



Kosten und Potenziale von Treibhausgasminderungsmaßnahmen der Schweizer Landwirtschaft

Autorinnen und Autoren

Sonja G. Keel, Zhengzheng Hao, Sonja Kay, Gabriele Mack,
Eva Winter, Daniel Bretscher



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeber	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161 3003 Bern www.agroscope.ch
Auskünfte	Sonja Keel, sonja.keel@agroscope.admin.ch
Titelbild	Gabriela Brändle
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2026
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as237g

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	4
Summary	5
Riassunto	5
1 Ausgangslage	7
1.1 Forschungsfragen	8
2 Methoden	8
2.1 Systemgrenzen	8
2.2 Identifizierung von Massnahmen	9
2.3 Definition der Szenarien	11
2.4 Kostenschätzung	13
2.5 Quantifizierung des Minderungspotenzials	16
2.6 Erstellung von MACC-Diagrammen für verschiedene Szenarien	18
3 Resultate	18
3.1 Kosten und Treibhausgasminderungspotenziale von zwölf Massnahmen	18
4 Diskussion	22
4.1 Einzelne Massnahmen	23
4.1.1 Kostengünstige Massnahmen	23
4.1.2 Kostenintensive Massnahmen	24
4.1.3 Massnahmen mit variablen Kosten	25
4.2 Interaktionen	26
4.3 Ausblick	26
5 Danksagung	27
6 Literaturverzeichnis	28
7 Abbildungsverzeichnis	33
8 Tabellenverzeichnis	33

Zusammenfassung

Um das Netto-Null-Emissionsziel zu erreichen, strebt die Schweiz eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion im Inland um 40 % gegenüber dem Stand von 1990 an. Die Stagnation bei der Emissionsreduktion macht jedoch deutlich, dass weitere, kosteneffiziente Massnahmen zur Emissionsminderung und zusätzlichen Kohlenstoffbindung dringend erforderlich sind. Die Grenzkostenkurve (Marginal Abatement Cost Curve, MACC) ist ein weit verbreitetes Instrument zur Ermittlung und Beurteilung solcher Massnahmen. Ihre Ergebnisse sind jedoch sehr empfindlich gegenüber den zugrunde liegenden Annahmen zur Umsetzung der Massnahmen, die selten angemessen diskutiert werden. In dieser Studie wurden zwölf, grösstenteils produktionsseitige technische Massnahmen mit jeweils bis zu drei verschiedenen Szenarien (d. h. Annahmen zur Umsetzung) identifiziert. Die Kosten und das Minderungspotenzial jeder Massnahme und jedes Szenarios wurden quantifiziert. Die Szenarien wurden in drei Kategorien eingeteilt – das Referenzszenario, ein kostengünstiges und ein kostenintensives – und es wurden drei separate MACC-Diagramme erstellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass unterschiedliche Annahmen zur Umsetzung der Massnahmen die Budgetanforderungen erheblich beeinflussen (87–1124 Mio. CHF jährlich für zwölf Massnahmen). Da mehrheitlich maximale Minderungspotenziale untersucht wurden, war deren Summe für die drei Szenarien recht ähnlich (2105–2548 kt Kohlendioxid-Äquivalente [CO₂eq] pro Jahr bei zwölf Massnahmen oder 28–34 % der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen im Jahr 1990). Für einzelne Massnahmen wurden jedoch grosse Unterschiede festgestellt. Diese Unsicherheit kann die Priorisierung der Massnahmen erschweren. Es unterstreicht ferner die entscheidende Bedeutung der Transparenz hinsichtlich der zugrunde liegenden Annahmen und Daten in MACC-Studien. Folgende vier Massnahmen erwiesen sich jedoch immer als kosteneffizient: Wiedervernässung organischer Böden, Futtermittelzusätze, eine erhöhte Nutzungsdauer von Milchkühen und die N-optimierte Fütterung. Insgesamt konnte mit kosteneffizienten Massnahmen ein Minderungspotenzial von 797–1379 kt CO₂eq (11–18 %) erreicht werden. Im Gegenzug waren Pflanzenkohle, Nitrifikationshemmer, Güllelagerabdeckung, Biogasanlagen und Gülleausbringung immer kostenintensiv. Einige Massnahmen weisen keine oder negative Kosten auf (z.B. erhöhte Nutzungsdauer). Die geringe Verbreitung dieser Massnahmen deutet darauf hin, dass Hindernisse, die über wirtschaftliche Faktoren hinausgehen, ihre Umsetzung behindern.

Résumé

Afin d'atteindre l'objectif de zéro émission nette de gaz à effet de serre, la Suisse vise une réduction d'au moins 40 % des émissions de la production agricole suisse par rapport au niveau de 1990. Cependant, on observe une stagnation dans la réduction des émissions. Des mesures supplémentaires de réduction des émissions et de séquestration du carbone, économiquement viables, sont donc urgemment nécessaires. La courbe des coûts marginaux de réduction (Marginal Abatement Cost Curve, MACC) est un outil largement utilisé pour identifier et évaluer de telles mesures. Ses résultats sont toutefois très influencés par les hypothèses de mise en œuvre des mesures, lesquelles sont rarement l'objet de discussions approfondies. La présente étude identifie douze mesures techniques, principalement liées à la production et quantifie les coûts et le potentiel de réduction de chaque mesure pour trois scénarios correspondant à différentes hypothèses de mise en œuvre. Les scénarios sont répartis en trois catégories – le scénario de référence, un scénario économiquement avantageux et un scénario économiquement coûteux – et trois diagrammes MACC distincts sont établis.

Les résultats montrent que certaines hypothèses de mise en œuvre des mesures ont une incidence considérable sur les contraintes budgétaires (87–1124 millions de CHF par an pour les douze mesures). En revanche, comme ce sont principalement les potentiels de réduction maximaux qui ont été analysés, leur somme est assez similaire dans les trois scénarios (2105–2548 kt d'équivalents dioxyde de carbone [éq.-CO₂] par an pour les douze mesures, soit 28–34 % des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture de 1990). Des écarts importants ont toutefois été constatés pour certaines mesures. Cette incertitude peut compliquer la hiérarchisation des mesures, et souligne en outre l'importance capitale de la transparence vis-à-vis des hypothèses et des données de départ dans les études MACC. Les quatre mesures suivantes se sont toujours avérées supportables du point de vue économique:

réhumidification des sols organiques, compléments fourragers, allongement de la durée d'utilisation des vaches laitières, affouragement optimisé en azote. Dans l'ensemble, ces quatre mesures permettraient d'atteindre un potentiel de réduction de 797–1379 kt éq.-CO₂ (11–18 %). Le charbon végétal, les inhibiteurs de nitrification, la couverture des fosses à lisier, les installations de biogaz et l'épandage de lisier se sont toujours avérés coûteux. À l'inverse, certaines mesures (ex: l'allongement de la durée d'utilisation des vaches laitières) ne génèrent aucun coût, voire des coûts négatifs. Le faible recours à ces mesures suggère que des obstacles autres que des facteurs économiques entravent leur mise en œuvre.

Summary

To achieve the net zero emissions target, Switzerland aims to reduce greenhouse gas emissions from domestic agricultural production by 40 per cent compared to 1990. However, the stagnation in emissions reduction in recent years clearly shows that additional cost-efficient measures, including measures for carbon sequestration, are urgently needed. The Marginal Abatement Cost Curve (MACC) is a widely used tool for calculating and assessing such measures, but its results are highly sensitive to the underlying assumptions on implementation, which are seldom adequately discussed. In this study, twelve mainly technical measures, on the production side, were identified. The costs and mitigation potential of each measure and up to three different scenarios per measure (i.e. assumptions regarding implementation) were quantified. The scenarios were divided into three categories – the reference scenario, a cost-efficient and a cost-intensive scenario – for which three separate MACCs were created.

The results show that different assumptions regarding implementation of the measures significantly influence the budget requirements (CHF 87 million –1124 million per year for the twelve measures). Since maximum mitigation potentials were investigated for the most part, the sum for each of the three scenarios was very similar (2105–2548 kt carbon dioxide equivalents [CO₂eq] per year for twelve measures or 28–34% of the agricultural greenhouse gas emissions in 1990). Major differences were, however, found for individual measures. This uncertainty can make prioritisation of the measures difficult. Furthermore, it underscores the vital importance of transparency in terms of the underlying assumptions and data in MACC studies. Nevertheless, the following four measures proved cost-efficient in all cases: rewetting organic soils; feed additives; extended dairy-cow lifespan; and N-optimised feeding. In total, cost-efficient measures achieved a mitigation potential of 797–1379 kt CO₂eq (11–18%). By contrast, biochar, nitrification inhibitors, slurry covers, biogas plants and slurry spreading were consistently cost-intensive. There are several no-cost or negative-cost (i.e. profitable) measures (e.g. extended dairy-cow lifespan). The fact that these measures are rarely employed suggests that there are other obstacles beyond economic factors that hinder their implementation.

Riassunto

Per raggiungere l'obiettivo delle emissioni nette pari zero, la Svizzera intende ridurre del 40 per cento rispetto ai livelli del 1990 le emissioni di gas serra legate alla produzione agricola interna. La riduzione delle emissioni stagnante dimostra però che sono urgentemente necessarie ulteriori misure di mitigazione e di sequestro del carbonio, che siano anche efficienti dal punto di vista dei costi. La curva dei costi marginali di abbattimento (MACC, dall'inglese Marginal Abatement Cost Curve) è uno strumento ampiamente utilizzato per identificare e valutare tali misure. Tuttavia, i suoi risultati dipendono sensibilmente dalle ipotesi di attuazione delle misure, ipotesi che raramente vengono discusse in modo adeguato. In questo studio sono state individuate dodici misure tecniche, per lo più a livello produttivo, ciascuna con fino a tre diversi scenari (ipotesi di attuazione). Per ogni misura e per ogni scenario sono stati quantificati i costi e il potenziale di riduzione. Gli scenari sono stati suddivisi in tre categorie, vale a dire uno scenario di riferimento, uno a bassi costi e uno ad alti costi e sono stati elaborati tre diagrammi MACC distinti.

I risultati mostrano che ipotesi diverse relative all'attuazione delle misure influenzano in modo significativo il budget necessario (tra 87 e 1124 milioni di franchi all'anno per dodici misure). Poiché nella maggior parte dei casi sono stati considerati i potenziali massimi di riduzione, la loro somma è risultata abbastanza simile nei tre scenari (per dodici misure: tra le 2105 e le 2548 kt di equivalenti di CO₂ all'anno [CO₂eq], pari al 28–34 per cento delle emissioni di gas

serra dell'agricoltura nel 1990). Per singole misure, tuttavia, sono emerse differenze considerevoli. Questa incertezza può rendere più difficile definire priorità tra le misure ed evidenzia inoltre l'importanza decisiva della trasparenza riguardo alle ipotesi e ai dati alla base di studi MACC. Ciononostante, le seguenti quattro misure si sono rivelate sempre convenienti dal punto di vista dei costi: reidratazione dei suoli organici, additivi per gli alimenti per animali, prolungamento della durata d'utilizzo delle mucche e alimentazione ottimizzata sotto il profilo dell'azoto. Nel complesso, con misure efficienti dal punto di vista dei costi si è potuto ottenere un potenziale di riduzione compreso tra le 797 e le 1379 kt di CO₂eq (11–18 %). Al contrario, il carbone vegetale, gli inibitori della nitrificazione, la copertura dei depositi di colaticcio, gli impianti di biogas e lo spandimento del liquame sono risultati sempre dal costo elevato. Alcune misure presentano costi nulli o negativi (per esempio il prolungamento della durata di utilizzo). La loro scarsa diffusione indica che, oltre ai fattori economici, esistono altri ostacoli che ne limitano l'adozione.

1 Ausgangslage

Der Bundesrat hat 2019 das Netto-Null-Ziel beschlossen und 2021 die dazugehörige Langfristige Klimastrategie der Schweiz verabschiedet (Bundesrat, 2021). In diesem Zusammenhang wurden Minderungsziele für verschiedene Sektoren festgelegt, u.a. für die Landwirtschaft, da sie einen relevanten Anteil der Emissionen ausmacht (Klotz & Offenhammer, 2024; Kühni & Menghini, 2023). Das Ziel, die Treibhausgas (THG)-emissionen aus der inländischen, landwirtschaftlichen Produktion bis 2050, um mindestens 40 % gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren, wurde in der Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050 bestätigt und auf Etappen runtergebrochen (BLW, BLV, BAFU, 2023).

Zur Emissionsminderung ist ein sorgfältig konzipiertes und umsetzbares Massnahmenpaket erforderlich, das als Grundlage für den künftigen agrarpolitischen Rahmen in der Schweiz dienen soll. Diese Notwendigkeit wird besonders deutlich vor dem Hintergrund, dass der Rückgang der Emissionen aus der Schweizer Landwirtschaft in den letzten zwei Jahrzehnten stagnierte (FOEN, 2024b; Leifeld & Fuhrer, 2005; Mann & Kaiser, 2023) und eine signifikante Ziellücke zwischen der Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen und dem notwendigen Absenkpfad zur Erreichung der Ziele der Klimastrategie Landwirtschaft besteht (BLW, 2025a; Bretscher, 2025; FOEN, 2024a). Weitere wirksame Massnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind notwendig. Die vorliegende Arbeit fokussiert dabei vor allem auf produktionsseitige Massnahmen.

Die Agrarpolitik bildet den Rahmen, um die Umsetzung von Klimaschutzmassnahmen mit agrarpolitischen Instrumenten voranzutreiben. Die entsprechenden Arbeiten an der AP30+ erfolgen unter engem Einbezug einer Begleitgruppe, gemeinsam mit den Kantonen und verschiedenen Organisationen, die die Interessen der gesamten Wertschöpfungskette breit abdecken. Wichtige Grundlagen für die Erarbeitung der AP30+ bilden neben der Klimastrategie der Postulatbericht 20.3931/21.3015 zur zukünftigen Ausrichtung der Agrarpolitik von Juni 2022 sowie die Motion 22.4251 «Bericht zur zukünftigen Ausrichtung der Agrarpolitik. Konkretisierung des Konzepts». Vier Aspekte stehen dabei im Vordergrund, welche in der vorliegenden Arbeit aufgenommen und behandelt werden:

- Sicherstellung der Ernährungssicherheit auf Basis einer diversifizierten inländischen Nahrungsmittelproduktion mindestens auf aktuellem Niveau der Selbstversorgung.
- Reduktion des ökologischen Fussabdrucks von der landwirtschaftlichen Produktion bis zum Konsum von Lebensmitteln; dabei sind die Importe mitzuberücksichtigen.
- Verbesserung von wirtschaftlichen und sozialen Perspektiven für die Land- und Ernährungswirtschaft.
- Erhöhung der Transparenz und Kostenwahrheit.

Im Rahmen der Erarbeitung der AP30+ wird zunehmend an das selbstverantwortliche Engagement der Branchen appelliert. Diverse privatwirtschaftliche und kantonale Akteure haben sich entsprechende Klimaziele gesetzt und Klimaschutzprojekte lanciert (z.B.: IP-SUISSE, Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Branchenorganisation Milch). Die Resultate der vorliegenden Studie bilden in diesem Umfeld wichtige Entscheidungsgrundlagen, sowohl in Bezug auf die Auswahl der umzusetzenden Massnahmen als auch betreffend der konkreten Umsetzung von Finanzierungsmodellen.

