

Grünland schafft Luft zum Leben

**Oberösterreichs Wiesen bringen Sauerstoff, binden Kohlendioxid
und sind Land zum Leben**



Zitiervorschlag:

FRÜHWIRTH, P. (2020): Grünland schafft Luft zum Leben. Landwirtschaftskammer
Oberösterreich, Linz.

Autor: Dipl.-Päd. Dipl.-Ing. Peter Frühwirth
Landwirtschaftskammer Oberösterreich
Abteilung Pflanzenproduktion
Linz

2. ergänzte Auflage: März 2020

©Peter Frühwirth; 4142 Pfarrkirchen im Mühlkreis

©Bilder: Alle Fotorechte beim Autor, sofern nicht anders gekennzeichnet.

Bild Titelseite: Felder- und Wiesenlandschaft im Mühlviertel.

Hinweis: Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wurde zum Teil auf eine geschlechtergerechte Formulierung verzichtet. Die gewählte Form gilt jedoch für Frauen und Männer gleichermaßen.

Ein Beitrag
zur Erweiterung des Horizontes in der Klimawandel-Diskussion

*„Gebildet ist,
wen es interessiert, wie die Welt aus anderen Augen aussieht,
und wer gelernt hat,
das eigene Blickfeld auf diese Weise zu erweitern.“*

Robert Spaemann (1927-2018)

Inhalt

1 Photosynthese als Grundlage allen Lebens.....	6
2 Biomasseproduktion des oberösterreichischen Grünlandes	9
3 Sauerstoff zum Leben.....	13
4 Humusbildung im Grünland bindet Kohlendioxid	16
5 CO ₂ -Sicherungsbeitrag.....	27
6 Nachhaltigkeit und Effizienz	28
6.1 Mehr Milch und weniger Methan	28
6.2 Das Grünlandfutter und die Kuh	33
6.3 Grünland ist Land zum Leben	34
7 Grünland in Diskussion	35
8 Nachwort	37
9 Grünland-Telegramm „Luft zum Leben“	38
10 Weiterführende Informationen über Methan, CO ₂ , Kohlenstoff-Speicherung im Boden:	39
11 Literatur	40
12 ANHANG: Factsheet – Zahlen und Fakten im Überblick	43
12.1 Photosynthese:.....	43
12.2 Grünlandnutzung in Oberösterreich 2019	43
12.3 Sauerstoffproduktion durch das Grünland in Oberösterreich:	44
12.4 Biomasseproduktion durch das Grünland in Oberösterreich:	44
12.5 Humus:	45
12.6 Treibhausgase Landwirtschaft Oberösterreich:	48
12.7 Methan in der Atmosphäre:.....	49
12.8 CO ₂ -Gehalt der Atmosphäre:.....	50

Am Beginn

Sie sitzen im klimanlagengekühlten Büro beim Fairtradecappuccino mit Milchpulversersatz aus der Einweg-Kaffee-Alukapsel und echauffieren sich über industrielle Landwirtschaft, über Agrarwüsten, über Insektensterben und die nahe Klimakatastrophenhitze, die vor ihnen da am Smartphone in ihren sozialen Netzwerkgruppen beklagt werden.

Im Sommer fliegen sie in den Süden, immer weiter, auf der Suche nach Sonne und einsamen Stränden, im Winter geht's im SUV in die snow spaces zum Schneekanonenschnee.

Und reden überzeugt mit, mit ihrem Boulevardblattwissen.

In der andauernden Diskussion um Klimawandel, Treibhausgase und deren Verursacher ist die Landwirtschaft eine bevorzugte Zielscheibe. Vielleicht auch, weil viele der lautesten Diskutanten mit ihr ursächlich überhaupt nichts mehr zu tun haben. Einfachste Allgemeinbildung über die Grundlagen unseres Lebens scheint ein rares Gut zu sein. Mit nahezu religiöser Vehemenz werden Standpunkte vertreten, dabei Schuldige markiert und deren Handlungsbedarf plakatiert.

Da kann einem Albert Einstein in den Sinn kommen, der meinte: „Der Horizont vieler Menschen ist wie ein Kreis mit Radius Null. Und das nennen sie dann ihren Standpunkt“.

