

# **MAßNAHMEN ZUR TREIBHAUSGAS- REDUKTION IN DER LANDWIRT- SCHAFT ZUR ERREICHUNG DER ZIELE DES KLIMASCHUTZGESETZES**

*Emissionsszenarien*

## ZUSAMMENFASSUNG

### **Inhalt und Szenarien**

Der vorliegende Bericht beschreibt die Entwicklung der Treibhausgas (THG)-Emissionen aus dem IPCC Sektor „Landwirtschaft“ (CRF-Sektor 3) und aus den Subkategorien Ackerland und Grünland des IPCC-Sektors „Landnutzung, Landnutzungswechsel und Forstwirtschaft“ (LULUCF bzw. CRF-Sektor 4) für die historische Zeitreihe ab 1990 bis 2050 anhand der Szenarien WEM, WAM, WAM+ und WAM++.

Das Szenario WEM (with existing measures) beschreibt bestehende Maßnahmen, die gegenwärtig umgesetzt werden (z. B. Gemeinsame Agrarpolitik Strategieplan). Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Erfüllung der nationalen Berichtspflicht unter der Governance Regulation (EU) 2018/1999 mit 15. März 2023.

Das Szenario WAM (with additional measures) beschreibt zusätzliche Maßnahmen und soll zeigen, inwiefern die geplanten Maßnahmen für die Zielerreichung 2030 und darüber hinaus ausreichen (z. B. Maßnahmen aus dem Integrierten Nationalen Energie- und Klimaplan).

Das in diesem Bericht dargestellte WAM-Szenario reflektiert den derzeitigen Stand der fachlichen Diskussionen (Ende Februar 2023) und wird deshalb „WAM vorläufig“ genannt (WAM<sup>vorl</sup>).

Die Szenarien WAM+ und WAM++ sind sogenannte Zielerreichungsszenarien. Sie dienen dazu einen Eindruck zu erhalten, welche zusätzlichen Maßnahmen für die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen aus dem Sektor Landwirtschaft von 30 % (WAM+) bzw. 40 % (WAM++) notwendig wären und welche volkswirtschaftlichen Konsequenzen dies für Österreich hätte. Sie dienen als fachliche Grundlage für den politischen Entscheidungsprozess, um die Auswirkungen der sektorbezogenen Zielfestlegung abschätzen zu können.

### **Entwicklung der Annahmen**

Die in dieser Studie analysierten Szenarien sind kumulativ. Das bedeutet, dass das WEM-Szenario auf einer Reihe von Annahmen beruht und die weiteren Szenarien WAM<sup>vorl</sup>, WAM+ und WAM++ zusätzliche Annahmen enthalten, die zusammen mit jenen aus dem WEM-Szenario simuliert werden.

In einem Stakeholder-Prozess wurde zu den Szenarien eine Reihe von Annahmen entwickelt, um mögliche Entwicklungspfade der österreichischen Landwirtschaft und deren Auswirkung auf die Klima- und Wirtschaftspolitik darzustellen.

Die Aktivitäts-Szenarien wurden mit dem Agrarsektormodell PASMA abgeschätzt. Die Ergebnisse aus dem PASMA-Modell stellen die Datengrundlage für die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen dar.

Die Effekte auf Beschäftigung und Wertschöpfung für die gesamte Wirtschaft wurden aus dem makroökonomischen Modell ADAGIO abgeleitet.

Die Berechnung der Emissionen basiert auf der Methodik der Österreichischen Luftschadstoffinventur (OLI).

### Ergebnisse für den IPCC-Sektor Landwirtschaft

In diesem Sektor werden im Wesentlichen die Emissionen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung und Düngung dargestellt.