Grenzkostenkurven (Marginal Abatement Cost Curves, kurz MACC) sind ein weit verbreitetes Instrument zur Ermittlung kosteneffizienter Klimaschutzmassnahmen und zur Vermittlung dieser wissenschaftlichen Erkenntnisse an politische Entscheidungsträger. Allerdings sind Unsicherheit und Transparenz der Annahmen in MACC-Studien von entscheidender Bedeutung – insbesondere bei der Interpretation der Ergebnisse. Bisher wurden diese Aspekte jedoch in wissenschaftlichen Studien aufgrund der damit verbundenen Komplexität oft zu wenig betont. Dies kann dazu führen, dass aufgrund eines simplifizierten und einseitigen Verständnisses uninformierte Entscheidungen getroffen werden. MACC-Studien für die Schweizer Landwirtschaft sind nach wie vor rar. Eine Analyse von McKinsey & Company (2009) beschränkte sich auf eine grobe Schätzung des gesamten Minderungspotenzials, ohne die Kosten der einzelnen Massnahmen zu bewerten. Eine Studie auf regionaler Ebene von Huber et al. (2023) konzentrierte sich ausschliesslich auf die Milchproduktion und berücksichtigte lediglich vier Massnahmen.

Mit dieser Studie wird eine umfassende MACC auf nationaler Ebene für Klimaschutzmassnahmen in der Landwirtschaft vorgestellt. Die Analysen sollen ausdrücklich die Unsicherheiten berücksichtigen, die sich aus den unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Umsetzbarkeit der Massnahmen ergeben. Zu diesem Zweck wurden (i) potenzielle Massnahmen – sowohl zur Minderung von Treibhausgasen als auch zur CO₂-Aufnahme (C-Sequestrierung) zusammen mit verschiedenen Szenarien (d. h. unterschiedliche Annahmen für die Umsetzung der Massnahmen) identifiziert; (ii) die Kosten und das Minderungspotenzial jeder Massnahme und jedes Umsetzungsszenarios auf nationaler Ebene quantifiziert; (iii) drei MACCs erstellt für ein Referenzszenario, ein kostengünstiges und ein kostenintensives Umsetzungsszenario.

Die Resultate der vorliegenden Studie fliessen auch in ein Projekt des ETH-Bereichs ein. Das Projekt «Swiss Center of Excellence on Net-Zero Emissions (SCENE)» wird im Rahmen der «Joint Initiatives in the Strategic Area Energy, Climate and Sustainable Environment» finanziert und vom Paul Scherrer Institut geleitet. Die vorliegenden Resultate werden in das sektorübergreifende Modell Swiss TIMES Energy System Model (STEM) eingebaut (Chabouni et al. in Vorbereitung). Durch die Integration der Methan (CH₄)- und Lachgas (N₂O)-emissionen, welche hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammen, wird die Darstellung der Nicht-CO₂-Treibhausgase verbessert und die Fähigkeit des Modells gestärkt, kostenoptimale Wege zur Erreichung des Netto-Null-Ziels der Schweiz bis 2050 aufzuzeigen.

1.1 Forschungsfragen

- Wie hoch ist der Beitrag verschiedener THG-Minderungsmassnahmen für den Sektor Landwirtschaft?
- Wie hoch ist der Beitrag von C-Sequestrierung im Boden und in Agroforstsystemen unter Berücksichtigung der verfügbaren Biomasse und der landwirtschaftlichen Fläche?
- Wie hoch sind Kosten für die gezeigten THG-Minderungsmassnahmen?
- Wie hoch sind die gesamten THG-Minderungspotenziale und Kosten für alle untersuchten Massnahmen?

2 Methoden

2.1 Systemgrenzen

Um eine Übereinstimmung mit der Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung zu gewährleisten, wurde die Bewertung innerhalb der gleichen Systemgrenzen durchgeführt. Das heisst, dass zusätzlich zu den THG-Emissionen für den Agrarsektor gemäss der Definition des IPCC (2006) auch die Veränderungen des organischen Kohlenstoffvorrates in Acker- und Grünlandböden aus dem Landnutzungssektor (LULUCF) sowie die Emissionen aus dem Energiesektor für den Energieverbrauch von Landmaschinen und Gewächshausheizungen miteinbezogen wurden. Für die Umrechnung in CO₂ Äquivalente (CO₂eq) wurde das Erwärmungspotenzial über 100 Jahre gerechnet. Daraus ergibt sich ein Treibhausgaspotenzial von 265 für N₂O und 28 für CH₄ (IPCC, 2013). Zu Beginn des Projektes waren die Emissionen aus dem Jahr 2022 die aktuellen und diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft (Datenquelle: FOEN, 2024b)

IPCC-Sektor	THG	Emissionen (kt CO ₂ eq) im Jahr 1990	Emissionen (kt CO ₂ eq) im Jahr 2022	Wichtigste Emissionsquellen
1: Energie	CO ₂	830 (11 %)	550 (7 %)	Direkter Energieverbrauch in der Landwirtschaft
3: Landwirtschaft	CH ₄	4'710 (63 %)	4'230 (57 %)	-Enterische Fermentation, hauptsächlich in der Rinderhaltung -Hofdüngerlagerung
	N ₂ O	2'100 (28 %)	1'610 (22 %)	-Landwirtschaftliche Böden, hauptsächlich Stickstoffdüngereinsatz - Hofdüngerlagerung
	CO ₂	50 (1 %)	40 (1 %)	-Kalkung von Böden -Harnstoffdünger
4: Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)	CO ₂	-200 (-3 %)*	930 (13 %)*	Veränderungen des organischen Kohlenstoffvorrats im Boden von Acker- und Grünland

* Aufgrund starker, jährlicher Schwankungen der Landnutzungsemissionen bedingt durch wechselnde Wetterbedingungen wird für die Überprüfung der Zielerreichung der Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung ein 5-jähriges, gleitendes Mittel verwendet. In dieser Tabelle werden Durchschnittswerte für die drei in der Submission 2024 verfügbaren Jahre angegeben (1990-1992 und 2020-2022).

2.2 Identifizierung von Massnahmen

In einem ersten Schritt wurden mögliche Massnahmen identifiziert (Abbildung 1). Aufgrund der zur Verfügung stehenden Modelle lag der Fokus auf produktionsseitigen, technischen Massnahmen. Strukturelle Massnahmen (z.B. Reduktion der Viehbestände als Folge einer mehr pflanzenbasierten Ernährung) konnten hier nicht berücksichtigt werden, obwohl bekannt ist, dass diese ein grosses Minderungspotenzial haben (Bretscher et al. 2018). Mögliche Treibhausgasminderungs- und C-Sequestrierungsmassnahmen wurden anhand des folgenden Verfahrens identifiziert: (i) Literaturrecherche zur Erfassung potenzieller Massnahmen; (ii) Filterung der erfassten Massnahmen, um diejenigen auszuwählen, die speziell für den Kontext der Schweiz geeignet sind; (iii) weitere Überprüfung der Massnahmen durch Gespräche mit relevanten ExpertInnen auf der Grundlage folgender Kriterien: erwartetes Minderungspotenzial, praktische Durchführbarkeit, Konformität mit bestehender Agrarpolitik. Darüber hinaus wurde das übergeordnete Prinzip berücksichtigt, mit dem Ernährungssicherheit und Klimaschutz in Einklang gebracht werden können (BLW, 2025a; Eory et al., 2018; Mann & Kaiser, 2023): Für die Massnahmen gilt, dass die Produktion von Nahrungsmitteln nicht wesentlich vermindert werden darf. Die ermittelten Massnahmen wurden anhand der Emissionsquellen, an denen sie hauptsächlich ansetzen, kategorisiert (Tabelle 2). Die Aufteilung der Massnahmen in unterschiedliche Kategorien beruht auf ihrem Haupteffekt. Sie könnte auch anders vorgenommen werden, da häufig diverse Emissionskategorien und Prozesse betroffen sind, was eine eindeutige Zuordnung erschwert. Die Kategorisierung sollte daher als pragmatischer Vorschlag verstanden werden und kann für spezifische Fragestellungen auch anders gehandhabt werden. Beispielsweise können bei der Massnahme Wiedervernässung CH₄ Emissionen anfallen. Weil diese tiefer sind als die eingesparten CO₂ und N₂O Emissionen (Widmer et al., 2026), wurden sie vernachlässigt. Im Fall der Pflanzenkohle wurde eine mögliche Reduktion der N₂O Emissionen vernachlässigt, da unklar ist, ob diese längerfristig erhalten bleibt (Borchard et al., 2019). Bei der Verfütterung von Pflanzenkohle (häufigste Anwendungsart in der Schweiz) oder der Zugabe im Stall und im Lager gibt es keine erwiesene Wirkung auf THG-Emissionen (Bretscher et al., 2025). Es gibt jedoch Hinweise auf Verluste von Pflanzenkohle bei der Verdauung (Walz et al., 2026), welche hier aber nicht berücksichtigt wurden.

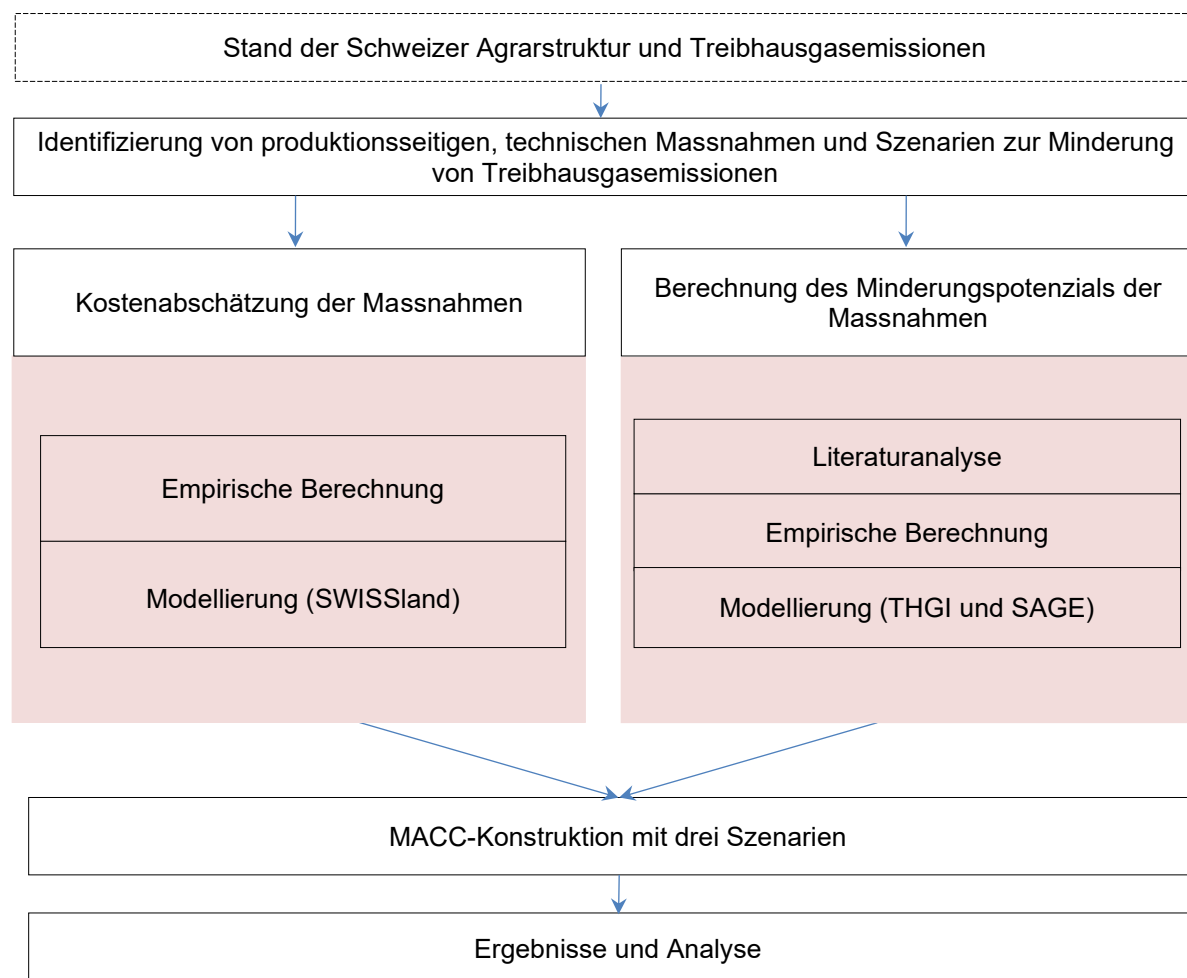


Abbildung 1: Überblick über den methodischen Ansatz. Verwendete Modelle: Agrarsektormodell SWISSland, Treibhausgasinventarmodell (THGI) und Schweizer Ammoniak- und Treibhausgasemissionsmodell (Swiss Ammonia and Greenhouse Gas Emission (SAGE) model).

Tabelle 2: Beschreibung der Massnahmen

Kategorie (betroffene Treibhausgase)	Massnahme	Funktionsweise
C-Sequestrierung und Reduktion des Viehbestands (CO ₂ + CH ₄ + N ₂ O)	Agroforst	Bindung von CO ₂ durch Anpflanzen von Bäumen auf geeignetem Dauergrünland, Speicherung von Kohlenstoff in der Baumbiomasse bei gleichzeitiger Reduktion der Viehbestände aufgrund des geringeren Futterertrags durch die Bestockung der Weiden durch Bäume
C-Sequestrierung (CO ₂)	Pflanzenkohle	Langfristige Kohlenstoffspeicherung in Böden durch Ausbringen von Pflanzenkohle aus Biomasse aus der Landschaftspflege
Bodenbürtige THG-Emissionen (CO ₂ + N ₂ O)	Wiedervernässung	Wiederherstellung des Wasserhaushalts in entwässerten, organischen Böden zur Reduktion der CO ₂ - und N ₂ O-Emissionen
Bodenbürtige THG-Emissionen (N ₂ O)	Nitrifikationshemmer	Einsatz von Nitrifikationshemmern zur Verringerung der N ₂ O-Emissionen als Folge der Ausbringung von Stickstoffdüngern
	Körnerleguminosen	Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen (Stickstofffixierer), um den Bedarf an synthetischen Düngemitteln zu senken und die N ₂ O-Emissionen zu verringern
Enterische Fermentation (CH ₄)	Futtermittelzusatz	Einsatz von Futtermittelzusätzen für ausgewachsene Milchkühe zur Reduktion der enterischen CH ₄ -Emissionen
Hofdüngerlagerung (N ₂ O)	Güllelagerabdeckung	Abdeckung von Güllelagern zur Minimierung von NH ₃ -Emissionen und zur Steigerung der N-Nutzungseffizienz
Hofdüngerlagerung (CH ₄ + N ₂ O)	Biogasanlagen	Vergärung von Hofdünger (Gülle und Mist) zur Reduktion der CH ₄ - und N ₂ O -Emissionen

Kategorie (betroffene Treibhausgase)	Massnahme	Funktionsweise
Herdenmanagement (CH ₄ + N ₂ O)	Nutzungsdauer	Verlängerung der produktiven Lebensdauer von Milchkühen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen pro Milcheinheit
N-Nutzungseffizienz (N ₂ O)	Gülleausbringung	Einsatz emissionsarmer Techniken zur Gülleausbringung, um NH ₃ -Verluste zu reduzieren und die N-Nutzungseffizienz zu steigern
	N-optimierte Düngung	Schlagspezifische Düngung oder Präzisionsdüngungstechnologien, um eine übermässige Stickstoffausbringung zu verhindern und N ₂ O-Emissionen zu reduzieren
	N-optimierte Fütterung	Einsatz von Futtermitteln für Schweine mit niedrigem Rohproteingehalt und synthetischen Aminosäuren, um die Stickstoffausscheidung und die damit verbundenen N ₂ O-Emissionen zu reduzieren

2.3 Definition der Szenarien

Um die Kosten und das Treibhausgasminderungspotenzial jeder Massnahme zu quantifizieren, müssen Annahmen hinsichtlich der Umsetzung der Massnahme definiert werden. Dazu wurden Informationen aus verschiedenen Quellen berücksichtigt, darunter auch graue Literatur und ExpertInnenwissen. Für die meisten der identifizierten Massnahmen können aufgrund der verschiedenen Quellen zahlreiche unterschiedliche Annahmen (d. h. Umsetzungsszenarien) getroffen werden. Um der Bandbreite an möglichen Annahmen Rechnung zu tragen, wurden bis zu drei Szenarien pro Massnahme definiert, um die Sensitivität der Ergebnisse zu untersuchen (Tabelle 3). Falls weniger als drei Szenarien pro Massnahme vorhanden waren, wurde ein Szenario in den MACC-Diagrammen mehrfach benutzt (z.B. bei der Pflanzenkohle).