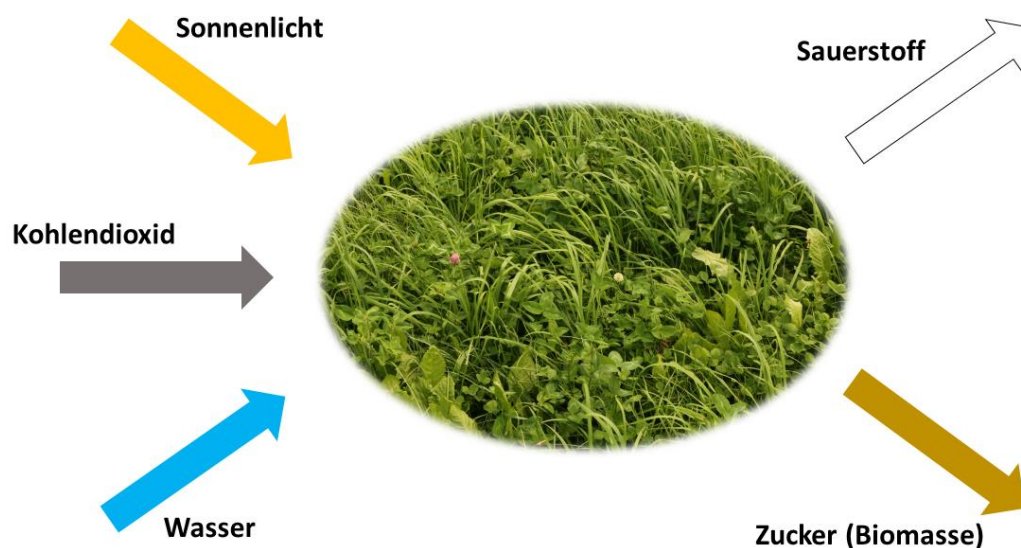
Dieser Beitrag kann hoffentlich dazu beitragen, den Radius des Horizontes maßgeblich zu vergrößern.

1 Photosynthese als Grundlage allen Lebens

Irgendwann vor 2,5 bis 2,7 Milliarden Jahren hat es Klick gemacht in der Evolution des Lebens. Bakterien entwickelten die Fähigkeit, Lichtenergie in chemische Energie umzuwandeln. Diese wird dann zum Aufbau energiereicher Verbindungen, Kohlenhydrate, verwendet.

Im Fach Naturgeschichte hat der Autor bei Prof. Walter Kellermayr im Gymnasium gelernt:

*„Die Pflanzen erzeugen
aus dem Wasser des Bodens
mit dem Kohlendioxid der Luft
unter Ausnutzung der Sonnenenergie
Nährstoffe
und geben dabei Sauerstoff ab.“*



Die Photosynthese ist der einzige biochemische Prozess, bei dem Lichtenergie, meistens Sonnenenergie, in chemisch gebundene Energie umgewandelt wird. Von ihr hängen auch nahezu alle heterotrophen (nicht zur Photosynthese fähigen) Lebewesen ab, da sie ihr letztlich ihre Nahrung und auch den zur Energiegewinnung durch aerobe Atmung nötigen Sauerstoff verdanken. Aus dem Sauerstoff entsteht außerdem die schützende Ozonschicht. Auch unsere gesamte, auf fossilen und pflanzlichen Rohstoffen basierende, Wirtschaft beruht auf der Photosynthese, die heute genauso wie vor Milliarden Jahren funktioniert. **Wir leben, weil es die Photosynthese der Pflanzen gibt.**

Chemisch wird die Photosynthese dargestellt mit dieser Formel:

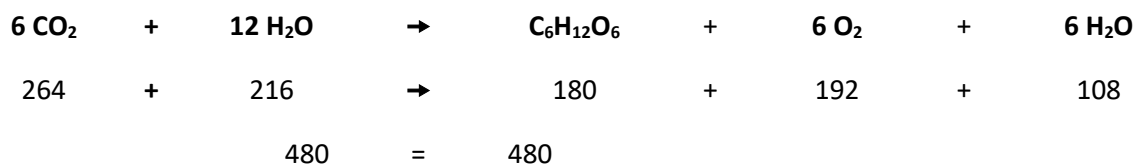


Kohlendioxid + Wasser → Kohlenhydrat (Zucker) + Sauerstoff + Wasser

- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ entspricht der produzierten Biomasse
- O_2 ist der produzierte Sauerstoff
- CO_2 ist das verbrauchte Kohlendioxid

Chemische Elemente haben eine molare Masse¹. Bei einer chemischen Reaktion ist die Masse der Eingangsstoffe gleich der Masse der Ausgangsstoffe (Massenerhaltungsgesetz). Der Treibstoff für die Reaktion ist die Sonnenenergie. Sie steht uns in unerschöpflicher Menge zur Verfügung.

Die Photosynthese dargestellt in der Masse ihrer chemischen Elemente:



Verbrauch von Kohlendioxid und Bildung von Sauerstoff nach der chemischen Mengenformel:

Pro Tonne Biomasse daher $264/180 = 1,5$ -mal mehr CO_2 -Verbrauch (Bindung).

Pro Tonne Biomasse daher $192/180 = 1,1$ -mal mehr Sauerstoffbildung.