#### THG-Reduktionen in den Szenarien

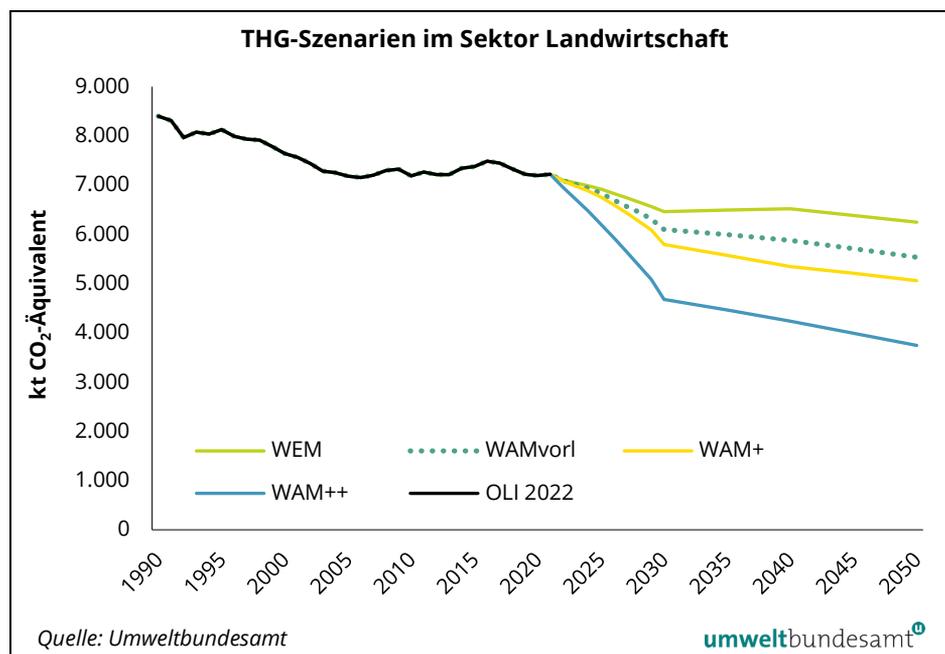
Alle vier Szenarien WEM, WAM<sup>vorl</sup>, WAM+ und WAM++ zeigen für den Sektor Landwirtschaft Treibhausgas-Emissionsreduktionen bis 2030, 2040 und 2050. Erwartungsgemäß sind die Abnahmen im WEM-Szenario am geringsten, im WAM++-Szenario am größten (siehe Abbildung 1).

Im Verhältnis zum Vergleichsjahr 2005 kommt es 2030 zu einem Emissionsrückgang von 10 % im WEM, 15 % im WAM<sup>vorl</sup>, 19 % im WAM+ und 35 % im WAM++-Szenario.

In der Periode 2005–2040 kommt es zu einem Emissionsrückgang von 9,2 % im WEM, 18 % im WAM<sup>vorl</sup>, 26 % im WAM+ und 41 % im WAM++-Szenario.

Zwischen 2005 und 2050 verringern sich die Treibhausgas-Emissionen um 13 % im WEM, 23 % im WAM<sup>vorl</sup>, 30 % im WAM+ und um 48 % im WAM++-Szenario.

Abbildung 1:  
Ergebnisse der THG-Emissionsszenarienabschätzung (kt CO<sub>2</sub>-Äquivalent) – Sektor Landwirtschaft.



#### Abhängigkeit der Emissionsentwicklung

Die Emissionsentwicklung ist stark durch Aktivitätszahlen, wie Tierbestände, Milchleistung und Mineraldüngermengen, beeinflusst. Zusätzlich kommt die Wirkung emissionsmindernder Maßnahmen in den Bereichen Fütterung, Tierhaltungssysteme, Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Mineraldüngern zum Tragen – je nach Szenario in unterschiedlicher Intensität.

Methan aus der enterogenen Fermentation in Rindermägen ist Hauptverursacher der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen. Somit ist, gemäß den PASMA-Szenarienergebnissen, der Haupttreiber für die THG-Entwicklung der Rinderbestand.

**Rinderbestand** Der Rinderbestand zeigt in allen Szenarien abnehmende Trends, die bis 2030 immer am stärksten ausfallen, da ab diesem Zeitpunkt für die Szenarien zwar Preise und Kosten, aber keine neuen Maßnahmen mehr implementiert wurden. Die Rückgänge im Rinderbestand bewegen sich für den Zeitraum 2021 bis 2030 zwischen minus 13 % im WEM und minus 33 % im WAM++. Für die Periode 2021 und 2040 wurden Abnahmen von minus 13 % im WEM und minus 36 % im WAM++ modelliert. Die durchschnittliche Milchleistung pro Milchkuh ist in allen vier Szenarien, basierend auf den Ergebnissen des Stakeholder-Workshops, kontinuierlich ansteigend (2021 bis 2030: +11 % bzw. 2021 bis 2040: +21 %). Für den Schweine- und Geflügelbestand zeigen die PASMA Aktivitätsdaten aller Szenarien ebenso – zum Teil deutlich – abnehmende Trends.