Als Ausgangszustand gilt die Situation heute. Falls dafür genaue Daten nötig waren, stammen sie, wenn immer möglich aus dem Jahr 2022. Grund dafür ist, dass zu Beginn der vorliegenden Arbeiten diese Resultate des Nationalen THG-Inventars der Submission 2024 (FOEN, 2024b) zur Verfügung standen und diese die Emissionen der Jahre 1990–2022 abbilden.

In den meisten Fällen wurden Szenarien angenommen, welche die THG-Minderung maximieren. Das erklärt, weshalb beispielsweise für Agroforst die Flächen, auf welchen Bäume gepflanzt werden können, für alle drei Szenarien gleich gross sind (360'000 ha). In diesen Szenarien wurden nur die Erträge für Futtermittel oder für Obst/Nüsse variiert.

Nach der Berechnung der Kosten und Minderungspotenziale für jede Massnahme, wurden die Massnahmen anhand des Preises pro vermiedene Tonne CO₂eq in drei Kategorien eingeteilt: Das Referenzszenario (Sr), das günstige (Sg), und das teure (St). Diese drei Kategorien wurden für die MACC-Diagramme benutzt.

Tabelle 3: Beschreibung des aktuellen Zustands (Ausgangszustand) und von ein bis drei Szenarien pro Massnahme für verschiedene Annahmen bei der Umsetzung. Sr steht für das Referenzszenario, das günstige wird mit Sg und das teure mit St abgekürzt. Die Einteilung erfolgte anhand des Preises pro vermiedene Tonne CO₂eq.

Massnahme	Ausgangszustand (Jahr 2022)	Szenarien	Referenzen
Agroforst	Ca. 63'000 ha traditionelle Agroforstwirtschaft	Sr/St: Anpflanzung von Kirsch-, Apfel- (jeweils 50 Bäume/ha) und Walnussbäumen (30 Bäume/ha) auf allen weiteren geeigneten Dauergrünlandflächen (360'000 ha), mit 10 % Ertragseinbussen bei Futterpflanzen aufgrund von Bestockung und durchschnittlichen Obst- und Nusserträgen Sg: Anpflanzung derselben Bäume wie in Sr auf denselben Flächen, mit 10 % Ertragseinbussen bei Futterpflanzen und optimistischen Erträgen aus Obst- und Nusserträgen	Roberti et al., 2024; den Hond-Vaccaro et al., 2025; Winter et al., (in Vorbereitung);
Pflanzenkohle	Keine Anwendung*	Sr/Sg/St: Pflanzenkohleproduktion auf Basis heimischer Biomasse aus der Landschaftspflege; ergibt 50'225t Pflanzenkohle/Jahr, die auf Ackerland ausgebracht wird	Keel et al., 2023
Wiedervernässung	Keine Anwendung*	Sr: Wiedervernässung von allen landwirtschaftlich genutzten organischen Böden (17'435 ha) St: Wiedervernässung von als Ackerland genutzten organischen Böden (8'438 ha) Sg: Wiedervernässung von als Dauergrünland genutzten organischen Böden (8'997 ha)	Wüst-Galley and Leifeld, 2025
Nitrifikationshemmer	Keine Anwendung*	Sr/St: Ersatz aller Mineraldünger ausser Harnstoff (32'845 tN/Jahr) durch Düngemittel mit Dimethylpyrazolphosphat (DMPP) Sg: Ersatz aller Mineraldünger einschliesslich Harnstoff (40'047 tN/Jahr) durch Düngemittel mit DMPP	First Climate, 2016; FOEN, 2024
Körnerleguminosen	Ca. 3'000 ha Sojabohnen, 760 ha Ackerbohnen, 2'600 ha Eiweisserbsen	St: Ausweitung des Anbaus auf Basis des agronomischen Anbaupotenzials: Sojabohnen (+48'710 ha), Ackerbohnen (+44'095 ha), Erbsen (+8'706 ha); Kunstwiesen (-73'901 ha), Silomais (-27'610 ha) Sr: Ausweitung des Anbaus aufgrund des Marktpotenzials: Sojabohnen (+4'000 ha), Erbsen (+15'000 ha); Kunstwiesen (-13'832 ha), Silomais (-5'168 ha) Sg: Ausweitung des Anbaus aufgrund der standortangepassten Landnutzung und optimierten Fruchtfolgen: Sojabohnen (+16'615 ha), Kunstwiesen (-12'096 ha), Silomais (-4'519 ha)	Keller et al., 2024; Ramseyer et al., 2021
Futtermittelzusatz	Keine Anwendung*	Sr: Verabreichung von 3-Nitrooxypropanol (3-NOP) an alle ausgewachsenen Milchkühe auf konventionellen Betrieben während der Stallfütterung Sg: Verabreichung von 3-NOP an 50% der ausgewachsenen Milchkühe auf konventionellen Betrieben während der Stallfütterung St: Verabreichung von 3-NOP an alle ausgewachsenen Milchkühe auf konventionellen Betrieben während der Stallfütterung; berücksichtigt wird zudem die unterschiedliche Wirksamkeit je nach Rasse (Schweizer Braunvieh und Holstein)	Kebreab et al., 2023; Duval, 2024; Ma et al., 2024 Argento et al., 2022
Güllelagerabdeckungen	Ca. 90 % der Güllelager sind abgedeckt	Sr: Anbringen von festen Deckeln (Beton oder Holz) auf allen noch offenen Güllelagern St: Anbringen von Zeltedächern auf allen noch offenen Güllelagern Sg: Anbringen von Schwimmfolien auf allen noch offenen Güllelagern	Agrammon, 2024; Kupper et al., 2022

Massnahme	Ausgangszustand (Jahr 2022)	Szenarien	Referenzen
Biogasanlagen	Ca. 100 Biogasanlagen, die ca. 150 kt flüchtige Feststoffe vergären	Sr/St: Zusätzlich werden jährlich 12.6 Mt Gülle vergoren, was 1'100 kt flüchtigen Feststoffen entspricht. Anlagengrösse: 50 kW, 2'520 zusätzliche Anlagen	Burg et al., 2018; FOEN, 2024; Informationen von Ökostrom Schweiz
		Sg: wie Sr. Anlagengrösse: 150 kW, 840 zusätzliche Anlagen	
Nutzungs- dauer	Keine Erhöhung der durchschnittlichen Anzahl Laktationen	Sg: Erhöhung der Laktationen pro Milchkuh um eins (von 3.5 auf 4.5 basierend auf Winter et al., 2024)	Winter et al., 2024 Bretscher et al., 2018
		Sr/St: Erhöhung der Laktationen pro Milchkuh um 0.8 (von 4.5 auf 5.1 basierend auf Bretscher et al., 2018)	
Gülleaus- bringung	Ca. 63 % herkömmliche Gülleausbringungstechnik (Prallteller), 35 % Schleppschlauch, 1.5 % Schleppschuh, 0.5 % Gülledrill	Sr/Sg/St: Erhöhung des Anteils emissionsarmer Gülleausbringungstechniken: 67.4 % Schleppschlauch, 2.1 % Schleppschuh, 0.5 % Gülledrill	Kupper et al., 2022; Ecoplan, 2019
N-optimierte Düngung	Düngung nach unkorrigierter GruD-Norm (Grundlagen für die Düngung)	St: Reduktion der Weizendüngung um 25% mittels Präzisionsdüngung	Argento et al., 2022; Richner et al., 2017 Grossrieder et al., 2022; Survey
		Sr/Sg: 20% Reduktion der Düngungsraten durch «korrNorm» Methode (Anpassung der Korrekturfaktoren an z.B. Niederschlag/Ernte) auf 62% der Betriebe	
N-optimierte Fütterung	28 % der Mastschweine werden noch konventionell gefüttert	Sr/Sg: Anwendung einer N-optimierten Fütterung für alle Mastschweine in konventionellen Betrieben (ohne Biobetriebe 25.3 % verbleibend), wobei die Kosten auf Schätzungen von ExpertInnen basieren	Kupper et al., 2022
		St: wie Sr, jedoch mit Kostenschätzung auf Basis von Beitragsbestimmungen	

*Diese Massnahmen werden teilweise schon angewendet, aber in einem geringen Mass. Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass die Minderungspotenziale dadurch nur minimal überschätzt werden.

2.4 Kostenschätzung

Die Kosten jeder Massnahme wurden für jedes Szenario aus der Sicht der LandwirtInnen berechnet. Dazu wurden die kostenverursachenden Posten analysiert, z. B. zusätzliche Arbeitsbelastung, Investitionen und entgangene/zusätzliche Gewinne vor und nach der Umsetzung der Massnahme. Die entsprechenden Informationen wurden aus verschiedenen Datenquellen, darunter Berichte und Expertengespräche zusammengetragen (Tabelle 4). Direktzahlungen oder Förderbeiträge im Zusammenhang mit den Massnahmen wurden bei der Kostenschätzung, welche den MACC-Diagrammen zugrunde liegen, nicht berücksichtigt. Grund dafür ist, dass die Gesamtkosten der Massnahmen berechnet wurden, unabhängig davon wer die Kosten trägt (z.B. LandwirtInnen oder Bund). Dies erlaubt einen Vergleich der Gesamtkosten unabhängig davon, ob eine Massnahme aktuell vom Bund unterstützt wird oder nicht.

Die Kosten der Massnahmen wurden zunächst anhand von Gleichungen für jede Einheit (z.B. Güllelager, Milchkuh) berechnet (Gleichung 1). Anschliessend wurden die Kosten für jedes Szenario auf die nationale Ebene hochgerechnet, basierend auf den Annahmen in Tabelle 3.

Bei dauerhaften Massnahmen, wie z. B. bei „Agroforst“, fallen drei Kostenkomponenten an: Investitionskosten (c_{em}), Unterhaltskosten (c_{mt}) und entgangene Gewinne (c_{fp}) (Ahlvik et al., 2014; Arabi et al., 2006; Hao et al., 2023) welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Umsetzungsphase der Massnahmen auftreten. c_{em} treten nur einmalig bei der erstmaligen Umsetzung der Massnahme auf. c_{mt} fallen jährlich an, um die Funktionalität der Massnahme aufrechtzuerhalten, und c_{fp} umfassen die Veränderung des jährlichen Nettogewinns der landwirtschaftlichen Betriebe im Vergleich zum Ausgangszustand. Im Gegensatz dazu umfassen operative Massnahmen, z. B. „Futtermittelzusatz“, nur die Kostenkomponente c_{fp} . Für jede Massnahme (M_j) wurden die durchschnittlichen

jährlichen Kosten c^{Mj} auf Einheitenebene mit Gleichung 1 berechnet, wobei der Index j eine bestimmte Massnahme $j=1, \dots, 12$ bezeichnet.

$$c^{Mj} = \begin{cases} c_{em}^{Mj} \cdot \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} + c_{mt}^{Mj} + c_{fp}^{Mj}, & M_j := \text{dauerhafte Massnahmen} \\ c_{fp}^{Mj}, & M_j := \text{operationelle Massnahmen} \end{cases} \quad \text{Gleichung 1}$$

Dabei wird die Diskontierungsmethode auf c_{em}^{Mj} mit dem Faktor $r/(1-(1+r)^{-n})$ verwendet. Die Diskontierung wird über die Dauer der Massnahme von n Jahren berücksichtigt, wobei der Diskontsatz r auf 4 % (Boardman et al., 2018; Giannitsopoulos et al., 2020) festgelegt ist. Die Anzahl Jahre ist je nach Massnahme oder Szenario unterschiedlich und bezieht sich auf die Lebensdauer der Investition (z.B. 35 Jahre für eine feste Gülleabdeckung, 19.5 Jahre für ein Zelt Dach, oder 12.5 Jahre für eine schwimmende Folie).

Tabelle 4: Wichtigste Kostenpositionen und Annahmen der Minderungsmaßnahmen

Massnahme	Wichtigste kostenverursachende Aktivitäten	Referenz
Agroforst*	Pflanzen von Jungbäumen: 160 CHF/Baum; Fällen von Bäumen nach 60 Jahren: 55 CHF/Baum; sonstige Kosten (z.B. Baumpflege; Aufwand ist baumspezifisch, wobei Lohnkosten von 20 CHF/Stunde angenommen werden)	Nishizawa et al., 2022; Bütler et al., 2024; ExpertInnen
Pflanzenkohle**	Kauf von Pflanzenkohle: 1'750 CHF/Tonne	Marktpreise für Pflanzenkohle von Schweizer Pflanzenkohleunternehmen (VERORA und APD)
Wiedervernässung	Planung und Bau Wasserstandsregulierung: 4'000 CHF/ha; Zusätzliche Kosten für die Bewirtschaftung wiedervernässter Flächen: 1'000 CHF/ha; Einkommensverluste aus der bisherigen landwirtschaftlichen Produktion: 0 bis 17'777 CHF/ha, je nach Kulturpflanze (0 CHF/ha für Brache, 17'777 CHF/ha ist Mittelwert für Gemüsekulturen)	Anton et al., 2024; Wüst-Galley and Leifeld, 2025; Dietiker et al., 2021; König et al., 2024; ExpertInnen
Nitrifikationshemmer**	Preisauflschlag für Düngemittel mit Nitrifikationshemmer (z.B. Dimethylpyrazolphosphat)*** im Vergleich zu herkömmlichen Düngemitteln (z. B. „Ammonsalpeter 27 ohne Mg“): 1'450 CHF/tN	Informationen von LANDOR; First Climate, 2016
Körnerleguminosen**	Unterschiede bei den Einkommensverlusten zwischen Körnerleguminosen und den ersetzten Kulturen: -1'590 bis -576 (d.h. Gewinne) für den extensiven Anbau von Leguminosen, -354 bis 1'239 für den biologischen Anbau von Leguminosen, je nach Leguminosenart und vorherigen Anbauarten; Reduzierter Stickstoffdüngerbedarf aufgrund geringerer Stickstoffanforderungen für Folgekulturen: 30 kg N/ha	Informationen von LANDOR; Dietiker et al., 2021
Futtermittelzusatz**	Kaufpreis Bovaer®: 21 CHF/kg; Ausbringungsmenge: 80 mg Bovaer®/kg Trockenmasseaufnahme (TMA) bei einer durchschnittlichen TMA von insgesamt 16.7 kg/Tier/Tag	FOEN, 2024; ExpertInnen
Güllelagerabdeckungen*	Kauf und Installation von Abdeckungen: 1'829 bis 2'193 CHF/Abdeckung/Jahr, je nach Material	Fischler et al., 2012; Spuhler et al., 2024
Biogasanlagen*	Nettokosten pro Anlage unter Berücksichtigung von Investitionskosten, Betriebskosten und Einnahmen aus dem Verkauf von Strom: 159'230 bis 221'057 CHF/Anlage/Jahr für Anlagen mit einer Grösse von 50 kW bis 150 kW	Informationen von Ökostrom Schweiz