Bedingt durch Differenzierungen im Wachstum der Pflanzen (Bildung von verschiedenen Inhaltsstoffen) entspricht pflanzliche Biomasse jedoch nicht genau dieser Mengenformel. Sie enthält

¹ Die „molare Masse“ (M) ist die Masse pro Stoffmenge, angegeben in g/mol. Sie kann aus Tabellen entnommen werden. Die molare Masse einer Verbindung (z.B. CO_2) ist gleich der Summe aus den molaren Massen der Elemente multipliziert mit ihren Indexzahlen. Indexzahl steht hinter dem Element, bei O_2 ist 2 die Indexzahl. Sauerstoff: 15,9994 g/mol; Kohlenstoff: 12,0107 g/mol; Wasserstoff: 1,00794 g/mol. Beispiel: $6 \text{ CO}_2 = 6 \text{ mal } (12,0107 + 15,9994 \text{ mal } 2) = 264$. Das heißt: $M_{\text{CO}_2} = 264 \text{ g/mol}$.

in der Regel deutlich mehr als 40 Gewichts-% Kohlenstoff; die CO₂ - Aufnahme und O₂- Freisetzung liegt somit höher als es aus der Grundformel zu berechnen wäre. Im Mittel kann man für die Bildung von 1 kg pflanzlicher Biomasse eine **Aufnahme von 2,0 kg CO₂** und die **Abgabe von 1,5 kg O₂** annehmen (Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim (2004)).

In weiterer Folge rechnen wir daher mit:

Je Tonne Biomasse werden 2 t CO₂ gebunden und 1,5 t Sauerstoff neu gebildet.

Und zwar von jeder Pflanze: in der freien Natur ohne Einfluss des Menschen (Regenwald), ebenso in der Landwirtschaft auf dem Acker und auf dem Grünland, in der Waldwirtschaft von den Bäumen.

Auch wenn das Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses keine lineare Steigerung der Biomassebildung auf einer bestimmten Fläche zulässt, so gibt es doch die zwingende Logik: **Je höher die von den Pflanzen gebildete Biomasse (Bruttoertrag) ist, desto mehr CO₂ wird der Atmosphäre entzogen und desto mehr Sauerstoff haben wir zum Leben.**



2 Biomasseproduktion des oberösterreichischen Grünlandes

In Oberösterreich werden rund 206.000 ha Grünland bewirtschaftet, die Almflächen nicht mitgerechnet. Unser Grünland wird vor allem dreimal und öfters gemäht (82%). Aber auch die extensiveren Bewirtschaftungen wie 2 Nutzungen (22.000 ha bzw. 11%) und die Dauerweiden (11.000 ha bzw. 5%) haben eine Bedeutung.

Die grünlandstärksten Bezirke sind: Rohrbach, Vöcklabruck, Freistadt und Braunau (in dieser Reihenfolge).

Bezirk	Dauerweide	Hutweide	Streuweide	Einmähdige Wiese	Mähweide/weide 2 Nutzungen	Mähweide/weide 3 und mehr Nutzungen	Gesamt Bezirk	Prozent Bezirk
Braunau am Inn	454,1	19,2	130,5	177,3	617,5	20.677,2	22.075,8	10,7
Eferding	223,4	3,4	0,0	92,3	768,3	2.088,9	3.176,3	1,5
Freistadt	1.121,2	45,0	--- ****	409,2	3.359,7	19.887,6	24.822,9	12,0
Gmunden	738,6	97,8	14,6	317,1	2.169,2	5.278,5	8.615,9	4,2
Grieskirchen	286,1	2,1	---	105,1	1.233,8	9.074,8	10.702,0	5,2
Kirchdorf	1.792,0	507,0	21,6	408,7	1.473,1	10.272,3	14.474,7	7,0
Linz *	131,5	2,5	0,0	113,6	620,8	471,9	1.340,3	0,7
Perg	347,7	2,3	---	124,8	1.235,1	8.417,0	10.127,0	4,9
Ried im Innkreis	170,8	1,3	---	17,9	324,8	10.360,9	10.875,8	5,3
Rohrbach	550,7	12,9	---	285,0	1.985,9	22.885,1	25.719,6	12,5
Schärding	238,9	4,2	---	76,2	714,2	12.674,6	13.708,1	6,7
Steyr **	3.516,1	233,2	1,5	321,5	2.207,5	9.911,0	16.190,7	7,9
Urfahr-Umgebung	576,2	10,0	---	192,7	2.436,5	14.236,1	17.451,5	8,5
Vöcklabruck	784,9	149,3	88,4	402,1	1.755,2	21.770,2	24.950,0	12,1
Wels ***	186,0	2,0	---	123,5	723,1	739,1	1.773,6	0,9
Gesamt Nutzungsart	11.118,3	1.092,2	256,5	3.166,9	21.624,8	168.745,4	206.004,1	100,0
Prozent Nutzungsart	5,4	0,5	0,1	1,5	10,5	81,9	100,0	