**Dünger und Fütterung** Die modellierten Mineraldüngermengen zeigen im WEM- und WAM<sup>vorl.</sup>-Szenario steigende Trends. Hintergrund ist, dass das Wirtschaftsdünger-Nährstoffdefizit aufgrund der niedrigeren Tierbestände kompensiert werden muss. Für das WAM+- und WAM++-Szenario ergaben die PASMA-Modellierungen rückläufige Mineraldüngermengen.

Maßnahmen im Bereich der Fütterung haben ein großes Potenzial für die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen. Die Berücksichtigung phytogener und synthetischer Futterzusatzstoffe (je nach Szenario) ergibt für die enterogene Fermentation deutliche Methanreduktionen im Rinderbereich. Die Menge an Rohprotein in der Futtermischung ist wesentlich für die Höhe der Stickstoffausscheidung, eine proteinreduzierte Fütterung führt daher zu geringeren Emissionsmengen von Lachgas (und auch Ammoniak).

Eine weitere Maßnahme mit hohem Potenzial zur Treibhausgasreduktion ist die Behandlung des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen (Biomethanisierung). Ebenfalls zur Treibhausgas-Emissionsminderung führt die Erhöhung des Weideanteils durch den getrennten Anfall von Kot und Harn am Grünland und der dadurch verringerten Wirtschaftsdüngerlagerung. Der Effekt ist jedoch deutlich geringer.

**Ammoniak** Es gibt auch eine Reihe von Maßnahmen zur Minderung der Ammoniak-Emissionen, welche in die Berechnungen einfließen. Die Österreichische Luftschadstoffinventur (OLI) wird im Stickstoffflussverfahren berechnet, Optimierungen in der Praxis können zu deutlich geringeren NH<sub>3</sub>-Emissionen führen. In der THG-Bilanzierung wirken sich reduzierte Stickstoffverluste insbesondere auf die Emissionsmengen der indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus, das Potenzial zur THG-Reduktion ist somit beschränkt. Effizienzsteigerungen im Stickstoffmanagement sind aber zudem eine wichtige Maßnahme zur Reduktion des Mineraldüngerbedarfs.

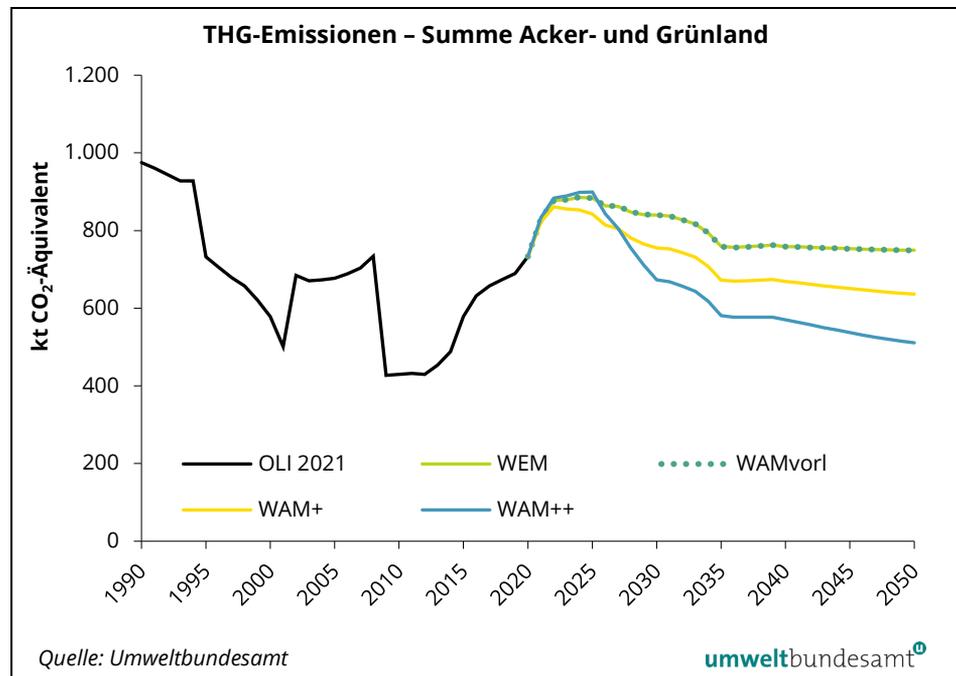
### **Ergebnisse für die Subkategorien Ackerland und Grünland des IPCC-Sektors Landnutzung, Landnutzungswechsel und Forstwirtschaft (land use, land use change and forestry – LULUCF)**

Die LULUCF-Subkategorien Ackerland und Grünland bilden insbesondere die Kohlenstoffveränderungen in deren Biomasse und Boden ab.