Massnahme	Wichtigste kostenverursachende Aktivitäten	Referenz
Nutzungsdauer**	Eine Erhöhung der Anzahl Laktationen verursacht basierend auf der Literatur und Expertenmeinungen keine Kosten.	Alig et al., 2015; Grandl et al., 2019; Huber et al., 2023; Kreft et al., 2023; Tarruella et al., 2025; ExpertInnen
Gülleausbringung*	Investitionskosten: 0.76 und 1.33 CHF pro m ³ ausgebrachter Gülle für Schleppschläuche und Schleppschuhe	Bütler et al., 2024
N-optimierte Düngung*/**	Anwendung von «korrNorm»: 15 CHF/ha/Jahr; Anwendung kombinierter Techniken: 194 CHF/ha/Jahr (für Szenario St; Argento et al., 2022) Preis für N-Dünger: („Ammonsalpeter 27 ohne Mg“): 2.16 CHF/kg	Argento et al., 2022; Grossrieder et al., 2022; Informationen von LANDOR
N-optimierte Fütterung**	0 und 35 CHF/GVE/Jahr basierend auf Expertenmeinungen und aktuellen Förderbeiträgen	Spuhler et al., 2023; ExpertInnen

*: Dauerhafte Massnahmen

** : Operative Massnahmen

***: Diese Massnahme wurde für ENTEC® 26 gerechnet.

Bei der Massnahme Agroforst wurden sowohl die direkten Kosten für die Anpflanzung von Bäumen, wie beispielsweise die Kosten für Jungpflanzen und Arbeitskosten pro Baum, als auch die indirekten Kosten, die mit geringeren Futtererträgen verbunden sind, berücksichtigt. Um die Gesamtkosten zu berechnen, wurde das Agrarsektormodell SWISSland (Möhring et al., 2016) verwendet. Indirekte Kosten würden auch bei anderen Massnahmen wie Körnerleguminosen anfallen, konnten aber aus Kapazitätsgründen nicht mit SWISSland berechnet werden, da Anpassungen für neue Szenarien generell sehr aufwändig sind. SWISSland simuliert die Produktions- und Investitionsentscheidungen von rund 3'000 Schweizer Betrieben auf der Grundlage von Betriebsoptimierungsmodellen über einen Zeitraum von 15 Jahren. Es erfasst die Reaktionen der Betriebe auf Veränderungen der Preise, Inputkosten und anderer Faktoren. Ein Extrapolationsalgorithmus schätzt wichtige Indikatoren auf Sektorebene, darunter Produktionsmengen, landwirtschaftliche Einkommen und Umweltkennzahlen.

Bei dieser Anwendung des SWISSland-Modells wurden die Kosten und Erträge von Apfel-, Nuss- und Kirschbäumen in die landwirtschaftlichen Optimierungsmodelle integriert. Es wurde davon ausgegangen, dass alle Betriebe vom Tal bis in die Bergregionen Bäume auf ihren Dauerwiesen und Weiden pflanzen. Die Kosten der „Agroforstwirtschaft“ wurden durch einen Vergleich des aktuellen Agrarsystems mit einem hypothetischen Szenario simuliert (Tabelle 3). Es wurde angenommen, dass Bäume eine Lebensdauer von 60 Jahren haben und das Holz anschliessend zu Pflanzkohle verarbeitet wird, um die Freisetzung von CO₂ zu verzögern. Für die Modellrechnungen wurden durchschnittliche jährliche Kosten und Erträge angenommen.

Da Agroforst als einzige Massnahme mit dem agrarökonomischen Modell SWISSland quantifiziert wurde, wurde sie für eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Massnahmen auch noch mit einem vereinfachten Ansatz berechnet (Ausschliesslich Daten in Tabelle 8). Da gewisse Auswirkungen der Massnahme schwierig zu quantifizieren waren, konnte die Massnahme jedoch nicht identisch umgesetzt werden. Dies war insbesondere für Einkommensverluste durch den Rückgang der Tierbestände der Fall. Dies bedeutet auch, dass bei diesem Ansatz potenzielle THG-Reduktionen, die mit den Tierbeständen zusammenhängen, ignoriert werden mussten. Ausserdem wurden die potenziellen Förderbeiträge im Zusammenhang mit dieser Massnahme quantifiziert, um an einem Beispiel zu zeigen, wie sich mögliche Beiträge zur Biodiversität auswirken würden (Tabelle 8). Dabei wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass die Agroforstwirtschaft in semi-intensiven und extensiven Graslandschaften für die Biodiversitätsbeiträge „Qualität II“ in Frage kommt und nach zehn Jahren das Niveau „vernetzt“ erreichen kann.

2.5 Quantifizierung des Minderungspotenzials

Das Treibhausgasminderungspotenzial jeder Massnahme in jedem Szenario wurde auf nationaler Ebene, basierend auf den Spezifikationen in Tabelle 3 quantifiziert. Wenn immer möglich wurde dazu das schweizerische THGI-Modell verwendet (FOEN, 2024b). Aus Konsistenzgründen beziehen sich somit alle zitierten und modellierten Zahlenwerte für die Potenziale auf diese Inventarversion. Aufgrund der laufenden Weiterentwicklung und Verbesserung der Datengrundlagen und Inventarmodelle ändern sich die Zahlenwerte des Inventars mit jeder jährlichen Aktualisierung leicht. Es wird davon ausgegangen, dass die entsprechenden Auswirkungen auf die Ergebnisse dieser Studie sehr klein wären und sich an den Schlussfolgerungen nichts ändern würde.

In den übrigen Fällen wurden die Potenziale mit einfachen Gleichungen berechnet (z.B. Wiedervernässung), aus früheren Studien übernommen (z.B. Pflanzenkohle) oder mit dem SAGE-Modell berechnet (z.B. Agroforst). Die Anpassungen der Emissionsfaktoren und Parameter basieren auf wissenschaftlicher Literatur und/oder Experteninformationen (Tabelle 5).

Das Minderungspotenzial der CH₄- und N₂O-Emissionen wurde durch Anpassung der Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren oder Modellparameter im THG-Inventar (FOEN, 2024b) – wie beispielsweise Ammoniak-Emissionsfaktoren – auf der Grundlage, der in Tabelle 5 zusammengefassten Informationen modelliert. Die CH₄-Emissionen aus der enterischen Fermentation von ausgewachsenen Milchkühen wurden mit einem detaillierten Fütterungsmodell berechnet (Agroscope, 2014). Bei allen übrigen Tierkategorien beruhen die Berechnungen hauptsächlich auf der Grundlage des IPCC-Tier-2-Ansatzes (IPCC, 2019). Die CH₄-Emissionen aus der Güllebewirtschaftung folgen ebenfalls weitgehend dem IPCC-Tier-2-Ansatz, wobei die Emissionen aus der Güllelagerung und aus Biogasanlagen mit detaillierteren Modellen geschätzt wurden (FOEN, 2014; Mangino et al., 2001). Die N₂O-Emissionen aus der Güllebewirtschaftung und landwirtschaftlichen Böden wurden anhand eines konsistenten und detaillierten N-Flussmodells geschätzt, das auf dem Schweizer Ammoniakmodell AGRAMMON basiert (Kupper et al., 2022). Die Stickstoffmengen entlang der verschiedenen Stufen der Hofdüngerkaskade wurden mit den Standard-N₂O-Emissionsfaktoren des IPCC (IPCC, 2019) oder im Falle indirekter Emissionen aus atmosphärischer Deposition mit einem länderspezifischen Emissionsfaktor auf der Grundlage von Bühlmann et al. (2015) berechnet.

Für die Berechnung des Treibhausgasminderungspotenzials durch die Wiedervernässung wurden aktualisierte Schätzungen der landwirtschaftlich genutzten Flächen auf organischen Böden (Wüst-Galley & Leifeld, 2025) mit Emissionsfaktoren aus dem THG-Inventar (FOEN, 2024b) kombiniert, um sowohl die Reduktion der CO₂- als auch der N₂O-Emissionen zu berechnen. Die Analyse berücksichtigte nur die flächenmässig wichtigsten Kulturpflanzen und konzentrierte sich beim Grünland auf Wiesen (dies entspricht insgesamt ~90 % der landwirtschaftlich genutzten Dauergrünlandflächen auf organischen Böden). Die Minderungspotenziale für Pflanzenkohle und eine höhere Nutzungsdauer wurden direkt aus früheren Studien übernommen.

Für die Massnahme Agroforst wurde die Kohlenstoffbindung in der Baumbiomasse mit spezifischen C-Sequestrierungsraten (welche von Wachstumsraten abgeleitet wurden) für drei verschiedene Baumarten berechnet (Tabelle 5). Zudem wurde die Reduktion der CH₄- und N₂O-Emissionen aufgrund der Verringerung der Viehbestände infolge geringerer Futtererträge durch den Baumbestand mithilfe des SAGE-Modells (Gilgen et al., 2025) berechnet. Das SAGE-Modell ist ein Modell zur Berechnung der Ammoniak- und THG-Emissionen eines gesamten Betriebs, das vom THGI-Modell abgeleitet wurde, um auf Betriebsebene angewendet zu werden. Die Berechnungen wurden über eine Schnittstelle durchgeführt, die das SWISSland-Modell für diese Massnahme mit dem SAGE-Modell verbindet (Winter et al., 2024). Wie bereits erwähnt, wurde die Reduktion der CH₄- und N₂O-Emissionen aufgrund der veränderten Viehbestände nur in Tabelle 5 und den MACC-Diagrammen berücksichtigt, jedoch nicht in Tabelle 8.

Tabelle 5: Wichtigste Annahmen und Methoden zur Berechnung der Treibhausgasminderungspotenziale

Massnahme	Emissionsfaktoren und Annahmen	Literatur	Methoden
Agroforst	Kohlenstoffsequestrierung (t CO ₂ eq/ha/Jahr): Apfel: 0.75–1.07; Kirsche: 0.83–2.5; Walnuss: 1.83–3.33. Tierbestandsreduktion durch Minderfüttererträge im Grünland aufgrund der geringeren Flächen (resultierend aus SWISSland-Modellierung)	Roberti et al., 2024; Schindler et al., 2023	Empirische Berechnung und SAGE-Modell
Pflanzenkohle	Kohlenstoffsequestrierung im Boden für alle Ackerflächen welche Hofdünger erhalten: 0.14 Mt CO ₂ eq/Jahr	Keel et al., 2023	Keel, 2023
Wiedervernässung	Vermiedener Nettoverlust an organischem Kohlenstoff im Boden von entwässerten Mooren: 9.52 t C/ha/Jahr; vermiedene N ₂ O-Emissionen von entwässerten Mooren: 13 und 8.2 kg N ₂ O-N/ha/Jahr für Acker- und Dauergrünland	Wüst-Galley and Leifeld, 2025; FOEN, 2024	Empirische Berechnung
Nitrifikationshemmer	Reduktion des Emissionsfaktors für direkte N ₂ O-Emissionen aus Böden um 65 % und der Auswaschungsrate von Nitrat (NO ₃) um 39 %	First Climate, 2016; FOEN, 2024	THGI-Modell
Körnerleguminosen	Reduktion des ausgebrachten N-Düngers: 108 und 110 kg N/ha/Jahr für Kunstwiesen und Silomais, um 30 kg N/ha/Jahr geringerer Stickstoffbedarf für Folgefrüchte	FOEN, 2024; Sinaj et al., 2017; Keller et al., 2024	
Futtermittelzusatz	Reduktion der Methanumwandlungsrate bei der enterischen Fermentation um 31.4 %. Für das Szenario mit rassenspezifischen Methanumwandlungsraten wurde eine Reduktion von 31.4% für Holstein und eine Reduktion von 13.6% für Braunvieh angenommen.	Duval, 2024; Kebreab et al., 2023	
Güllelagerabdeckungen	Reduktion des Emissionsfaktors für NH ₃ aus der Lagerung von Gülle um 90 % bei festen Abdeckungen, um 60 % bei Zeltdächern und um 80 % bei Schwimmfolien	Agrammon, 2024; Kupper et al., 2022	
Biogasanlagen	Reduktion des Methanumwandlungsfaktors für die Lagerung von Gülle um 81 %; die N ₂ O-Emissionen aus der Lagerung von Gülle wurden auf Null gesetzt; 1.2 t CH ₄ -Leckage pro Anlage unabhängig von der Grösse	Burg et al., 2018; FOEN, 2024	
Nutzungsdauer	Gesamtreduktion von 200 und 99 kt CO ₂ eq für Sg und Sr/St aufgrund der veränderten Struktur des Rindviehbestands	Winter et al., 2024; Bretscher et al., 2018	Literatur
Gülleausbringung	Reduktion der NH ₃ -Emissionen: 30 % bei Schleppschläuchen, 50 % bei Schleppschuhen	Agrammon, 2024; Kupper et al., 2022	THGI-Modell
N-optimierte Düngung	Reduktion des ausgebrachten N-Düngers: 2'822 t N (St); 4'988 t N (Sr/Sg)	Argento et al., 2022; Grossrieder et al., 2022; Sinaj et al., 2017; FOEN, 2024	
N-optimierte Fütterung	Minimale N-Ausscheidungsrate für Mastschweine: 9.5 kg N/Kopf/Jahr	Kupper et al., 2018	

2.6 Erstellung von MACC-Diagrammen für verschiedene Szenarien

Für die Erstellung der MACC-Diagramme wurden die Szenarien der Massnahmen in drei Kategorien eingeteilt: ein Referenzszenario, ein kostengünstiges und ein kostenintensives Szenario (Tabelle 3). Der aktuelle CO₂-Preis in der Schweiz von 120 CHF/t CO₂eq (FOEN, 2025) wurde in die MACC-Diagramme miteinbezogen (rote, gestrichelte Linie). Liegen die Minderungskosten pro Tonne CO₂eq für eine Massnahme unter dieser Linie, wird sie als kosteneffizient definiert (Schulte et al., 2012). Die MACC-Diagramme umfassen auch kumulierte Kostenkurven und kumulierte Emissionsminderungspotenziale in Prozent gegenüber den landwirtschaftlichen Emissionen (inkl. Landnutzung) von 7490 kt CO₂eq aus dem Jahr 1990 (Tabelle 1; FOEN, 2024b). Letztere werden berechnet, um sie mit dem Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung (40 % Reduktion bis 2050 gegenüber 1990) vergleichen zu können. Hierfür wurden die Massnahmen in aufsteigender Reihenfolge der Kosten berücksichtigt (in der Abbildung von links nach rechts).

3 Resultate

3.1 Kosten und Treibhausgasminderungspotenziale von zwölf Massnahmen

Die MACC-Diagramme zeigen, dass die einzelnen Massnahmen über alle Szenarien hinweg in einem Kostenbereich von -2'234 bis 1'057 CHF/t CO₂-eq liegen, mit THG-Reduktions- bzw. Sequestrierungs-Potenzialen im Bereich von 8 bis 1'021 kt CO₂-eq Jahr⁻¹ (Abbildung 2, Tabelle 6). Die Reihenfolge der Massnahmen ist von links nach rechts nach steigenden CO₂eq-Kosten geordnet. Die MACC-Diagramme für die drei verschiedenen Szenarien weisen grosse Unterschiede sowohl in der Reihenfolge der Massnahmen als auch in den Potenzialen auf. Grund dafür ist, dass zwischen den Szenarien für einzelne Massnahmen grosse Unterschiede bei den CO₂eq-Vermeidungskosten auftreten. Beispielsweise weisen „Körnerleguminosen“ im Referenz- und im kostengünstigen Szenario (Abbildung 2, Tabelle 7) über alle Massnahmen gesehen die niedrigsten CO₂eq-Vermeidungskosten auf, die sogar negativ sind (d.h. die Massnahme ist gewinnbringend). Im kostenintensiven Szenario haben sie jedoch die höchsten Kosten. Weitere Massnahmen mit grossen Unterschieden sind Agroforst, Biogasanlagen und die Wiedervernässung. Die Massnahmen, welche als kosteneffizient identifiziert wurden (d.h. mit CO₂eq-Kosten unterhalb des aktuellen CO₂-Preises), unterscheiden sich ebenfalls zwischen den drei MACC-Diagrammen (Abbildung 2, Tabelle 6).

