass diese Massnahmen deshalb durch die Öffentlichkeit finanziell unterstützt werden müssten. Dann wären sie auch bereit, Teil einer umfassenden Transformation zu sein.

Die Betriebsleitenden wiesen darauf hin, dass ihre Arbeit unter den verschiedenen Zielkonflikten der politischen Agenda leidet. Der Ernährungsauftrag, die Förderung der Biodiversität und Klimaschutzmassnahmen führten nicht immer zu Win-Win-Situationen, wie auch diese Studie gezeigt hat. Es wäre wichtig, klare Botschaften von

der Politik zu erhalten, um zu erfahren, welches dieser Ziele langfristig von vorrangiger Bedeutung sein wird.

Weiter wurde auch die gesellschaftliche Verantwortung zum Klimaschutz hervorgehoben. Die grossen Hebel für die Klimaneutralität der Stadt Zürich im Bereich Ernährung liegen auch bei der Bevölkerung sowie der Gastronomie und dem Lebensmittelgross- und Einzelhandel. Im Vorgehen der Stadt und der damit verbundenen Kommunikation nach aussen sollten die Aktivitäten in allen Bereichen koordiniert werden. Auf dem Weg zur Klimaneutralität ist es essenziell hervorzuheben, dass alle Beteiligten ihren Beitrag leisten (müssen). Wenn die Herausforderung gemeinsam angegangen wird, hebt das wiederum die Motivation aller Beteiligten, ihren jeweiligen Beitrag zu leisten.

8. Schlusswort

Die städtische Landwirtschaft kann auf das Klimaziel mit Netto-Null bis 2035 ausgerichtet werden und so ihren Beitrag zur Erreichung leisten. Allerdings ist dies nicht ohne Zielkonflikte und Herausforderungen möglich. Eine höhere Emissionsminderung geht im Allgemeinen mit höheren Kosten und einer geringeren Lebensmittelproduktion einher. Die Zusammenhänge zwischen diesen Aspekten sind jedoch nicht direkt proportional.

Die Untersuchung der Pilotbetriebe hat gezeigt, dass auf Betriebsebene bereits viele positive Massnahmen und Ansätze zur Reduktion von THG-Emissionen in der Landwirtschaft umgesetzt werden. Es ist wichtig zu beachten, dass die Landwirt*innen offen für Veränderungen sind und bereit sind, ihren Beitrag zu leisten.

Die Entwicklung eines Massnahmenplans, der sowohl verbindliche als auch nicht verbindliche Massnahmen enthält, ist ein wichtiger Schritt für mehr Klimaschutz. Dieser Plan berücksichtigt die verschiedenen Interessen und zeigt Möglichkeiten auf, wie die Landwirt*innen und die Stadt gemeinsam an einer nachhaltigen Zukunft arbeiten können.

Es gilt, die vorgeschlagenen Massnahmen stets kritisch zu hinterfragen und in möglichst systemischer Herangehensweise an der Umsetzung zu arbeiten, um die Ziele zu erreichen und die beteiligten Akteur*innen dabei zu begleiten. Der Massnahmenplan wurde nach aktuellem Stand der Wissenschaft und nach bestem Gewissen ausgearbeitet. Da sich aber auch die Forschung und Technik im Bereich Klimaschutz schnell verändern können, ist es geboten, den Erfolg der Massnahmen regelmässig zu überprüfen und bei Bedarf getroffene Entscheidungen zu evaluieren und den Gegebenheiten anzupassen.