* Linz Stadt und Linz Land

** Steyr Stadt und Steyr Land

*** Wels Stadt und Wels

**** Fläche nicht auswertbar, da weniger als 4 Betriebe.

Die Höhe der Brutto-Erträge, also die Biomasseproduktion, sind natürlich stark von Pflanzenbestand Bodenart, Höhenlage, Exposition und Niederschläge abhängig. Es lassen sich der Nutzungsart aber doch Größenordnungen an Biomassebildung zuordnen.

Biomasseproduktion nach Nutzungsart nach MFA Nutzungsarten in Tonnen TM/ha und Jahr:

Bezirk	Dauerweide ha	Biomasse t/Jahr (7,5 t/ha)	Hutweide ha	Biomasse t/Jahr (3,0 t/ha)	Streuweide ha	Biomasse t/Jahr (3,5 t/ha)	Einmähdige Wiese ha	Biomasse t/Jahr (3,5 t/ha)	Mähweide/weide 2 Nutzungen ha	Biomasse t/Jahr (5,4 t/ha)	Mähweide/weide 3 und mehr Nutzungen ha	Biomasse t/Jahr (9 t/ha)	Gesamt Bezirk ha	Biomasse t/Jahr gesamt Bezirk und Oberösterreich
Braunau am Inn	454,1	3.405,8	19,2	57,6	130,5	456,7	177,3	620,6	617,5	3.334,5	20.677,2	186.094,7	22.075,8	193.969,9
Eferding	223,4	1.675,4	3,4	10,2	0,0	0,0	92,3	323,0	768,3	4.148,9	2.088,9	18.800,4	3.176,3	24.957,8
Freistadt	1.121,2	8.409,3	45,0	135,1	---	****	409,2	1.432,1	3.359,7	18.142,6	19.887,6	178.988,7	24.822,9	207.108,0
Gmunden	738,6	5.539,6	97,8	293,5	14,6	51,0	317,1	1.110,0	2.169,2	11.713,8	5.278,5	47.506,8	8.615,9	66.214,6
Grieskirchen	286,1	2.145,8	2,1	6,4	---	---	105,1	368,0	1.233,8	6.662,5	9.074,8	81.673,3	10.702,0	90.855,9
Kirchdorf	1.792,0	13.439,9	507,0	1.521,1	21,6	75,6	408,7	1.430,3	1.473,1	7.954,9	10.272,3	92.450,6	14.474,7	116.872,4
Linz *	131,5	986,3	2,5	7,5	0,0	0,0	113,6	397,5	620,8	3.352,1	471,9	4.247,4	1.340,3	8.990,7
Perg	347,7	2.608,1	2,3	7,0	---	---	124,8	436,8	1.235,1	6.669,5	8.417,0	75.753,0	10.127,0	85.474,4
Ried im Innkreis	170,8	1.281,0	1,3	3,9	---	---	17,9	62,8	324,8	1.754,1	10.360,9	93.248,5	10.875,8	96.350,3
Rohrbach	550,7	4.130,3	12,9	38,6	---	---	285,0	997,7	1.985,9	10.723,6	22.885,1	205.966,1	25.719,6	221.856,3
Schärding	238,9	1.791,5	4,2	12,5	---	---	76,2	266,6	714,2	3.856,9	12.674,6	114.071,4	13.708,1	119.999,0
Steyr **	3.516,1	26.370,7	233,2	699,5	1,5	5,1	321,5	1.125,1	2.207,5	11.920,6	9.911,0	89.199,3	16.190,7	129.320,3
Urfahr-Umgebung	576,2	4.321,7	10,0	30,1	---	---	192,7	674,4	2.436,5	13.157,0	14.236,1	128.124,7	17.451,5	146.307,9
Vöcklabruck	784,9	5.887,1	149,3	447,8	88,4	309,3	402,1	1.407,2	1.755,2	9.478,0	21.770,2	195.931,9	24.950,0	213.461,2
Wels ***	186,0	1.394,8	2,0	5,9	---	---	123,5	432,2	723,1	3.904,8	739,1	6.651,6	1.773,6	12.389,3
Gesamt Nutzungsart	11.118,3	83.387,3	1.092,2	3.276,7	256,5	897,7	3.166,9	11.084,2	21.624,8	116.773,8	168.745,4	1.518.708,3	206.004,1	1.734.128,0

Quelle: Flächen nach AMA, MFA-Nutzungsarten
Quelle Ertragsdaten: teilweise aus Resch, R., 2019