Trotz der Unterschiede zwischen den Szenarien gibt es vier kosteneffiziente Massnahmen, die in allen Szenarien vorkommen - wenn auch in einer unterschiedlichen Reihenfolge. Dies sind die Wiedervernässung, Futtermittelzusätze, die höhere Nutzungsdauer und die N-optimierte Fütterung. Im kostengünstigen und im Referenzszenario kommen noch Agroforst, die Körnerleguminosen und die N-optimierte Düngung dazu. Folgende fünf Massnahmen sind betreffend Kosten immer ungünstig: Pflanzenkohle, Nitrifikationshemmer, Güllelagerabdeckungen, Biogasanlagen und die Gülleausbringung.

Mit allen zwölf Massnahmen lässt sich eine Emissionsminderung von 2'105 bis 2'548 kt CO₂eq/Jahr (entspricht 28 % bis 34 % der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen im Jahr 1990) bei jährlichen Kosten zwischen 87 und 1'124 Mio. CHF für die drei Szenarien erzielen (Tabelle 6). Im kostengünstigen Fall kann eine Emissionsminderung von 11% ohne Nettokosten erreicht werden (kostenneutrale plus kostennegative- (gewinnbringende) Massnahmen). Durch kosteneffiziente Massnahmen kann eine Reduktion von 11 % bis 18 % gegenüber 1990 erreicht werden. Dies entspricht einer Minderung von 797 kt CO₂eq bis 1'379 kt CO₂eq.

Agroforst war die einzige Massnahme, welche mit dem Modell SWISSland berechnet wurde. Aus Konsistenzgründen wurde eine zusätzliche Analyse mit den gleichen Methoden, die für alle anderen Massnahmen benutzt wurden, durchgeführt. Das Gesamtpotenzial für die THG-Minderung ist für alle vier dort definierten Szenarien sehr ähnlich (Tabelle 8). Bei den Nettokosten gibt es jedoch grosse Unterschiede, wobei stets Nettogewinne erzielt werden. In der zusätzlichen Analyse wurden auch Förderbeiträge berücksichtigt. Diese hatten sowohl auf die Gesamtkosten wie auch die CO₂eq-Kosten nur einen minimalen Einfluss.

Tabelle 6: Zusammenfassung der drei MACC-Diagramme. Die Emissionsreduktionen in Prozent beziehen sich auf das Jahr 1990.

Ergebnisse aus den MACC-Diagrammen		Referenz-szenario (Sr)	Kostengünstiges Szenario (Sg)	Kostenintensives Szenario (St)
Alle zwölf Massnahmen		Emissionsreduktion (kt CO ₂ eq)	2'548 (34%)	2131 (28 %)
		Kosten (Mio. CHF pro Jahr)	1'017	1'124
Kosten-effiziente Massnahmen	Alle kosten-effizienten Massnahmen *	Anzahl Massnahmen	6	7
		Emissionsreduktion (kt CO ₂ eq)	1'294 (17 %)	1379 (18 %)
		Kosten (Mio. CHF pro Jahr)	16	-262
	Kosten-neutrale Massnahmen	Anzahl	2	2
		Emissionsreduktion (kt CO ₂ eq)	112 (2 %)	213 (11 %)
	Kosten-negative Massnahmen	Anzahl	2	3
		Emissionsreduktion (kt CO ₂ eq)	37 (0.49 %)	592 (8 %)
				0 (0 %)

* einschliesslich Massnahmen mit Kosten über Null aber unterhalb des CO₂-Preises

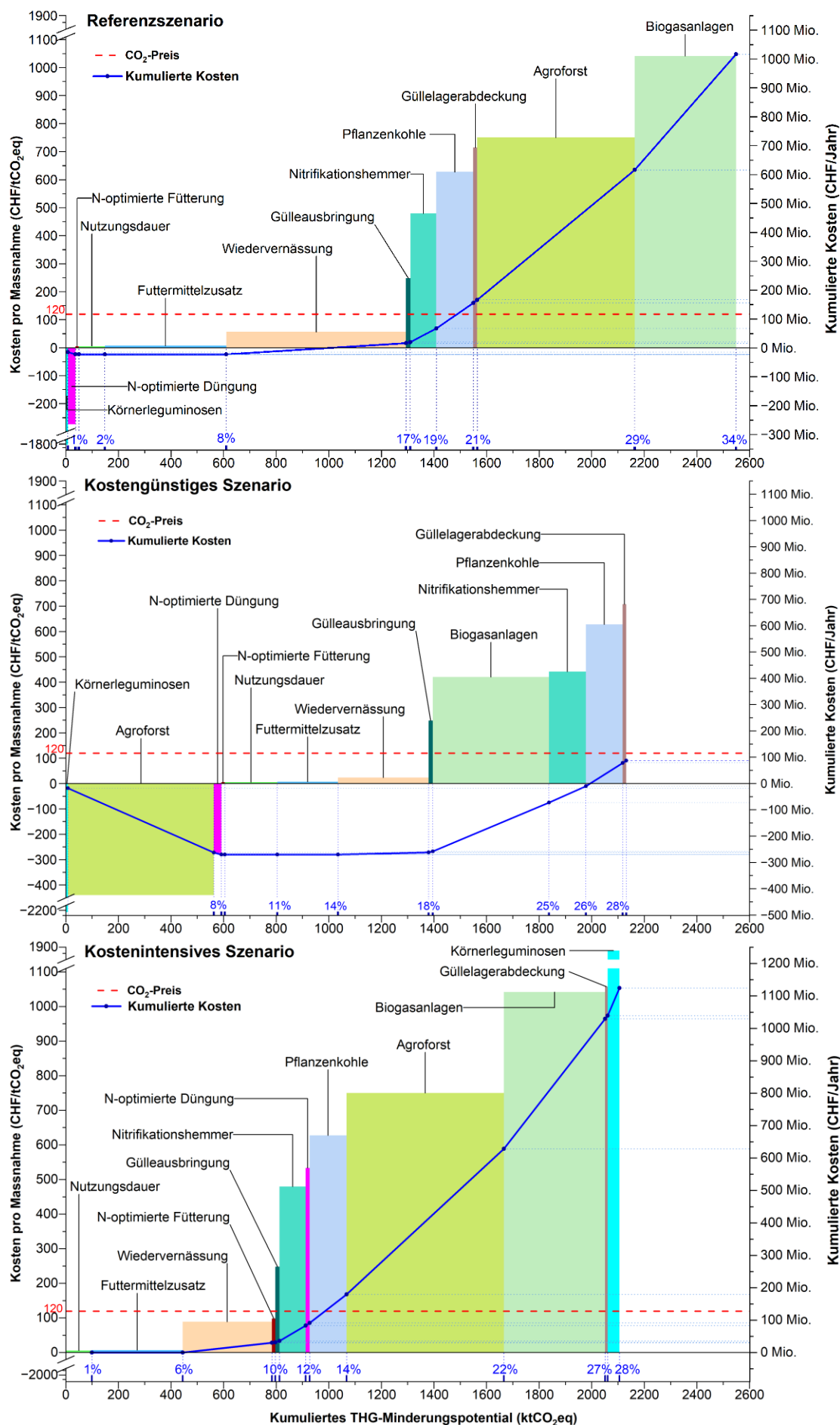


Abbildung 2: MACC-Diagramme (Grenzkostenkurven) von zwölf Massnahmen für die Schweizer Landwirtschaft unter drei Szenarien. Die Massnahmen sind von links nach rechts nach steigenden Kosten geordnet. Die Kosten pro t CO₂eq je Massnahme sind auf der linken Y-Achse abzulesen. Die rechte Y-Achse bezieht sich auf die blaue Linie mit den kumulierten Kosten. Die rote gestrichelte Linie zeigt den aktuellen CO₂-Preis an. Die Breite der Balken widerspiegelt das THG-Minderungspotenzial pro Massnahme. Auf der X-Achse kann das kumulierte Minderungspotenzial der Massnahmen abgelesen werden (schwarze Zahlen) und die kumulierte Emissionsreduktion (in % gegenüber dem Niveau von 1990, blaue Zahlen). Bei Massnahmen mit sehr geringen Kosten wurden die Balken künstlich vergrössert, um sie besser sichtbar zu machen.

Tabelle 7: THG-Minderungspotenziale und Kosten der identifizierten Massnahmen für verschiedene Szenarien. Fallen die THG-Minderungskosten für eine Tonne CO₂ unter 120 CHF, wird die Massnahme für das entsprechende Szenario als kosteneffizient identifiziert und in fetter Schrift hervorgehoben. Negative Kosten bedeuten einen Gewinn für die Betriebe.

Massnahmen	Szenarien	Gesamtpotenzial (kt CO ₂ eq/Jahr)	Gesamtkosten (Mio. CHF/Jahr)	THG- Minderungskosten (CHF/t CO ₂ eq)
Agroforst	Sr/St	599	449	750
	Sg	555	-244	-440
Pflanzenkohle	Sr/Sg/St	140	88	628
Wiedervernässung	Sr	684	39	56
	St	340	30	89
	Sg	344	8	24
Nitrifikationshemmer	Sr/St	99	48	480
	Sg	141	62	442
Körnerleguminosen	St	45	85	1'892
	Sr	8	-15	-1'841
	Sg	8	-18	-2'234
Futtermittelzusatz	Sr	461	0.11	0.23
	Sg	231	0.053	0.23
	St	345	0.11	0.3
Gülleabdeckungen	Sr	15	11	715
	St	9	10	1'057
	Sg	13	9	708
Biogasanlagen	Sr/St	385	401	1042
	Sg	442	186	420
Nutzungsdauer	Sg	200	0	0
	Sr/St	99	0	0
Gülleausbringung	Sr/Sg/St	16	4	248
N-optimierte Düngung	St	15	8	534
	Sr/Sg	29	-8	-273
N-optimierte Fütterung	Sr/Sg	13	0	0
	St	13	1	99

Tabelle 8: Ergebnisse für die Massnahme Agroforst mit einer einfachen Berechnungsmethode

Szenarien	Gesamt-C-Sequestrierung (kt CO ₂ eq/Jahr)	ohne Förderbeiträge		unter Berücksichtigung von Förderbeiträgen	
		Gesamtkosten (Mio. CHF/Jahr)	CO ₂ eq-Kosten (CHF/t CO ₂ eq)	Gesamtkosten (Mio. CHF)	CO ₂ eq-Kosten (CHF/t CO ₂ eq)
Sx1*, Reduzierte Obst-/Nussernte, 10% Reduktion Grasertrag	508	-207	-409	-210	-414
Sx2: Reduzierte Obst-/Nussernte, 30% Reduktion Grasertrag	501	-89	-177	-91	-182
Sx3: vollständige Obst-/Nussernte, 10% Reduktion Grasertrag	508	-2'556	-5'034	-2'559	-5'040
Sx4: vollständige Obst-/Nussernte, 30% Reduktion Grasertrag	501	-2'403	-4'796	-2'406	-4'802

*Annahmen identisch mit Agroforst Szenario Sg.

4 Diskussion

Die hier präsentierten Resultate zeigen auf, dass kosteneffiziente produktionsseitige Massnahmen in der Schweizer Landwirtschaft ein relevantes THG-Minderungspotenzial haben. Dabei sind die Kosten und das Treibhausgasminderungspotenzial der Massnahmen stark von den zugrunde liegenden Annahmen hinsichtlich ihrer Umsetzung abhängig. Kosteneffiziente Massnahmen haben ein Minderungspotenzial von etwa 800-1'380 kt CO₂eq. Die Kosten reichen von -262 Mio. CHF pro Jahr (einem Gewinn) bis zu 32 Mio. CHF pro Jahr. Für alle 12 Minderungsmassnahmen variieren die Gesamtkosten um einen Faktor 12 und reichen von 87 bis zu 1'124 Mio. CHF pro Jahr. Im Gegenzug waren die Minderungspotenziale viel ähnlicher (28 % – 34 %), da in den meisten Fällen von maximalen Potenzialen ausgegangen wurde. Für einzelne Massnahmen verschieben sich die Umsetzungskosten zwischen den Szenarien noch deutlicher von negativ bis zu positiv (Beispiel Körnerleguminosen). Diese Variabilität führt dazu, dass je nach Szenario unterschiedliche Massnahmen als kosteneffizient identifiziert wurden (Tabelle 6). Zudem unterscheidet sich die Reihenfolge der Massnahmen in den MACC-Diagrammen, was zur Folge hat, dass je nach Szenario andere Massnahmen vorrangig umgesetzt würden (Abbildung 2). Die Annahmen hinsichtlich der Umsetzung der Massnahmen haben somit einen erheblichen Einfluss auf die daraus resultierenden Ergebnisse und die vermittelten Botschaften. Trotz dieser Unsicherheiten gibt es auch robuste Resultate. In allen drei Szenarien wurden vier Massnahmen als kosteneffizient eingestuft: «Wiedervernässung», «Futtermittelzusatz», «Nutzungsdauer» und «N-optimierte Fütterung».

Die Berücksichtigung unterschiedlicher Annahmen für die Umsetzung und die grosse Anzahl Massnahmen inklusive Ansätze für die C-Sequestrierung sind der Hauptunterschied dieser Studie im Vergleich zu früheren Arbeiten. Vor bereits mehr als 15 Jahren haben Peter et al., (2009) das technologische und ökonomische THG-Reduktionspotenzial in der Schweizer Landwirtschaft quantifiziert. Die Systemgrenzen waren gleich wie in der vorliegenden Studie, aber sie haben einen etwas anderen Ansatz angewendet. Für ihre Analysen haben sie die Auswirkung unterschiedlicher Agrarpreisszenarien auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen untersucht. Zudem haben sie den Einfluss einer landwirtschaftlichen THG-Abgabe und einer staatlichen Förderung expliziter Reduktionstechnologien analysiert. Während gewisse Massnahmen identisch mit dieser Studie sind (Güllelagerabdeckung, Biogasanlagen, Gülleausbringung), haben sie zusätzlich Massnahmen wie die Fettzugabe in der Rindviehfütterung oder die Beigabe von Hofdüngeradditiven untersucht. Die Art der Stallhaltung, das Ausmass der Weidehaltung, der Krafffutteranteil in der Milchviehration und die Erhöhung der Milchleistung, waren weitere Massnahmen, die sie untersucht haben. Auf der anderen Seite wurden Veränderungen der Kohlenstoffvorräte im Boden oder in der Biomasse von Bäumen in Peter et al., (2009) nicht quantifiziert. Ihre Modellergebnisse haben gezeigt, dass die landwirtschaftlichen THG-Emissionen von 2006 bis im Jahr 2020 in allen Agrarpreisszenarien

rückläufig waren. Das Emissionsziel „minus 20% gegenüber 1990“ wurde jedoch verfehlt. Die Einführung einer landwirtschaftlichen THG-Abgabe von 50 CHF/t CO₂eq bewirkte einen Rückgang der THG-Emissionen um 5 % bis 13 % gegenüber den jeweiligen Referenzemissionen im Jahr 2020. Eine wichtige Schlussfolgerung ihrer Studie war, dass ein Emissionsrückgang über den Abbau landwirtschaftlicher Aktivitäten (d.h. mehrheitlich über eine Reduktion der Tierbestände) kostengünstiger ist als über den Einsatz der modellierten technischen Massnahmen. Bei unverändertem Konsumverhalten könnte ein solches Szenario jedoch zu einer Verlagerung der Emissionen ins Ausland führen.