9. Literaturverzeichnis

- AGRIDEA, 2022. 1096 - Deckungsbeiträge, Einzelexemplar - Publikationen - Betrieb, Familie, Diversifizierung - Betriebsplanung, Buchhaltung - AGRIDEA [WWW Document]. URL <https://agridea.abacuscity.ch/de/A~1096~1/3~310110~Shop/Publikationen/Betrieb-Familie-Diversifizierung/Betriebsplanung-Buchhaltung/Deckungsbeitr%C3%A4ge-Einzelexemplar/Deutsch/Print-Papier> (accessed 9.20.23).
- Alig, M., Prechsl, U., Schwitter, K., Waldvogel, T., Wolff, V., Wunderlich, A., Gaillard, G., 2015. Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutz- massnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz 160.
- Allen, M.R., Shine, K.P., Fuglestvedt, J.S., Millar, R.J., Cain, M., Frame, D.J., Macey, A.H., 2018. A solution to the misrepresentations of CO₂ -equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Climate and Atmospheric Science* 1, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0026-8>
- BAFU, 2021. Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz, Umwelt-Wissen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Switzerland.
- Bai, Y., Cotrufo, M.F., 2022. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science* 377, 603–608. <https://doi.org/10.1126/science.abo2380>
- Billman, E.D., Williamson, J.A., Soder, K.J., Andreen, D.M., Skinner, R.H., 2020. Mob and rotational grazing influence pasture biomass, nutritive value, and species composition. *Agronomy Journal* 112, 2866–2878. <https://doi.org/10.1002/agj2.20215>
- BLV, 2023. The Swiss Food Composition Database.
- BLW, 2023. Faktenblatt Rindviehhaltung Massnahmenpaket für eine nachhaltigere Landwirtschaft.
- BLW, 2017. Energiebedarf der Schweizer Landwirtschaft: aktueller Stand und Verbesserungsmöglichkeiten. Schweizer Bundesrat, Bern, Switzerland.
- BLW, BLV, BAFU, 2023. Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050 - I. Teil: Grundsätze, Ziele und Stossrichtungen.
- Brühl, C.A., Zaller, J.G., 2019. Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science* 7.
- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.-M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghghi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R.K., Roy, P.-O., Shaked, S., Fantke, P., Jolliet, O., 2019. IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *Int J Life Cycle Assess* 24, 1653–1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>
- Bündner Bäuerinnen, und Bauern engagieren sich, für den Klimaschutz, 2022. Treibhausgase aus der Bündner Landwirtschaft.
- Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R., Fuglestvedt, J.S., Frame, D.J., Macey, A.H., 2019. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *npj Clim Atmos Sci* 2, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>
- Campion, L., Bekchanova, M., Malina, R., Kuppens, T., 2023. The costs and benefits of biochar production and use: A systematic review. *Journal of Cleaner Production* 408, 137138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137138>
- Chang, J., Ciais, P., Gasser, T., Smith, P., Herrero, M., Havlík, P., Obersteiner, M., Guenet, B., Goll, D.S., Li, W., Naipal, V., Peng, S., Qiu, C., Tian, H., Viovy, N., Yue, C., Zhu, D., 2021. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nat Commun* 12, 118. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20406-7>

- Cozim-Melges, F., Ripoll-Bosch, R., Veen, G.F. (Ciska), Oggiano, P., Bianchi, F.J.J.A., van der Putten, W.H., van Zanten, H.H.E., 2024. Farming practices to enhance biodiversity across biomes: a systematic review. *npj Biodiversity* 3, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s44185-023-00034-2>
- Davis, S., 2021. Urban Foodscapes and Greenspace Design: Integrating Grazing Landscapes Within Multi-Use Urban Parks. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5.
- Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S., Emde, D., Seitz, D., Chenu, C., 2023. Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology* n/a, e16983. <https://doi.org/10.1111/gcb.16983>
- EMEP/EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Crop production and agricultural soils.
- Faist, M., Zah, R., Reinhard, J., 2009. Sustainability Quick Check for Biofuels (SQCB): A Web-based tool for streamlined biofuels' LCA.
- FOEN, 2023. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2021: National Inventory Document and reporting tables (CRF). Submission of April 2023 under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Federal Office for the Environment, Bern.
- Freiermuth, R., 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Röös, E., Smith, P., Boer, I.J.M. de, Ermgassen, E. zu, Herrero, M., Middelaar, C.E. van, Schader, C., Zanten, H.H.E. van, 2017. *Grazed and confused? : Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question - and what it all means for greenhouse gas emissions*. FCRN, Oxford.
- Georgiou, K., Jackson, R.B., Vindušková, O., Abramoff, R.Z., Ahlström, A., Feng, W., Harden, J.W., Pellegrini, A.F.A., Polley, H.W., Soong, J.L., Riley, W.J., Torn, M.S., 2022. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nat Commun* 13, 3797. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9>
- Godde, C.M., de Boer, I.J.M., Ermgassen, E. zu, Herrero, M., van Middelaar, C.E., Muller, A., Röös, E., Schader, C., Smith, P., van Zanten, H.H.E., Garnett, T., 2020. Soil carbon sequestration in grazing systems: managing expectations. *Climatic Change* 161, 385–391. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02673-x>
- Goliński, P., Stypiński, P., Warda, M. (Eds.), 2012. Grassland - a European resource? proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation, Lublin, Poland 3-7 June 2012, Grassland Science in Europe. Presented at the General Meeting of the European Grassland Federation, Garmond Oficyna Wydawnicza, Poznań.
- Grün Stadt Zürich, 2019. Das Grünbuch der Stadt Zürich - Ziele und Massnahmen zur Entwicklung der Grün- und Freiräume.
- Herrero-Jáuregui, C., Oesterheld, M., 2018. Effects of grazing intensity on plant richness and diversity: a meta-analysis. *Oikos* 127, 757–766. <https://doi.org/10.1111/oik.04893>
- Herzog, F., 1998. Streuobst: a traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems* 42, 61–80. <https://doi.org/10.1023/A:1006152127824>
- Huyen, N.T., Fryganas, C., Uittenbogaard, G., Mueller-Harvey, I., Verstegen, M.W.A., Hendriks, W.H., Pellikaan, W.F., 2016. Structural features of condensed tannins affect in vitro ruminal methane production and fermentation characteristics. *The Journal of Agricultural Science* 154, 1474–1487. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000393>
- Ioannidis, R., Koutsoyiannis, D., 2020. A review of land use, visibility and public perception of renewable energy in the context of landscape impact. *Applied Energy* 276, 115367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115367>

- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Krauss, M., Berner, A., Perrochet, F., Frei, R., Niggli, U., Mäder, P., 2020. Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming – a synthesis of 15 years. Sci Rep 10, 4403. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61320-8>
- Kupper, T., Bonjour, C., Zaucker, F., Achermann, B., Menzi, H., 2010. Agrammon : An internet based model for the estimation of ammonia emissions, in: Cordovil, C., Ferreira, L. (Eds.), . Presented at the 14th RAMIRAN International Conference, Lisabon, Portugal, pp. 334–337.
- Lal, R., 2020. Soil organic matter and water retention. Agronomy Journal 112, 3265–3277. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>
- Lfl, 2017. Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkuhe, Zuchtrinder, Mastrinder, Schafe, Ziegen. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- Lynch, J., Cain, M., Pierrehumbert, R., Allen, M., 2020. Demonstrating GWP_{last}: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. Environ. Res. Lett. 15, 044023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7e>
- McSherry, M.E., Ritchie, M.E., 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. Global Change Biology 19, 1347–1357. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>
- Meier, M., Moakes, S., 2019. Swiss animal production adapted to local ecosystem boundaries: Production potential and eco-efficiency within different bio-geographic regions in Switzerland., Report NFP 69 NOVANIMAL. FiBL, Frick, CH.
- Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., Mey, Y. de, Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroege, W., Ciechomska, A., Accatino, F., Kopainsky, B., Poortvliet, P.M., Candel, J.J.L., Maye, D., Severini, S., Senni, S., Soriano, B., Lagerkvist, C.-J., Peneva, M., Gavrilescu, C., Reidsma, P., 2019. A framework to assess the resilience of farming systems. Agricultural Systems 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Moro, A., Lonza, L., 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment, The contribution of electric vehicles to environmental challenges in transport. WCTRS conference in summer 64, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>
- Müller, A., Steffens, M., Wälti, C., Schmidtke, K., 2023. Wege zu einer klimaneutralen Biolandwirtschaft. Studienergebnisse aus der Schweiz [WWW Document]. Der kritische Agrarbericht 2023. URL <https://orgprints.org/id/eprint/51576/> (accessed 10.18.23).
- Nisbet, E.G., Manning, M.R., Dlugokencky, E.J., Fisher, R.E., Lowry, D., Michel, S.E., Myhre, C.L., Platt, S.M., Allen, G., Bousquet, P., Brownlow, R., Cain, M., France, J.L., Hermansen, O., Hossaini, R., Jones, A.E., Levin, I., Manning, A.C., Myhre, G., Pyle, J.A., Vaughn, B.H., Warwick, N.J., White, J.W.C., 2019. Very Strong Atmospheric Methane Growth in the 4 Years 2014–2017: Implications for the Paris Agreement. Global Biogeochemical Cycles 33, 318–342. <https://doi.org/10.1029/2018GB006009>
- Oberholzer, H.-R., Weisskopf, P., Gaillard, G., Weiss, F., Knuchel, R.F., 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen.
- Poore, J., Nemecek, T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science 360, 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aq0216>
- Prasuhn, V., 2006. Erfassung der PO₄-Austräge für die Ökobilanzierung - SALCA-Phosphor 22.