* Linz Stadt und Linz Land

** Steyr Stadt und Steyr Land

*** Wels Stadt und Wels

**** Fläche nicht auswertbar, da weniger als 4 Betriebe.

Mit der offiziellen Nutzungsart „Mähwiese/weide 3 und mehr Nutzungen“, wie sie im Mehrfachantrag im Flächenbogen erfasst wird, wird die tatsächliche Nutzungshäufigkeit nur unzureichend abgebildet. Nach Schätzung des Autors kann davon ausgegangen werden, dass in Oberösterreich rund 80% der Fläche dieser Kategorie 4mal und öfters genutzt wird. Diese 80% können als „ertragsbetontes Grünland“ eingestuft werden.

Differenzierung Biomasseproduktion nach MFA-Nutzungsart:

Nutzungsart	t TM/ha/Jahr
Dauerweide	7,5
Hutweide	3
Streuwiese	3,5
Einmähdige Wiese	3,5
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	5,4
Mähwiese/weide 3 und mehr Nutzungen	9

Differenzierung der Biomasseproduktion von „Mähwiese/weide 3 und mehr Nutzungen“ nach Nutzungshäufigkeit:

Differenzierung der Biomasseproduktion nach Nutzungshäufigkeit	t TM/ha/Jahr
Wiese 3 Schnitte	7,5
Wiese 4 Schnitte	9
Wiese 5 Schnitte	10,5
Wiese 4- und mehr Schnitte (ertragsbetontes Grünland)	9,5

Das 4- und mehrschnittige Grünland beträgt rund 135.000 ha mit durchschnittlich mindestens **9,5 t TM/ha und Jahr**. Dieser Durchschnitt von 9,5 t TM/ha berücksichtigt auch die Biomassebildung von 5- und 6-schnittigem Grünland. Fünf Schnittflächen sind im Zunehmen begriffen, weil die Vegetationsperiode nachweislich länger wird. Begrenzende Faktoren sind abnehmende Niederschläge und steigende Temperaturen während der Vegetationszeit.

Biomassebildung durch das Grünland in Oberösterreich:

Grünlandnutzung	ha	Prozent der Gesamtgrünlandfläche	Biomasse TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Prozent Biomasse in t/Jahr je Nutzungsart
Dauerweide	11.118,3	5,4	7,5	83.387,3	4,8
Hutweide	1.092,2	0,5	3,0	3.276,7	0,2
Streuwiese	256,5	0,1	3,5	897,7	0,1
Einmähdige Wiese	3.166,9	1,5	3,5	11.084,2	0,6
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	10,5	5,4	116.773,8	6,7
3 mähdige Wiese	33.749,1	16,4	7,5	253.118,0	14,5
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	65,5	9,5	1.282.464,8	73,2
Gesamt	206.004,1	100,0		1.751.002,5	100,0

Das Grünland in Oberösterreich produziert somit 1,8 Millionen Tonnen Biomasse pro Jahr. Davon entfallen 73 Prozent auf das ertragsbetonte Grünland, bzw. rund 1,3 Millionen Tonnen.

3 Sauerstoff zum Leben

Wir Menschen leben von den Pflanzen. Sei es nun als Nahrung direkt von Pflanzen, oder indirekt über Fleisch und Fisch, bis hin zur Kleidung aus Pflanzenfasern oder Kunstfasern, die letztlich auch wieder aus Pflanzen gewonnen bzw. entstanden sind. Von unserer derzeitigen Mobilität ganz zu schweigen.

Vor allem aber brauchen wir den Sauerstoff in der Luft zum Leben. Unsere Atemluft enthält 21% Sauerstoff und 78% Stickstoff. Diese 21% Sauerstoff werden durch die Photosynthese der Pflanzen gebildet. Immer und immer wieder neu.

➔ Photosynthese = Sauerstoff = Leben in fast all seinen Formen

Landwirtschaft ist nichts anderes als Leben mit und von Pflanzen. Landwirtschaft ist damit weit mehr als die Produktion von Lebensmitteln. Landwirtschaft ist ursächlich vor allem auch die Produktion von Sauerstoff zum Leben.

In Oberösterreich produziert allein das Grünland pro Jahr 2,6 Millionen Tonnen Sauerstoff mit seinen 1,8 Millionen Tonnen Biomasse. Der Mensch verbraucht rund 300 kg Sauerstoff pro Jahr beim Atmen.

Das oberösterreichische Grünland liefert für 100% der Österreicher Luft zum Leben. Das heißt, für 8,8 Millionen Menschen. Oder das 5,9-fache dessen, was die Oberösterreicher selbst zum Atmen brauchen.