Eine weitere, sehr umfassende Studie konzentrierte sich auf Minderungspotenziale von 13 verschiedenen Massnahmen (Bretscher et al., 2018). Für die Quantifizierung der technischen Massnahmen wurde das THGI-Modell verwendet, aber es wurden keine Kosten berechnet. Ein Vergleich der Potenziale für einzelne Massnahmen wie die N-optimierte Fütterung oder Güllelagerabdeckungen zeigt leicht tiefere Werte in der vorliegenden Studie. Diese deuten vermutlich darauf hin, dass die Massnahmen in der Zwischenzeit auf mehr Betrieben umgesetzt wurden. Auf die beiden strukturellen Massnahmen, welche in der Studie auch analysiert wurden, wird weiter unten eingegangen.

Nebst der McKinsey Studie aus dem Jahr 2009, wurde bisher nur ein weiteres MACC-Diagramm für die Schweizer Landwirtschaft erstellt. Dieses umfasste 66 Schweizer Milchbetriebe und hat im Detail die physikalischen und ökonomischen Aktivitäten der Betriebe abgebildet (Huber et al., 2023). Dadurch wurde die grosse Heterogenität der Betriebe mitberücksichtigt. Insgesamt wurden vier Massnahmen untersucht. Die berechneten Kosten waren für die Nutzungsdauer negativ (Gewinn). Im Unterschied dazu waren sie in der vorliegenden Studie kostenneutral. Für die Futtermittelzusätze waren die Kosten in Huber et al., (2023) deutlich höher.

In den folgenden Abschnitten werden alle zwölf Massnahme einzeln diskutiert. Zuerst wird auf die kostengünstigen Massnahmen eingegangen, dann auf die kostenintensiven und zuletzt werden die Massnahmen mit sehr variablen Kosten besprochen.

4.1 Einzelne Massnahmen

4.1.1 Kostengünstige Massnahmen

Das aussergewöhnliche Minderungspotenzial der **«Wiedervernässung»** steht im Einklang mit Wüst-Galley and Leifeld (2025), wonach organische Böden 10 % der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz verursachen und somit einen Viertel des Reduktionsziels für 2050 ausmachen. Die grosse Bedeutung der organischen Böden wurde bereits in der McKinsey Studie hervorgehoben (McKinsey, 2009), wobei dort fälschlicherweise angenommen wurde, dass organische Böden ein grosses C-Sequestrierungspotenzial aufweisen. Obwohl wiedervernässte organische Böden auch wieder C-Senken werden können, ist die Bedeutung der Emissionsminderung meist viel grösser und die Wirkung tritt sofort ein. Im Gegenzug kann es teilweise Jahre/Jahrzehnte dauern, bis die Böden wieder zu C-Senken werden und die grösste Herausforderung dabei ist, eine konstante Wiedervernässung zu erreichen (Abel, 2023). Da sich nur 1.2 % der landwirtschaftlichen Fläche der Schweiz auf organischen Böden befinden und nur etwa die Hälfte davon auf Ackerland (Wüst-Galley & Leifeld, 2025), dürfte die landesweite Umsetzung dieser Massnahme nur geringfügige Auswirkungen auf die Gesamtproduktion bzw. den Selbstversorgungsgrad mit Nahrungsmitteln haben. Dennoch könnte die regionale Konzentration dieser Böden (z.B. im Berner Seeland) die vollständige Umsetzung einschränken, da für einzelne Betriebe die Anteile der Flächen für die Wiedervernässung gross sein könnten. Alternative Ansätze wie der Nassreisanbau sind vielversprechende Möglichkeiten, welche aktuell erforscht werden. Wichtig zu erwähnen sind die grossen Unsicherheiten bei den Kosten für Wiedervernässungsprojekte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Für die Schweiz gibt es nur Zahlen für die Renaturierung von Mooren (vorwiegend geschützte Hoch- und Flachmoore). Dort sind die Kosten wesentlich höher, weil die Flächen schlecht zugänglich und klein sind und das Gelände uneben ist. Für die Aufhebung/Blockierung der Drainagen wurde ein Wert von 4000 CHF/ha angenommen, der aus einem deutschen Bericht stammt.

«Futtermittelzusätze» bieten eine einfache Handhabung, weisen niedrige Kosten auf und haben ein hohes Minderungspotenzial – selbst wenn Systeme mit Weidehaltung und der biologische Landbau ausgeschlossen werden. Sobald die Stoffe dem Futter beigemischt werden, sorgen sie für eine sofortige Minderung der Methanemissionen und die Anwendung ist in zugelassenen Dosierungen sicher. Es gibt nur geringfügige

Unsicherheiten betreffend Nebenwirkungen (FEEDAP et al., 2021; Kjeldsen et al., 2023). Zudem könnte der Einsatz in Zukunft auch in Weidesystemen über das Tränkewasser möglich werden (Rivelli et al., 2025). Die aktuelle Einschränkung auf die Verwendung in der Stallhaltung könnte die geringe, aktuelle Umsetzung teilweise erklären. Der untersuchte Futtermittelzusatzstoff 3-NOP ist noch neu und ist vielleicht auch deshalb noch nicht weit verbreitet. Möglicherweise sind Betriebe zurückhaltend, da negative Auswirkungen auf die Milchqualität, die Absatzmöglichkeiten und das langfristige Tierwohl befürchtet werden.

Eine Erhöhung der **«Nutzungsdauer»** hat den zusätzlichen Vorteil, dass sie aus ethischer Sicht mit einer Verbesserung des Tierwohls einhergeht (Winter et al., 2024). Obwohl in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen wird, dass diese Massnahme keine Kosten verursacht, berichten andere Studien sogar von negativen Kosten (z.B. Alig et al., 2015; Grandl et al., 2019; Huber et al., 2023). Dass die Massnahme dennoch nicht weit verbreitet ist, deutet darauf hin, dass LandwirtInnen möglicherweise nicht freiwillig versuchen, die Nutzungsdauer ihrer Milchkühe zu erhöhen. Eine neue Studie von Agroscope zeigt, dass die Risiken für Ausfälle bei der Milchproduktion mit zunehmendem Alter der Milchkühe steigen können und dies die Betriebe möglicherweise davon abhält, die Nutzungsdauer zu erhöhen (Gazzarin et al., 2025). Selbst bei null oder negativen Kosten können deshalb Anreize erforderlich sein, um die Einführung zu fördern (Kreft et al., 2023), wie das freiwillige Direktzahlungsprogramm der Schweiz zur Förderung der Langlebigkeit von Kühen zeigt (Schweizerischer Bundesrat, 2021).

Die **«N-optimierte Fütterung»** bietet, obwohl kosteneffizient, nur ein geringes Emissionsminderungspotenzial, da diese Massnahme nur bei 28 % der Schweine in der Schweizer Landwirtschaft noch nicht umgesetzt wurde (Kupper et al., 2018).

4.1.2 Kostenintensive Massnahmen

Obwohl als vielversprechend angesehen, zeigte **«Pflanzenkohle»** in der vorliegenden Studie ein geringes Potenzial und eine begrenzte Kosteneffizienz. Dies liegt daran, dass aufgrund der Konkurrenz mit anderen Branchen um Rohstoffe in der Analyse ausschliesslich Biomasse aus der Landschaftspflege (d.h. kein Waldenergieholz) für die Produktion von Pflanzenkohle verwendet wurde und potenzielle Einnahmequellen wie der Verkauf von Wärme oder CO₂-Zertifikaten nicht berücksichtigt wurden, was zu einer Unterschätzung der Kosteneffizienz geführt haben könnte. Dies gilt jedoch auch für andere Massnahmen wie Biogasanlagen. Darüber hinaus befindet sich der Pflanzenkohlemarkt in der Schweiz noch in den Anfängen, wobei die derzeit hohen Preise mit der Entwicklung des Marktes voraussichtlich sinken werden (Trapero et al., 2025).

Generell haben Massnahmen zur Reduktion von N₂O-Emissionen in der vorliegenden Studie ein wesentlich geringeres Potenzial im Vergleich zur Reduktion von CH₄- oder CO₂-Emissionen. Dies liegt zum Teil daran, dass die untersuchten Massnahmen auf die Minderung von anderen Stickstoffemissionen und -verlusten abzielen (v.a. Ammoniak und Nitrat) und bereits seit längerem eingesetzt werden. Für einzelne Massnahmen wie die **«Güllelagerabdeckung»** wurden Fortschritte bei der Stickstoffnutzungseffizienz bereits in der Vergangenheit erzielt, sodass nur ein begrenztes, zusätzliches Potenzial verbleibt, da nur 10 % der Güllelager noch nicht abgedeckt sind (Kupper et al., 2022).

Ähnliches gilt für die emissionsarme **«Gülleausbringung»**. Für den Einsatz des Schleppschlauchs, welcher seit dem 1. Januar 2024 obligatorisch ist, wurde eine mögliche Zunahme der Anwendung von 32% angenommen und für den Schleppschuh 0.6%. Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass die N-Überschüsse mit ca. 90 kg ha⁻¹ immer noch erheblich sind und das Potenzial für die Verbesserung der Stickstoffnutzungseffizienz somit hoch ist, wie aus verschiedenen Studien hervorgeht (Baumgartner et al., 2025; Harder und Liebisch, 2025).

Das Potenzial für **«Nitrifikationshemmer»** ist im Vergleich zu den beiden vorhergenannten grösser, unter anderem da diese Massnahme noch kaum angewandt wird. Zudem hat die Massnahme eine höhere Effizienz im Vergleich zur Güllelagerabdeckung und der Gülleausbringung, da sie direkt bei der N-Düngung und somit der N₂O-Emissionsreduktion ansetzt. Die anderen beiden Massnahmen haben nur eine indirekte Auswirkung auf N₂O via Ammoniak. Die Kosten liegen im mittleren Bereich.

«Biogasanlagen» weisen ein recht grosses Emissionsminderungspotenzial auf, sind hier jedoch nicht kosteneffizient. Unter Berücksichtigung der aktuellen Marktbedingungen wurden bei der Kostenbewertung nur die Stromerlöse berücksichtigt. Andere potenzielle Einnahmequellen wie der Verkauf von Wärme oder CO₂-Zertifikaten wurden nicht berücksichtigt, was zu einer Unterschätzung der Kosteneffizienz geführt haben könnte. Die Ergebnisse

für die unterschiedlichen Szenarien zeigen kosteneffizientere Wege für die Umsetzung. Würden grössere Biogasanlagen (z. B. 150 kW) gebaut, wäre dies kosteneffizienter, da aufgrund der geringeren Anzahl Anlagen sowohl die Gesamtinvestitionskosten als auch die Verluste durch Methanleckagen tiefer wären. Allerdings werden kleinere Anlagen von Schweizer Betrieben oft bevorzugt, da die Bereitschaft zu Kooperationen begrenzt ist (Burg et al., 2021; Lauer et al., 2018). Zudem bedingen grosse Anlagen hohe Tierdichten oder eine aufwändige Hofdünger-Transportlogistik. Weiterhin ist zu beachten, dass hohe Investitionskosten zu sogenannten Lock-In-Situationen führen können, da die Investitionen über eine lange Zeit amortisiert werden müssen. So sind Biogasanlagen nach dem Bau auf eine jahrelange Zulieferung von Hofdüngern angewiesen, was strukturelle Veränderungen, welche Landnutzung und Tierbestände betreffen, verhindern kann.

4.1.3 Massnahmen mit variablen Kosten

Die Kosten für die folgenden drei Massnahmen waren sehr unterschiedlich und je nach Annahme positiv oder negativ. Im Fall der Massnahme **«Körnerleguminosen»** können Leguminosen beispielsweise entweder mit biologischen oder konventionellen Methoden angebaut werden. Allein dieser Unterschied kann zu erheblichen Differenzen bei den Bruttomargen der Landwirte führen (Dietiker et al., 2021), was entweder zu negativen oder positiven Kosten für die Massnahme in der MACC führt. Darüber hinaus kann die nationale Anbaufläche für Hülsenfrüchte in unterschiedlichem Umfang erweitert werden: maximal auf der Grundlage des agronomischen Anbaupotenzials (St), moderat entsprechend der Marktnachfrage (Sr) oder minimal im Einklang mit der standortangepassten Landnutzung und optimierten Fruchtfolgen (Sg).

Die Kosten für **«Agroforst»** waren stark von den Annahmen für die Nuss- und Obsterträge sowie den erzielbaren Preisen abhängig. Optimistische Annahmen führten zu Gewinnen. Wurden durchschnittliche Erträge angenommen, resultierten ziemlich hohe Kosten von 750 CHF/t CO₂eq. Was die eher grossen Minderungspotenziale betrifft, sind die Resultate im Einklang mit aktuellen Studien, welche die zentrale Rolle der Agroforstwirtschaft in gemässigten Regionen zur Eindämmung des Klimawandels auf der globalen Skala hervorgehoben haben (Dmuchowski et al., 2024). Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass ein Teil des THG-Minderungspotenzials die Folge eines reduzierten Tierbestandes ist und nicht ausschliesslich durch C-Sequestrierung in der Baumbiomasse erklärt werden kann. Dennoch unterstreichen die Resultate die Relevanz für entsprechende politische Massnahmen; v.a. auch vor dem Hintergrund, dass C-Sequestrierungspotenziale im Boden eher klein ausfallen (siehe Pflanzenkohle und Zwischenkulturen in Keel et al. 2023) und es kaum andere Möglichkeiten für die CO₂-Aufnahme in der Landwirtschaft gibt. Zudem ist das Anpflanzen von Obstbäumen mit zusätzlichen Vorteilen für die Umwelt, wie z. B. der Verbesserung der Biodiversität und des Nährstoffkreislaufs verbunden (Kay et al., 2019). Die zusätzlichen Berechnungen mit einem einfacheren Ansatz ergaben für alle Szenarien negative Kosten (d.h. sie erzeugten Gewinne). Hauptgrund dafür sind die optimistischeren Annahmen betreffend der Obst- und Nusserträge, wobei v.a. die Nusserträge ins Gewicht fielen. Obwohl die Annahmen nicht identisch waren, kann der Einfluss der beiden Ansätze grob verglichen werden. Für die Szenarien Sg und Sx1 waren die Resultate sehr ähnlich und es resultierte ein Gewinn von 440 CHF/t CO₂eq und 409 CHF/t CO₂eq. Daraus kann man schliessen, dass die Gewinne durch die Früchterträge dominiert wurden und die Einkommensverluste durch die Reduktion der Tierbestände einen kleineren Einfluss hatten, da diese beim einfacheren Ansatz nicht berücksichtigt wurden. Generell kann man jedoch davon ausgehen, dass v.a. für die Berechnung der Kosten der Ansatz mit SWISSland realistischere Ergebnisse liefert, da auch Faktoren wie die Heterogenität der Betriebe mitberücksichtigt werden.