Aufgrund der Implementierung der humusaufbauenden ÖPUL-Maßnahmen konnte ab 1995 bis 2008 ein Rückgang der Treibhausgas-Emissionen in der LULUCF-Subkategorie Ackerland erzielt werden. Grund dafür war die Humuszunahme im Ackerboden, die die sonstigen Emissionen in dieser Landnutzungs-kategorie kompensiert haben. Nach dem Erreichen eines neuen Equilibriumzustandes und deshalb keiner weiteren erzielbaren Senke im Ackerboden auf den Flächen mit Umsetzung dieser ÖPUL-Maßnahmen fällt diese Kompensation weg und die Treibhausgas-Emissionen aus dieser Landnutzungs-kategorie sind wieder höher. Seit 2019 werden höhere Emissionen als noch 1990 beobachtet.

Die Szenarien führen aufgrund eines Rückganges an Ackerland, besonders aber aufgrund einer Reduktion der Landnutzungsänderungen von Grünland zu Ackerland, zu einer Trendumkehr in den Treibhausgas-Emissionen aus der LULUCF-Subkategorie Ackerland ab 2025 (siehe Abbildung 2). Derart wird ein weiterer Anstieg der Treibhausgas-Emissionen verhindert und der Trend zeigt für das Jahr 2050 für alle Szenarien ähnliche, um rund 10 % geringere Treibhausgas-Emissionen aus der LULUCF-Subkategorie Ackerland als im Vergleich zum Jahr 2020. Weitere Klimaschutz-Potenziale in der LULUCF-Subkategorie Ackerland, die jedoch durch die PASMA-Simulationsergebnisse nicht abbildbar und daher in den Ergebnissen nicht darstellbar waren, würden v. a. durch Maßnahmen für eine Erhöhung des Begrünungsanteils im Ackerland von aktuell rund 27 % sowie durch die weitere Anlage von Hecken und Landschaftselementen bewirkt werden.

Abbildung 2:  
Ergebnisse der THG-Emissionsszenarienabschätzung (kt CO<sub>2</sub>-Äquivalent) – Sektor LULUCF (Acker und Grünland).



**Renaturierung**

Den Haupttreiber der Treibhausgas-Emissionen aus der LULUCF-Subkategorie Grünland stellt die Drainage und Bewirtschaftung organischen Böden dar (rund 13.000 ha laut aktueller Treibhausgasinventur). Deren Wichtigkeit spiegelt sich auch in den Szenarien wider. Im Szenario WEM und WAM<sup>vorl</sup> kommt es zu keiner

Wiedervernässung organischer Böden und insgesamt sogar zu einem leichten Anstieg der Treibhausgas-Emissionen aus der LULUCF-Subkategorie Grünland bis 2050. In den Szenarien WAM+ und WAM++ hingegen bewirkt eine Wiedervernässung bzw. Renaturierung der landwirtschaftlich bewirtschafteten organischen Böden (bei WAM+ die Hälfte dieser, bei WAM++ sämtliche) eine starke Reduktion der Treibhausgas-Emissionen in der Grünland-Subkategorie (2050: minus 17 % in WAM+ und minus 47 % in WAM++ gegenüber 2020).

Über beide LULUCF-Subkategorien betrachtet bewirken die angenommenen Maßnahmen im Vergleich zu 2020 im Jahr 2050 um 2 % höhere Treibhausgas-Emissionen im Szenario WEM und um 30 % geringere Treibhausgas-Emissionen im Szenario WAM++.

***Verbesserung Inventur***

Ein weiterer Aspekt der Studie beschäftigt sich mit Möglichkeiten zur Verbesserung der Treibhausgasinventur in diesen Sektoren bzw. Subkategorien. Es werden eine Reihe von Maßnahmen, sowohl aus dem Sektor Landwirtschaft als auch aus dem Sektor Landnutzung, genannt, die zu einer Verbesserung der Treibhausgasinventur beitragen können (z. B. Landschaftselemente, Grünlandböden, Einsatz stabiler Mineraldünger, Wirtschaftsdüngerbehandlung). Verschiedene Forschungsprojekte beschäftigen sich aktuell mit der Bewertung des Reduktionspotenzials dieser Maßnahmen bzw. sind für die Zukunft geplant.