Bevölkerung 2018:

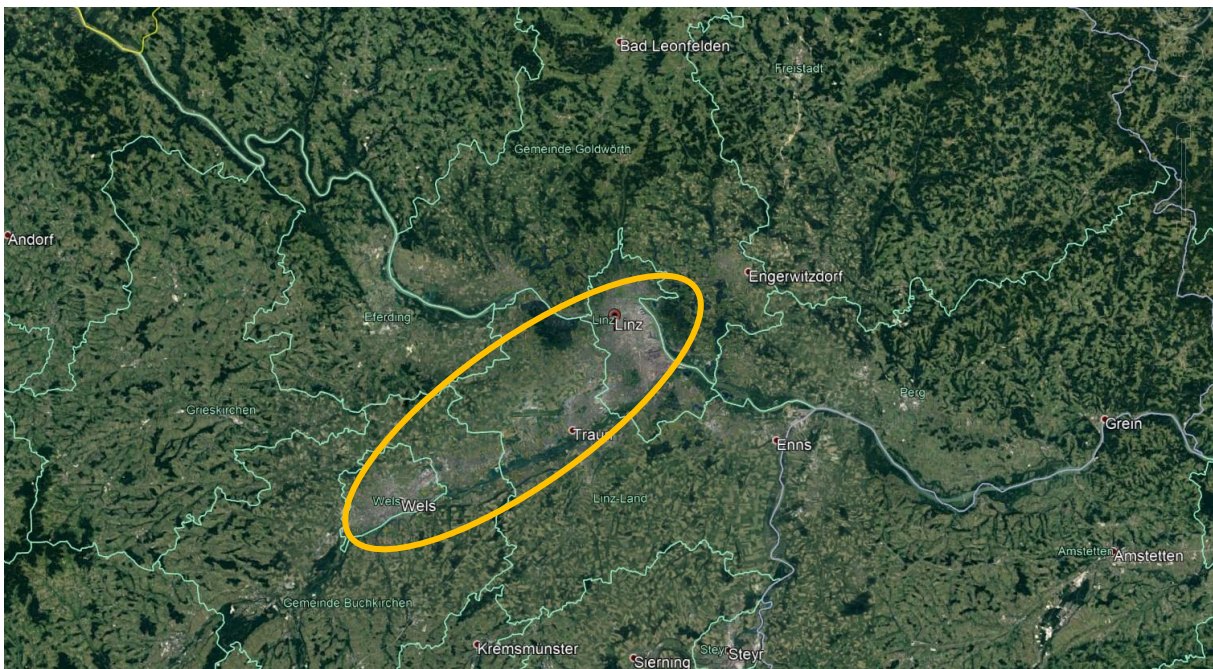
Jahr	Österreich	Burgenland	Kärnten	Nieder- österreich	Ober- österreich	Salzburg	Steiermark	Tirol	Vorarlberg	Wien
2018	8.837.707	292.266	560.787	1.673.607	1.477.452	553.930	1.241.228	752.262	393.025	1.892.150

Sauerstoffversorgung der Bevölkerung durch das oberösterreichische Grünland:

Grünlandnutzung	ha	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Sauerstoff Produktion t/ha und Jahr	Prozent Sauerstoff Produktion
Dauerweide	11.118,3	83.387,3	125.080,9	4,8
Hutweide	1.092,2	3.276,7	4.915,0	0,2
Streuwiese	256,5	897,7	1.346,5	0,1
Einmähdige Wiese	3.166,9	11.084,2	16.626,4	0,6
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	116.773,8	175.160,8	6,7
3 mähdige Wiese	33.749,1	253.118,0	379.677,1	14,5
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	1.282.464,8	1.923.697,2	73,2
Gesamt	206.004,1	1.751.002,5	2.626.503,8	100,0

Das ertragsbetonte Grünland hat mit 1,3 Millionen Tonnen Biomasse einen Anteil von 73% an der gesamten in Oberösterreich auf dem Grünland produzierten Biomasse. **Das ertragsbetonte 4- und mehrmähdige Grünland produziert mit seinen 66% Flächenanteil 73% des Grünland-Sauerstoffes.**

Die Intensität der Produktion, also die Menge an gebildeter Biomasse je Flächeneinheit, bestimmt die Menge des neugebildeten Sauerstoffs. Eine Logik, die für jeden gebildeten Menschen einleuchtend ist. Sie wird jedoch in der aktuellen Diskussion um die ertragsbetonte Grünlandwirtschaft völlig außer Acht gelassen. Vielleicht auch, weil man den Sauerstoff nicht sehen kann und er einfach da ist. Mit Sicherheit jedoch, weil Sauerstoff keine klimaschädliche Relevanz hat und keinen Stoff für angstmachende Schlagzeilen liefert.