Durch einfache Massnahmen bei der **«N-optimierten Düngung»** können durch die Anwendung von «korrNorm» Gewinne erzielt werden. Im Gegenzug führt die Investition in kostspielige Hightech-Methoden wie Sensoren oder Kameras und die Analyse von Bodenproben dazu, dass die anderen Ansätze teurer ausfallen (St). Bei der «korrNorm» Düngung ist noch anzumerken, dass das THG-Minderungspotenzial möglicherweise etwas überschätzt wurde. Grund dafür ist, dass beim Ressourcenprojekt AgroCO₂ncept Flaachtal beobachtet wurde, dass Ackerbaubetriebe tendenziell weniger düngten, als sie nach «korrNorm» hätten düngen dürfen (BLW, 2025b).

4.2 Interaktionen

Diese Studie beschränkt sich auf den heimischen Agrarsektor und berücksichtigt keine möglichen vor- und nachgelagerten Minderungswirkungen von Massnahmen (z. B. Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei der Düngemittelproduktion) (Eory et al., 2018). Dies ist für alle Massnahmen relevant, welche den Verbrauch von synthetischem Dünger reduzieren (Körnerleguminosen, N-optimierte Düngung).

Darüber hinaus wurden Wechselwirkungen zwischen den Massnahmen nicht berücksichtigt, was zu einer Über- oder Unterschätzung des kumulierten Minderungspotenzials und der Kosten geführt haben könnte, wie Huber et al., (2023) gezeigt haben. Dies ist für die Massnahmen Agroforst und Biogas relevant. Aufgrund der reduzierten Tierbestände im Agroforst Szenario würde weniger Hofdünger anfallen und sich das THG-Minderungspotenzial für Biogas reduzieren. Eine erhöhte Nutzungsdauer hätte auch reduzierte Tierbestände zur Folge, aber vermutlich nicht in einem relevanten Ausmass. Das gleiche gilt für die Wiedervernässung von Weiden, welche zu einem Grasertragsrückgang führte und für einzelne Betriebe reduzierte Tierbestände zur Folge haben könnte. Insgesamt wären jedoch nur 9'000 ha betroffen, weshalb die Unterschiede auf der nationalen Skala klein wären.

Reduzierte Tierbestände hätten auch Folgen für alle Massnahmen, die mit Hofdünger in Verbindung stehen (Güllelagerabdeckung, Gülleausbringung), aber vermutlich wären die Auswirkungen nicht sehr gross. Es gäbe noch weitere potenzielle Interaktionen mit Auswirkungen auf den Einsatz von Hofdünger (Körnerleguminosen benötigen keine Stickstoffdüngung), aber diese abzuschätzen ist auf Basis der vorliegenden Daten und Methoden sehr schwierig.

Weitere Interaktionen von Massnahmen, welche nicht berücksichtigt wurden, sind mögliche Veränderungen der Bodenkohlenstoffvorräte. Alle Massnahmen welche Tierbestände reduzieren führen zu einem geringerem Futterflächenbedarf. Wenn sich infolgedessen die Nutzung dieser Flächen ändert, kann dies CO₂ Emissionen oder eine erhöhte Aufnahme von CO₂ zur Folge haben.

Ähnlich könnte sich eine Veränderung der Kulturanteile in der Fruchtfolge, wie im Szenario mit den erhöhten Anteilen von Körnerleguminosen, auswirken. Grund dafür ist, dass Kulturen sich in der Menge der Ernterückstände unterscheiden und diese wichtige Kohlenstoffeinträge in den Boden liefern. Zudem könnten auch Kohlenstoffeinträge durch organische Dünger wie Gülle und Mist wegfallen, da Körnerleguminosen keine Stickstoffdünger benötigen.

Wenn vermehrt Hofdünger in Biogasanlagen vergärt würde, könnte auch dies sich auf die Bodenkohlenstoffbilanz auswirken. Die Kohlenstoffeinträge durch das Ausbringen von Hofdünger würden wegfallen, könnten jedoch teilweise durch das Ausbringen der Gärreste ersetzt werden. Da während der Vergärung ein Teil des Kohlenstoffs in Methan umgewandelt wird, ist die Kohlenstoffmenge, welche auf die Felder zurückgebracht werden kann, geringer. Zudem unterscheidet sich die Verweildauer von Kohlenstoff im Boden, je nachdem ob er in der Form von Hofdünger oder Gärresten ausgebracht wird (Keel et al., 2025). Auch all diese Auswirkungen konnten im Rahmen der vorliegenden Studie nicht abgeschätzt werden und würden die Anwendung eines Bodenkohlenstoffmodells erfordern.

Die Pflege der neu angepflanzten Bäume bei der Massnahme Agroforst hinterlässt Gehölzschnitt, welche man zur Pflanzenkohleproduktion verwenden könnte. Damit und mit dem Wurzeleintrag durch die Bäume könnte die C-Sequestrierung im Boden erhöht werden. In der vorliegenden Studie wurde das nicht berücksichtigt.

4.3 Ausblick

Um das Ziel der Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung zu erreichen, ist bis 2050 eine Reduktion der THG-Emissionen um 40 % im Vergleich zum Stand 1990 notwendig. Mit den zwölf Massnahmen kann im kostengünstigen Fall mit einem Budget von 87 Mio. CHF pro Jahr eine Minderung um 28 % (2'131 kt CO₂eq) erreicht werden. Für die beiden anderen Szenarien würden die Kosten wesentlich höher ausfallen und sich für eine Reduktion von 28 % bis 34 % auf 1'017 bis 1'124 Mio. CHF pro Jahr belaufen. Diese Vermeidungskosten könnten mit grosser Wahrscheinlichkeit durch den Einsatz von strukturellen Massnahmen reduziert werden, wie die Resultate von Peter et al., (2015) gezeigt haben. Zudem zeigte die Studie von Bretscher et al., (2018), dass das THG-Minderungspotenzial struktureller Massnahmen (im Artikel wurde eine Umstellung der Landnutzung gemäss Umweltziele Stickstoffverluste oder der Ernährung in Richtung Lebensmittelpyramide quantifiziert) sehr gross sein kann (im Bereich von 1500-2000 kt CO₂eq) da sie im Vergleich zu den hier untersuchten technischen Massnahmen

eine Vielzahl von Einzelmassnahmen umfassen. Noch umfassender war die Studie von Zimmermann et al., (2017), welche mit Hilfe von Modellrechnungen das theoretische Potenzial einer umweltschonenderen Ernährung ermittelt hat. Während eine Ernährung in Richtung Lebensmittelpyramide vor allem mit einer Reduktion der Fleischproduktion einher ging (Schweine, Mastgeflügel, Grossviehmast, Mutterkühe), sank bei einer bezüglich des Treibhauspotenzials optimierten, aber dennoch bedarfsdeckenden Ernährung auch die Zahl der Milchkühe deutlich. Damit liessen sich die Treibhausgasemissionen der inländischen Landwirtschaft um rund 45% reduzieren, doppelt so stark wie mit einer Einhaltung der Empfehlungen nach Lebensmittelpyramide. Ein zusätzliches Reduktionspotenzial um bis zu einem Sechstel bestand in der Vermeidung von Food Waste. Entsprechend der veränderten Zusammensetzung der Ernährung wurde die Ackerfläche vorwiegend für die Produktion von pflanzlichen Nahrungsmitteln anstelle von Futtermitteln genutzt. Gleichzeitig wurde ein Grossteil des Dauergrünlands extensiviert. Zudem sanken die Futtermittelimporte fast vollständig und die Nahrungsmittelimporte um rund die Hälfte. Somit verringerte sich neben dem Treibhauspotenzial der Inlandproduktion auch jenes der Importe deutlich. Diese früheren Arbeiten zeigen, dass strukturelle Massnahmen welche Tierbestände reduzieren, sehr effektiv sind, um THG-Emissionen zu reduzieren. Kosten solcher Massnahmen wurden jedoch kaum betrachtet (mit Ausnahme von Peter et al., 2009) und weitere Studien dazu sind notwendig und sehr empfehlenswert. Im Gegensatz zu technischen Massnahmen, erfordern strukturelle Massnahmen jedoch andere Ansätze zur Förderung, da sie teilweise Verhaltensänderungen bedingen (z.B. veränderte Ernährung) und viel komplexer sind.

In der vorliegenden Studie wurden die Gesamtkosten berechnet, d.h. Direktzahlungen oder andere Förderbeiträge wurden nicht miteinbezogen, um alle Massnahmen gleich zu behandeln. Werden - wie im Fall von Agroforst gezeigt wurde (nur für Resultate in Tabelle 8) - die Förderbeiträge berücksichtigt, dann erhöhen sich aus der Sicht der Betriebe die Gewinne bzw. verringern sich die Kosten. Für den Grossteil der Massnahmen würden die Kosten sinken. Bei der Wiedervernässung organischer Böden würde es sich jedoch umgekehrt verhalten, da der Einkommensverlust noch grösser wird, wenn die wegfallenden Direktzahlungen (meist Versorgungssicherheitsbeiträge) mitberücksichtigt werden.

Generell deuten das Vorhandensein von kostenneutralen und kostensenkenden Massnahmen, die relativ einfach anzuwenden wären – wie im Fall der verlängerten Nutzungsdauer – und eine tiefe Umsetzungsrate bei solchen Massnahmen darauf hin, dass nicht-wirtschaftliche Hindernisse – wie administrative, soziale und kulturelle Faktoren – deren Umsetzung behindern (Kreft et al., 2021; Long et al., 2016; Schenk et al., 2007). Diese Aspekte sollten in zukünftigen Studien berücksichtigt werden.

5 Danksagung

Wir danken Daniel Felder für die wertvollen Inputs während der gesamten Projektphase.

Zudem bedanken wir uns bei allen die dieses Projekt mit ihrem Fachwissen unterstützt und wichtige Informationen mit uns geteilt haben: Fredy Abächerli, Francesco Argento, Simon Baumgartner, Alain Büttler, Vanessa Burg, Arnaud de Lorient, Yvonne Fabian, Jens Leifeld, Frank Liebisch, Alex Mathis, Toni Meier, Markus Rombach, Albert von Ow, Chloé Wüst-Galley.

6 Literaturverzeichnis

- Abel, S. (2023). Wiedervernässung von Mooren Moor-Wiedervernässung & Paludikultur.
https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00057111/PC_Wiedervernaessung.pdf.
- Agrammon (2024). The Swiss ammonia model. Federal Office for the Environment FOEN.
<https://agrammon.ch/en/downloads/>
- Agroscope (2014). Fütterungstool zur Ermittlung des Energie- und Stickstoffumsatzes von Milchkühen in der Schweiz. Agroscope, Institut für Nutztierwissenschaften (INT).
- Ahlvik, L., Ekholm, P., Hyytiäinen, K., & Pitkänen, H. (2014). An economic–ecological model to evaluate impacts of nutrient abatement in the Baltic Sea. *Environmental Modelling & Software*, 55, 164–175.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.01.027>
- Alig, M., Prechsl, U., Schwitter, K., Waldvogel, T., Wolff, V., Wunderlich, A., Zorn, A., & Gaillard, G. (2015). Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmassnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz. *Agroscope Science*, 29, 1–160.
- Anton, C., Hohlbein, C., Steinicke, H., Wetterich, S., Roller, S., & Hoven, G. von. (2024). Klima – Wasserhaushalt – Biodiversität: Für eine integrierende Nutzung von Mooren und Auen [Report].
https://doi.org/10.26164/leopoldina_03_01185
- Arabi, M., Govindaraju, R. S., & Hantush, M. M. (2006). Cost-effective allocation of watershed management practices using a genetic algorithm. *Water Resources Research*, 42(10). <https://doi.org/10.1029/2006WR004931>
- Argento, F., Liebisch, F., Anken, T., Walter, A., & El Benni, N. (2022). Investigating two solutions to balance revenues and N surplus in Swiss winter wheat. *Agricultural Systems*, 201, 103451.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103451>
- BLW, BLV, BAFU (2025a). Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050.
<https://www.blw.admin.ch/de/klimastrategie-landwirtschaft-und-ernaehrung-2050>
- BLW (2025b). Ressourcenprojekt «AgroCO2ncept». <https://www.blw.admin.ch/de/ressourcenprojekt-agroco2ncept>
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018, July 19). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. Cambridge University Press. Higher Education from Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108235594>
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., & Ippolito, J. A. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 2354–2364.
- Bretscher, D. (2025, May 8). Schweizer Agrarpolitik und ihr Einfluss auf Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz*. <https://www.agrarforschungschweiz.ch/2025/05/schweizer-agrarpolitik-und-ihr-einfluss-auf-treibhausgasemissionen-in-der-landwirtschaft/>
- Bretscher, D., Ammann, C., Wüst, C., Nyfeler, A., Felder, D., & others. (2018). Reduktionspotenziale von Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Nutztierhaltung. *Agrarforschung Schweiz*, 9(11–12), 376–383.
- Bretscher, D., Hagemann, N., & Zosso, C. (2025). Einsatz von Pflanzenkohle. Agroscope. Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Cazis 2025.
- Bühlmann, T., Hiltbrunner, E., Körner, C., Rihm, B., & Achermann, B. (2015). Induction of indirect N₂O and NO emissions by atmospheric nitrogen deposition in (semi-) natural ecosystems in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 103, 94–101.
- Burg, V., Bowman, G., Erni, M., Lemm, R., & Thees, O. (2018). Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland. *Biomass and Bioenergy*, 111, 60–69.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.007>

- Burg, V., Troitzsch, K. G., Akyol, D., Baier, U., Hellweg, S., & Thees, O. (2021). Farmer's willingness to adopt private and collective biogas facilities: An agent-based modeling approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105400. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105400>
- Bütler, A., Gazzarin, C., Häfliger, D., Küng, H., Mathys, S., & Zbären, J. (2024). Kostenkatalog 2024 (548 / 2024; Richtwerte für die Kosten von Maschinen, Arbeit, Gebäude und Hoftechnik). Agroscope. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/wirtschaftstechnik/betriebswirtschaft/kostenkatalog.html>
- den Hond-Vaccaro, C., Herzog, F., Schoop, J., Nilles, L., Jäger, M., & Kay, S. (2025). *Agroforstpraxis in der Schweiz: Verwurzelt im Wandel*. Haupt Verlag.
- Dietiker, D., Graf, S., Vonnez, J.-F., Rombach, M., Schmid, N., Bopp, M., Schneider, L., Gloor, A., Hans-Moëvi, M., Oberle, J., Willi, C., Guyer, A., Salzmann, J., Wof, S., Schütz, A., & Gazzarin, C. (2021). Deckungsbeiträge 2021 (Getreide, Hackfrüchte, Übrige Ackerkulturen, Futterbau, Spezialkulturen, Tierhaltung). AGRIDEA.
- Dmuchowski, W., Baczewska-Dąbrowska, A. H., & Gworek, B. (2024). The role of temperate agroforestry in mitigating climate change: A review. *Forest Policy and Economics*, 159, 103136.
- Duval, J. (2024). Reducing GHG emissions from agri-food systems in Switzerland.
- Ecoplan (2019). Volkswirtschaftliche Beurteilung (VOBU): Revision der Luftreinhalte Verordnung (LRV) (Emissionsarme Güllelagerung und -ausbringung). Bundesamt für Umwelt.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP), Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. de L., Christensen, H., Dusemund, B., Fašmon Durjava, M., Kouba, M., López-Alonso, M., López Puente, S., Marcon, F., Mayo, B., Pechová, A., Petkova, M., Ramos, F., Sanz, Y., Villa, R. E., Woutersen, R., Aquilina, G., ... Pizzo, F. (2021). Safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production and reproduction (DSM Nutritional Products Ltd). *EFSA Journal*, 19(11), e06905. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905>
- Eory, V., Pellerin, S., Carmona Garcia, G., Lehtonen, H., Licite, I., Mattila, H., Lund-Sørensen, T., Muldowney, J., Popluga, D., Strandmark, L., & Schulte, R. (2018). Marginal abatement cost curves for agricultural climate policy: State-of-the art, lessons learnt and future potential. *Journal of Cleaner Production*, 182, 705–716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.252>
- First Climate. (2016). Programm zur Reduktion von Lachgas-Emissionen in der Schweizer Landwirtschaft mittels Ammonium-stabilisierten Mineraldüngern ENTEC 26.
- Fischler, M., Uebersax, A., Annelies Uebersax, Egli, A., Michel Fischler, Favre, G., Fischler, M., Hofer, P., Luzi, V., Schrade, S., & Stadelmann, F. (2012). Guelleabdeckung_KOLAS_BLW_D. Konferenz der Landwirtschaftsämtler der Schweiz (KOLAS) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). https://www.ipsuisse.ch/wp-content/uploads/Guelleabdeckung_KOLAS_BLW_D.pdf
- FOEN (2014). Standardmethode für ompensationsprojekte des Typs „Landwirtschaftliche Biogasanlagen“ [Version für informelle Konsultation]. Federal Office for the Environment, Geschäftsstelle Kompensation, Bern.
- FOEN (2024a). Switzerland's first biennial transparency report under the Paris Agreement. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN). https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BTR1_CHE_2024.pdf
- FOEN (2024b). Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2022: National Inventory Document and reporting tables. Submission of 2024 under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Federal Office for the Environment, Bern. <http://www.climate reporting.ch>
- FOEN (2025). CO2 levy for private individuals. <https://www.bafu.admin.ch/en/co2-levy-private-individuals>
- Gazzarin, C., Schmid, D., & Bieber, A. (2025). Economic drivers of the optimal productive lifespan of dairy cows in two different Swiss milk production systems. *Journal of Dairy Science*.