***Literaturrecherche***

Den Abschluss dieses Dokumentes bildet eine umfangreiche Literaturrecherche in der die Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen in der Landwirtschaft dargestellt und quantifiziert werden. Die Schwerpunkte der Analyse liegen auf Kohlenstoffspeicherung in der Landnutzung, Agroforstwirtschaft, Biolandbau, Stickstoffeffizienz, Methan-Emissionen und den Maßnahmen des Programmes zur Entwicklung des ländlichen Raums.

Die Einflüsse des Klimawandels wurden in der vorliegenden Analyse in PASMA (über die Abnahme der Erträge der Kulturen) berücksichtigt, nicht jedoch in den Modellen der Treibhausgasinventur. Auch Landnutzungswechsel zu anderen Landnutzungsformen wurden im vorliegenden Projekt nicht analysiert.

## SUMMARY

Within the scope of this project, scenarios of future activity and greenhouse gas (GHG) emissions and removals from the agricultural land use have been developed. Scenarios “with existing measures (WEM)” and “with additional measures (WAM)” have been developed. Furthermore, additional scenarios have been calculated, by considering two levels of possible additional policies and measures that could be added to the WEM scenario (WAM+ und WAM++).

The aim of this project was to develop and simulate specific assumptions, mitigation measures and frame conditions, which lead to a reduction of GHG emissions by 30 % (WAM+) and 40 % (WAM++) for the agriculture sector covering the time period up to 2050. In addition to the effect on the GHG emissions, the economic effects of the scenarios have been analysed. The results of this project serve as technical basis for the political decision-making process.

This report describes the development of greenhouse gas (GHG) emissions from the IPCC sector “Agriculture” (CRF sector 3) and from the subcategories “Cropland” and “Grassland” of the IPCC sector “Land use, land-use change and forestry” (LULUCF or CRF sector 4) from 1990 to 2050, based on the scenarios WEM, WAM, WAM+ and WAM++.

The scenario WEM takes into account existing measures that are currently being implemented (e.g. Common Agricultural Policy Strategy Plan). The results are required for reporting according to Regulation (EU) 2018/1999 on the Governance of the Energy Union and Climate Action.

The scenario WAM is based on the implementation of additional policy measures (e.g. measures from the current state of the technical discussions for the update of the Integrated National Energy and Climate Plan for Austria). As the WAM scenario reflects the current state of the technical discussions (end of February 2023), it is referred to as “WAM preliminary” (WAM<sup>vorl</sup>).

The scenarios WAM+ and WAM++ are so-called target achievement scenarios. These scenarios indicate which additional mitigation measures would be necessary in order to reduce GHG emissions from the agricultural sector by 30 % (WAM+) or 40 % (WAM++) compared to the base year 2005. Furthermore, all scenarios consider the economic consequences for Austria.

The scenarios are cumulative, which means that the WEM scenario is based on a set of assumptions and the other scenarios WAM<sup>vorl</sup>, WAM+ and WAM++ contain additional assumptions. All scenarios were discussed with national experts and stakeholders.

The projected activity data on livestock numbers, milk yields, N amounts of mineral fertilizer and crop yields were estimated with the Positive Agricultural Sector Model Austria (PASMA), and serve as input data for the calculation of GHG emissions. The macroeconomic model ADAGIO was engaged to derive the effects on employment and value added for the entire economy. Emissions then

are calculated based on the methodologies used for the Austrian Greenhouse Gas Inventory.

### Results for the IPCC sector Agriculture

All four scenarios show a reduction of GHG emissions for the agriculture sector until 2030, 2040 and 2050. As expected, the reductions are smallest in the WEM scenario and largest in the WAM++ scenario.

In the period 2005–2030 emissions decrease by 10 % in the WEM, 15 % in the WAM<sup>vorl</sup>, 19 % in the WAM+ and 35 % in the WAM++ scenario. Whereas in the period 2005–2040, emissions decline by 9.2 % in the WEM, 18 % in the WAM<sup>vorl</sup>, 26% in the WAM+ and 41 % in the WAM++ scenario. Between 2005 and 2050, greenhouse gas emissions will be reduced by 13 % in the WEM, 23 % in the WAM<sup>vorl</sup>, 30 % in the WAM+ and 48 % in the WAM++ scenario.

The main drivers of GHG emissions are livestock numbers, milk yields and N amounts of mineral fertilizers.