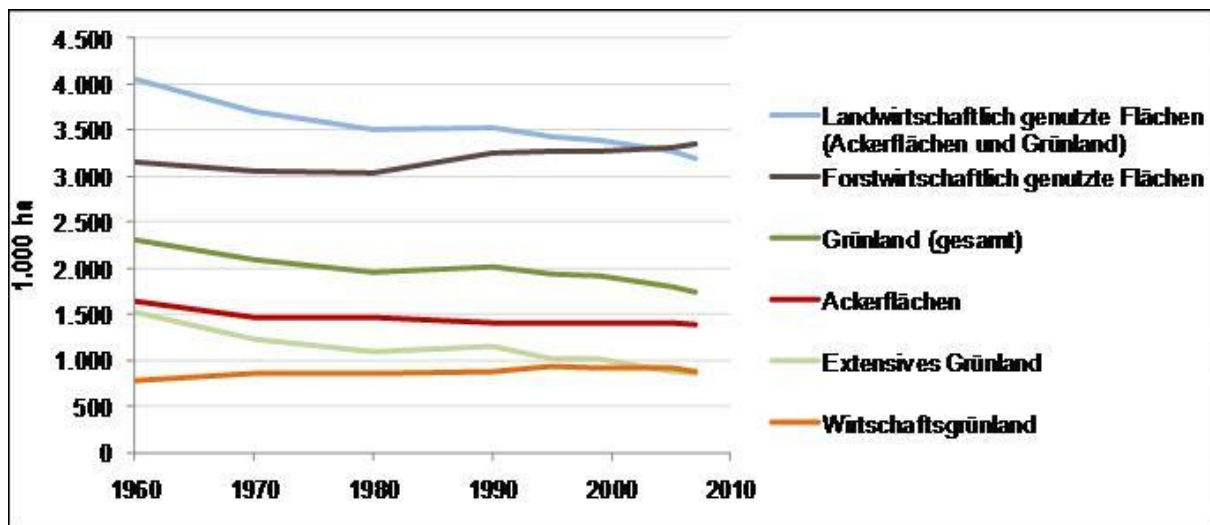
Der urbane Großraum Linz-Traun-Wels wird von Grünland und Wäldern nördlich der Donau, sowie Ackerkulturen südlich der Donau umgeben. Die Landwirtschaft ist eine bedeutende Sauerstoffquelle für diesen Großraum. Quelle: Google Earth

Für Städte und urbane Großregionen, die selbst kaum über nennenswerte leistungsfähige sauerstoffproduzierende Pflanzenbestände verfügen, ist das Grünland die Grundlage zum Leben. Berücksichtigt man zusätzlich die auf dem Acker und im Wald produzierte Biomasse, dann erhält die Landwirtschaft in ihrer heutigen Form eine überragende Bedeutung für die Versorgung der Menschen mit Sauerstoff.

Zwar werden Parks und Grünflächen gerne als grüne Lungen der Städte bezeichnet, in Wahrheit ist es jedoch die sie umgebende Land- und Forstwirtschaft, die die Menschen in den Städten mit Luft zum Atmen versorgt.

Der Flächenverbrauch für Gewerbe, Industrie, Wohnbau und Infrastruktur geht fast ausschließlich auf Kosten der Acker- und Grünlandfläche. Die Leistungssteigerung in der Landwirtschaft hat wesentlich dazu beigetragen, diesen Flächenverbrauch für die Lebensmittelproduktion mehr als auszugleichen und damit auch die Sauerstoffproduktion sicherzustellen. Ein wichtiger Aspekt, der in der heutigen Diskussion um die Intensität in der Landwirtschaft unbeachtet bleibt.

Flächennutzung Österreich 1960-2010 (aus: BOKU; OPAL; 2010):



4 Humusbildung im Grünland bindet Kohlendioxid

Der Vorgang der Bindung von CO₂ durch die Photosynthese der oberirdischen Pflanzenwelt und der Meeresalgen hat aus erdgeschichtlicher Sicht unser heutiges Leben und Wirtschaften erst ermöglicht.

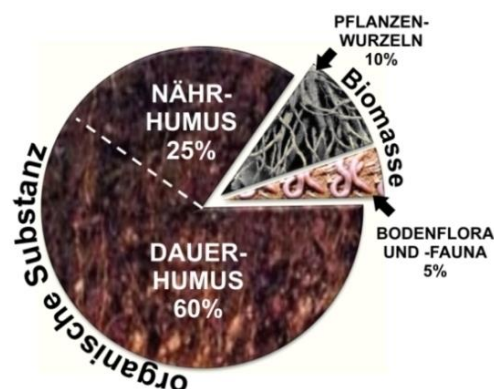
Im Erdzeitalter des Karbons (vor 358,9 bis 298,9 Millionen Jahren) erreichte die Ausdehnung der Pflanzenwelt von Wald- und Sumpflandschaften ihr Maximum. Durch die Kombination von verstärkter Bodenerosion mit umfangreichen Inkohlungsprozessen durch Überlagerung der Pflanzenmasse wurden der Atmosphäre große Mengen an Kohlenstoff entzogen. Gleichzeitig stieg der Sauerstoffgehalt auf einen Rekordwert von 33 bis 35 Prozent. Das Karbon wird daher auch als Steinkohlezeit bezeichnet.