- Giannitsopoulos, M. L., Graves, A. R., Burgess, P. J., Crous-Duran, J., Moreno, G., Herzog, F., Palma, J. H., Kay, S., & de Jalón, S. G. (2020). Whole system valuation of arable, agroforestry and tree-only systems at three case study sites in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122283.
- Gilgen, A., Schneuwly, J., Zosso, C. U., Merbold, L., & Bretscher, D. (2025). New approach to calculate agri-environmental indicators using greenhouse gas emissions in Switzerland as an example. Available at SSRN 5640831.
- Grandl, F., Furger, M., Kreuzer, M., & Zehetmeier, M. (2019). Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal*, 13(1), 198–208.
- Grossrieder, J., Ringger, C., Argento, F., Grandgirard, R., Anken, T., & Liebisch, F. (2022). Standortangepasste stickstoffdüngung: Aktuelle methoden und erfahrungen. *Agrarforschung Schweiz*, 13, 103–113.
- Hao, Z., Bretscher, D., Kay, S., Mack, G., Winter, E., & Keel, S. G. (2025). How measures for greenhouse gas mitigation in agriculture are implemented strongly determines cost-effectiveness. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5930065>
- Hao, Z., Wätzold, F., & Sturm, A. (2023). A Spatially Explicit Hydro-Economic Modeling Procedure to Design Cost-Effective Agri-Environment Schemes for Mitigating Water Pollution from Cropland. *Water Economics and Policy*, 09(03), 2340011. <https://doi.org/10.1142/S2382624X23400118>
- Huber, R., Tarruella, M., Schäfer, D., & Finger, R. (2023). Marginal climate change abatement costs in Swiss dairy production considering farm heterogeneity and interaction effects. *Agricultural Systems*, 207, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103639>
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).
- IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- Kay, S., Graves, A., Palma, J. H., Moreno, G., Rocas-Díaz, J. V., Aviron, S., Chouvardas, D., Crous-Duran, J., Ferreiro-Domínguez, N., & de Jalón, S. G. (2019). Agroforestry is paying off—Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services*, 36, 100896.
- Kebreab, E., Bannink, A., Pressman, E. M., Walker, N., Karagiannis, A., Gastelen, S. van, & Dijkstra, J. (2023). A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 927–936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Keel, S. (2023). R version of RothC model including two biochar and two exogenous organic matter pools [Computer software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8218886>
- Keel, S. G., Bretscher, D., Leifeld, J., von Ow, A., & Wüst-Galley, C. (2023). Soil carbon sequestration potential bounded by population growth, land availability, food production, and climate change. *Carbon Management*, 14(1), 2244456.
- Keel, S. G., Budai, A., Elsgaard, L., Hardy, B., Levavasseur, F., Zhi, L., Mondini, C., Plaza, C., & Leifeld, J. (2025). Efficiency of Plant Biomass Processing Pathways for Long-Term Soil Carbon Storage. *European Journal of Soil Science*, 76(2), e70074.
- Keller, B., Oppliger, C., Chassot, M., Ammann, J., Hund, A., & Walter, A. (2024). Swiss agriculture can become more sustainable and self-sufficient by shifting from forage to grain legume production. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 40.
- Kjeldsen, M. H., Jensen, M. B., & Lund, P. (2023). Potent methane reducing feed additives in a Danish context, and their reduction potential, additive effects, risks related to animal welfare and carry-over to milk, and potential trade-offs.
- Klotz, S., & Offenhammer, A. (2024, January 18). Switzerland commits to climate neutrality by 2050: A call for action. PwC. <https://www.pwc.ch/en/insights/tax/switzerland-commits-to-climate-neutrality-by-2050.html>

- König, M., Brühlmeier, M., Hirsiger, I., Springer, B., Fankhauser, P., & Matter, R. (2024). Statistischer Jahresbericht Gemüse 2023.
- Kreft, C., Finger, R., & Huber, R. (2023). Action- versus results-based policy designs for agricultural climate change mitigation. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 46(3), 1010–1037. <https://doi.org/10.1002/aepp.13376>
- Kreft, C., Huber, R., Wuepper, D., & Finger, R. (2021). The role of non-cognitive skills in farmers' adoption of climate change mitigation measures. *Ecological Economics*, 189, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107169>
- Kühni, B., & Menghini, F. (2023). Climate Change Regulation 2023 (Chambers Global Practice Guides) [Law and Practice]. Lenz & Staehelin. https://www.lenzstaehelin.com/fileadmin/user_upload/2023_ClimateChange_Chambers_020_SWITZERLAND.pdf
- Kupper, T., Ch, H., Bretscher, D., & Zaucker, F. (2022). Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 bis 2020. Bericht Im Auftrag Des Bundesamtes Für Umwelt, 0–104.
- Kupper, T., Cyrill Bonjour, Harald Menzi, Daniel Bretscher, & Fritz Zaucker. (2018). Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990-2015.
- Lauer, M., Hansen, J. K., Lamers, P., & Thrän, D. (2018). Making money from waste: The economic viability of producing biogas and biomethane in the Idaho dairy industry. *Applied Energy*, 222, 621–636. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.026>
- Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2005). Greenhouse gas emissions from Swiss agriculture since 1990: Implications for environmental policies to mitigate global warming. *Environmental Science & Policy*, 8(4), 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.04.001>
- Long, T. B., Blok, V., & Coninx, I. (2016). Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: Evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 112, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.044>
- Ma, X., Räisänen, S. E., Garcia-Ascolani, M. E., Bobkov, M., He, T., Islam, M. Z., Li, Y., Peng, R., Reichenbach, M., Serviento, A. M., & others. (2024). Effects of 3-nitrooxypropanol (Bovaer10) and whole cottonseed on milk production and enteric methane emissions from dairy cows under Swiss management conditions. *Journal of Dairy Science*, 107(9), 6817–6833.
- Mangino, J., Bartram, D., & Brazy, A. (2001). Development of a methane conversion factor to estimate emissions from animal waste lagoons. US EPA's 17th Annual Emission Inventory Conference, Atlanta GA, USA.
- Mann, S., & Kaiser, A. (2023). Why is agricultural policy not more environmentally ambitious? Comparing failed attempts in Switzerland. *Resources, Environment and Sustainability*, 11, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100096>
- McKinsey (2009). Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/cost%20curve%20pdfs/ghg_cost_curve_report_final.pdf
- Möhring, A., Mack, G., Zimmermann, A., Ferjani, A., Schmidt, A., & Mann, S. (2016). Agent-based modeling on a national scale—Experiences from SWISSland. *Agroscope Science*, 30(2016), 1–56.
- Nishizawa, T., Kay, S., Schuler, J., Klein, N., Herzog, F., Aurbacher, J., & Zander, P. (2022). Ecological–economic modelling of traditional agroforestry to promote farmland biodiversity with cost-effective payments. *Sustainability*, 14(9), 5615.
- Peter, S., Hartmann, M., Weber, M., Lehmann, B., & Hediger, W. (2009). „THG 2020“ – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz [Info Agrarwirtschaft, 1, 142]. Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie ETH.

- Richner, W., Sinaj, S., & Carlen, C. (2017). GRUD 2017: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz. Agroscope.
- Rivelli, I., Hueso, R., Müller, I., Hoermansperger, J., Gaytán-Pérez, I., Kinderman, M., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2025). Efficacy of 3-NOP applied in drinking water on enteric methane reduction in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 327, 116400. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116400>
- Roberti, G., Bragazza, L., Bretscher, D., den Hond-Vaccaro, C., Jarosch, K., Keel, S. G., Mariotte, P., Merbold, L., Reissig, L., & Walder, F. (2024). Evaluation der Rolle von Agroforst in einer gesamt-heitlichen Landwirtschafts- und Ernährungspolitik.
- Schenk, A., Hunziker, M., & Kienast, F. (2007). Factors influencing the acceptance of nature conservation measures—A qualitative study in Switzerland. *Journal of Environmental Management*, 83(1), 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.01.010>
- Schindler, Z., Seifert, T., Sheppard, J. P., & Morhart, C. (2023). Allometric models for above-ground biomass, carbon and nutrient content of wild cherry (*Prunus avium* L.) trees in agroforestry systems. *Annals of Forest Science*, 80(1), 28.
- Schulte, R., Crosson, P., Donnellan, T., Farrelly, N., Finnan, J., Lalor, S., Lanigan, G., O'Brien, D., Shalloo, L., Thorne, F., & others. (2012). A marginal abatement cost curve for Irish agriculture. Teagasc Submission to the National Climate Policy Development Consultation, Teagasc, Oakpark, Carlow, Ireland.
- Schweizerischer Bundesrat (2021). Vernehmlassung zum Verordnungspaket Parlamentarische Initiative 19.475 «Das Risiko beim Einsatz von Pestiziden reduzieren».
- Sinaj, S., Charles, R., Baux, A., Dupuis, B., Hiltbrunner, J., Levy, L., Pellet, D., Blanchet, G., & Jeangros, B. (2017). 8/ Düngung von Ackerkulturen. Agroscope.
- Spuhler, M., Fischler, M., Mettler, R., Franz Stadelmann, & Markus Bucheli. (2024). Abdeckung von Güllelagern zur Reduktion von Emissionen (Merkblatt von KOLAS Und KVV).
- Spuhler, M., Graf, S., & Weyermann, I. (2023). Stickstoffreduzierte Phasenfütterung bei Schweinen. AGRIDEA. https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/aktuell/kurznews/2024/12-11_bedarfsgerechte-fuetterung-von-schweinen.html
- Stocker, T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (eds.) (2014). Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Tarruella, M., Huber, R., Mack, G., El Benni, N., & Finger, R. (2025). Cost-effectiveness of farm-vs. Regional-level climate change mitigation policies. *Q Open*, 5(1), qoad022.
- Trapero, J. R., Alcazar-Ruiz, A., Dorado, F., & Sanchez-Silva, L. (2025). Biochar price forecasting: A novel methodology for enhancing market stability and economic viability. *Journal of Environmental Management*, 377, 124681. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124681>
- Walz, I., Dittmann, M., Leifeld, J. (2026). Recovery and composition of biochar after feeding to cattle. *Biochar*, 8, 13.
- Widmer, A., Tamagni, L., Wüst-Galley, C., Paul, S., Jocher, M., Volpe, V., Doetterl, S., Keller, T., & Leifeld, J. (2026). Mitigating greenhouse gas emissions of a managed organic soil by paddy rice cultivation in the cool temperate zone. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 399, 110146.
- Winter, E., Hao, Z., Keel, S. G., Kay, S., Bystricky, M., Stüssi, M., & Mack, G. (n.d.). The potential of agroforestry systems on meadows in Switzerland for climate mitigation and biodiversity enhancement: An economic and environmental assessment.

Winter, E., Rödiger, M., Schneuwly, J., Gilgen, A., & Mack, G. (2024). Modelling cow longevity policies: Impacts on GHG emissions of the Swiss agricultural sector. *Agricultural Systems*, 221, 104107. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104107>

Wüst-Galley, C., & Leifeld, J. (2025). The distribution and (future) use of Switzerland's organic soils. *Mires and Peat*, 32, 04.

Zimmermann, A., Nemecek, T., Waldvogel, T. (2017). Umwelt- und ressourcenschonende Ernährung: Detaillierte Analyse für die Schweiz. *Agroscope Science*, 55.

7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Überblick über den methodischen Ansatz. Verwendete Modelle: Agrarsektormodell SWISSland, Treibhausgasinventarmodell (THGI) und Schweizer Ammoniak- und Treibhausgasemissionsmodell (Swiss Ammonia and Greenhouse Gas Emission (SAGE) model). 10

Abbildung 2: MACC-Diagramme (Grenzkostenkurven) von zwölf Massnahmen für die Schweizer Landwirtschaft unter drei Szenarien. Die Massnahmen sind von links nach rechts nach steigenden Kosten geordnet. Die Kosten pro t CO₂eq je Massnahme sind auf der linken Y-Achse abzulesen. Die rechte Y-Achse bezieht sich auf die blaue Linie mit den kumulierten Kosten. Die rote gestrichelte Linie zeigt den aktuellen CO₂-Preis an. Die Breite der Balken widerspiegelt das THG-Minderungspotenzial pro Massnahme. Auf der X-Achse kann das kumulierte Minderungspotenzial der Massnahmen abgelesen werden (schwarze Zahlen) und die kumulierte Emissionsreduktion (in % gegenüber dem Niveau von 1990, blaue Zahlen). Bei Massnahmen mit sehr geringen Kosten wurden die Balken künstlich vergrössert, um sie besser sichtbar zu machen. 20

8 **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen der Schweizer Landwirtschaft (Datenquelle: FOEN, 2024b) 9

Tabelle 2: Beschreibung der Massnahmen 10

Tabelle 3: Beschreibung des aktuellen Zustands (Ausgangszustand) und von ein bis drei Szenarien pro Massnahme für verschiedene Annahmen bei der Umsetzung. Sr steht für das Referenzszenario, das günstige wird mit Sg und das teure mit St abgekürzt. Die Einteilung erfolgte anhand des Preises pro vermiedene Tonne CO₂eq. 12

Tabelle 4: Wichtigste Kostenpositionen und Annahmen der Minderungsmassnahmen 14

Tabelle 5: Wichtigste Annahmen und Methoden zur Berechnung der Treibhausgasminderungspotenziale 17

Tabelle 6: Zusammenfassung der drei MACC-Diagramme. Die Emissionsreduktionen in Prozent beziehen sich auf das Jahr 1990. 19

Tabelle 7: THG-Minderungspotenziale und Kosten der identifizierten Massnahmen für verschiedene Szenarien. Fallen die THG-Minderungskosten für eine Tonne CO₂ unter 120 CHF, wird die Massnahme für das entsprechende Szenario als kosteneffizient identifiziert und in fetter Schrift hervorgehoben. Negative Kosten bedeuten einen Gewinn für die Betriebe. 21

Tabelle 8: Ergebnisse für die Massnahme Agroforst mit einer einfachen Berechnungsmethode 22