- Ramírez-Restrepo, C.A., Barry, T.N., Marriner, A., López-Villalobos, N., McWilliam, E.L., Lassey, K.R., Clark, H., 2010. Effects of grazing willow fodder blocks upon methane production and blood composition in young sheep. *Animal Feed Science and Technology* 155, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.10.003>
- Richner, W., Flisch, R., Mayer, J., Schlegel, P., Zähner, M., Menzi, H., 2017. Eigenschaften und Anwendung von Düngern, in: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD).
- Rosa, L., Gabrielli, P., 2023. Achieving net-zero emissions in agriculture: a review. *Environ. Res. Lett.* 18, 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd5e8>
- Sadatshojaei, E., Wood, D.A., Rahimpour, M.R., 2021. Potential and Challenges of Carbon Sequestration in Soils, in: Applied Soil Chemistry. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1002/9781119711520.ch1>
- Saunois, M., Stavert, A.R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J.G., Jackson, R.B., Raymond, P.A., Dlugokencky, E.J., Houweling, S., Patra, P.K., Ciais, P., Arora, V.K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D.R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K.M., Carroll, M., Castaldi, S., Chandra, N., Crevoisier, C., Crill, P.M., Covey, K., Curry, C.L., Etope, G., Frankenberg, C., Gedney, N., Hegglin, M.I., Höglund-Isaksson, L., Hugelius, G., Ishizawa, M., Ito, A., Janssens-Maenhout, G., Jensen, K.M., Joos, F., Kleinen, T., Krummel, P.B., Langenfelds, R.L., Laruelle, G.G., Liu, L., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K.C., McNorton, J., Miller, P.A., Melton, J.R., Morino, I., Müller, J., Murgua-Flores, F., Naik, V., Niwa, Y., Noce, S., O'Doherty, S., Parker, R.J., Peng, C., Peng, S., Peters, G.P., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Regnier, P., Riley, W.J., Rosentreter, J.A., Segers, A., Simpson, I.J., Shi, H., Smith, S.J., Steele, L.P., Thornton, B.F., Tian, H., Tohjima, Y., Tubiello, F.N., Tsuruta, A., Viovy, N., Voulgarakis, A., Weber, T.S., van Weele, M., van der Werf, G.R., Weiss, R.F., Worthy, D., Wunch, D., Yin, Y., Yoshida, Y., Zhang, W., Zhang, Z., Zhao, Y., Zheng, B., Zhu, Qing, Zhu, Qiuan, Zhuang, Q., 2020. The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data* 12, 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Schader, C., Jud, K., Meier, M.S., Kuhn, T., Oehen, B., Gattinger, A., 2014. Quantification of the effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in Swiss organic milk production using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production, Towards eco-efficient agriculture and food systems: Selected papers from the Life Cycle Assessment (LCA) Food Conference, 2012, in Saint Malo, France* 73, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.077>
- Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Abächerli, F., Leifeld, J., Bucheli, T., 2021. Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngerzulassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. *Agroscope*. <https://doi.org/10.34776/AS112G>
- Stadt Zürich, 2023. Klimaschutzziel Netto-Null - Stadt Zürich [WWW Document]. URL https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltstrategie/klimapolitik/net-to-null.html (accessed 12.18.23).
- Stanton, A.V., 2024. Unacceptable use of substandard metrics in policy decisions which mandate large reductions in animal-source foods. *npj Sci Food* 8, 10. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00249-y>
- Tampio, E., Salo, T., Rintala, J., 2016. Agronomic characteristics of five different urban waste digestates. *Journal of Environmental Management* 169, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.001>
- Tifafi, M., Guenet, B., Hatté, C., 2018. Large Differences in Global and Regional Total Soil Carbon Stock Estimates Based on SoilGrids, HWSD, and NCSCD: Intercomparison and Evaluation Based on Field Data From USA, England, Wales, and France. *Global Biogeochemical Cycles* 32, 42–56. <https://doi.org/10.1002/2017GB005678>

- 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. *Nat Food* 4, 320–330. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00734-9>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int J Life Cycle Assess* 21, 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Zaralis, K., Padel, S., 2019. Effects of High Stocking Grazing Density of Diverse Swards on Forage Production, Animal Performance and Soil Organic Matter: A Case Study, in: Theodoridis, A., Ragkos, A., Salampasis, M. (Eds.), Innovative Approaches and Applications for Sustainable Rural Development, Springer Earth System Sciences. Springer International Publishing, Cham, pp. 131–146. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02312-6_8
- Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R., Verchot, L.V., 2017. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Sci Rep* 7, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15794-8>