The cattle numbers are expected to decrease in all scenarios, which always indicate the strongest decrease until 2030, since from this point onwards prices and costs have been considered but no new measures were introduced. The decline in the cattle numbers for the period 2021 to 2030 range between minus 13 % in WEM and minus 33 % in WAM++. For the period 2021 and 2040, a reduction of 13 % in the WEM and 36 % in the WAM++ was modelled. The average milk yield per dairy cow is continuously increasing in all four scenarios, based on the results of the stakeholder workshop (2021 to 2030: +11 % and 2021 to 2040: +21 %). For pig and poultry, the PASMA model expects a decline in numbers for all scenarios too, to some extent significantly.

The amounts of mineral fertilizers are projected to increase in the WEM and WAM<sup>vorl</sup> scenario. Lower livestock numbers lead to a loss of manure, which has to be substituted by mineral fertilizers in order to avoid a nutrient deficit. For the WAM+ and WAM++ scenarios, the results modelled by PASMA model imply declining quantities of mineral fertilizer.

In addition, mitigation measures regarding feeding strategies, housing systems, manure storage as well as application of organic and mineral fertilizers were implemented in the scenarios. Feeding measures have a considerable impact on the reduction of GHG emissions. The consideration of phytogenic and synthetic feed additives resulted in significant methane reductions; N-reduced feeding leads to lower emissions of nitrous oxide (and also ammonia). The treatment of manure in biogas plants (anaerobic digestion) also has a notable effect on greenhouse gas reduction.

The Austrian agricultural inventory model follows the N-flow concept, which links GHG emissions and air pollutants. Several measures of ammonia abatement with effect on GHG emissions are also taken into account.

### **Results for the subcategories Cropland and Grassland of the IPCC sector Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF)**

The LULUCF subcategories of Cropland and Grassland particularly reflect the carbon changes in their biomass and soil.

Due to the implementation of agri-environmental (ÖPUL) measures, a decrease in greenhouse gas emissions was achieved in the LULUCF subcategory arable land from 1995 to 2008. The reason for this was the increase in organic carbon in cropland which compensated for the other emissions in this category. After reaching a new equilibrium state, this compensation ceases and the greenhouse gas emissions rise again. Since 2019, higher emissions have been observed than in 1990.

Due to a decrease in arable land, but especially due to a reduction in land use changes from grassland to arable land, the PASMA model results show a trend reversal in GHG emissions from the LULUCF subcategory arable land from 2025 onwards. The trend for 2050 indicates similar GHG emissions from the LULUCF subcategory arable land for all scenarios, which are around 10 % lower than in 2020. Further potential for climate protection in the LULUCF subcategory arable land, which, however, could not be depicted by PASMA and therefore is not represented in the results, could be achieved by increasing the share of greening measures (ÖPUL) in arable land from the current level of around 27 % and the further planting of hedges and landscape elements.

The main driver of GHG emissions is drainage and management of organic grassland soils (about 13,000 ha according to the current GHG inventory). According to the model results, the scenarios WEM and WAM<sup>vori</sup>, where no re-wetting of organic soils was implemented, show a slight increase in GHG emissions of grassland by 2050. In contrast, in the WAM+ and WAM++ scenarios, re-wetting or renaturation of organic grassland soils (in WAM+ half of these, in WAM++ all) results in a strong reduction of greenhouse gas emissions (2050: minus 17 % in WAM+ and minus 47 % in WAM++ compared to 2020).

Overall, considering both subcategories grassland and cropland, the adopted measures result in 2 % higher GHG emissions in the WEM scenario and 30 % lower GHG emissions in the WAM++ scenario in 2050.

A number of measures, both from the agricultural sector and from cropland and grassland (LULUCF subsector), can contribute to an improvement of the greenhouse gas inventory (e.g. landscape elements, grassland soils, use of stabilized mineral fertilizers, manure treatment). Various research projects are currently evaluating the reduction potential of these measures.

This document concludes with an extensive literature review, in which the measures for reducing GHG emissions in agriculture are presented and quantified. The analysis focuses on carbon storage in land use, agroforestry, organic farming, nitrogen efficiency, methane emissions and the measures of the Common Agricultural Policy (e.g. rural development measures).

The influences of climate change were taken into account in the present analysis in PAsMA (via the cultivation of crop yields), but not for estimating the GHG emissions. Land use changes to other forms of land use were also not considered in the present project.

## **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

*Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023  
Alle Rechte vorbehalten