Erdöl und Erdgas sind durch marine Algenablagerungen vor 400 bis 100 Millionen Jahren entstanden, die nach Absenkung durch hohen Druck und hohe Temperaturen zu den heutigen Lagerstätten umgewandelt wurden.

Der Prozess des Entzuges von Kohlendioxid aus der Atmosphäre bzw. der Bindung von Kohlenstoff in Biomasse ist auch heute von großer Bedeutung. Die Algen in den Meeren, die tropischen Regenwälder, die Wälder der gemäßigten Klimazonen und auch die landwirtschaftliche Produktion sind heute die Träger des Entzuges von Kohlendioxid aus der Luft. Heruntergebrochen auf unser Oberösterreich betrachten wir folgend die Leistung des Grünlandes für die Bindung von CO₂ aus der Luft.

Humus ist der unbelebte Teil der gesamten organischen Substanz im Boden. Humus im eigentlichen Sinn ist der zersetzte organische Anteil im Boden. Dieser Humus besteht aus einer Vielzahl komplexer Verbindungen, die sich in ihrer Abbaubarkeit durch Mikroorganismen stark unterscheiden. Leicht abbaubare Verbindung nennt man Nährhumus, schwer abbaubare Verbindungen, die Jahrhunderte und Jahrtausende beständig bleiben, nennt man Dauerhumus. Dauerhumus kann in hohem Maße Wasser und Nährstoffe binden und wieder an die Pflanzen abgeben. Er ist maßgeblich für die Bodenfruchtbarkeit verantwortlich. Wenn wir hier in Folge von Humus sprechen, ist damit der Dauerhumus gemeint.

Organischer Anteil (% Gewicht Trockensubstanz)



Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Humusgehalte des oberösterreichischen Grünlandes; Stand Datengrundlage 3.3.2020 (Quelle: Gaisberger, E.; 2020):

Bezirk	Mittelwert Humusgehalt %	Standardabweichung	Min.	Max.	n
Braunau	6,30	1,85	0,60	13,70	414
Eferding	5,69	1,66	2,46	12,28	193
Freistadt	7,28	2,45	1,75	14,98	2.852
Gmunden	2,99	0,46	2,67	3,32	2
Grieskirchen	6,89	2,33	1,15	14,95	180
Kirchdorf	10,48	2,98	5,50	14,72	21
Linz	5,45	1,49	4,45	7,16	3
Perg	6,58	2,46	1,70	14,34	253
Ried	5,57	1,27	4,00	7,05	5
Rohrbach	6,72	1,82	2,46	14,47	1.072
Schärding	6,94	2,04	4,54	13,88	131
Steyr					0
Urfahr	6,38	1,97	1,14	14,52	1.540
Vöcklabruck					0
Wels	6,47	1,09	5,69	7,24	2
Oberösterreich	6,83	2,24	0,60	14,98	6.668

Wichtiger Hinweis zur Tabelle Humusgehalte:

Diese Tabelle enthält die Humus-Analysewerte der Labore AGES und AGROLab. Die Humus-Untersuchungsergebnisse des Labors CEWE sind hier nicht enthalten, da aufgrund einer vermutlich systematischen Ungenauigkeit wahrscheinlich zu geringe Humuswerte ausgewiesen wurden. Für die rot gedruckten Bezirke liegen daher keine Daten vor, oder die Ergebnisse sind aufgrund der geringen Probenzahl nicht repräsentativ.

Wer sich trotzdem einen Überblick über die Humusgehalte dieser Bezirke verschaffen will, sei auf die Tabelle „Humusgehalte des oberösterreichischen Grünlandes; Stand Datengrundlage 19.12.2019“ auf Seite 46 verwiesen. Die Tabelle auf Seite 46 enthält die Humus-Analysewerte aller drei Labore (AGES, AGROLab und CEWE). Dabei ist jedoch immer zu beachten, dass die dort ausgewiesenen Werte wahrscheinlich etwas zu niedrig sind.

Den weiteren Berechnungen in dieser Arbeit liegt der mittlere Humusgehalt von 6,83% zugrunde (Tabelle oben).

Humus enthält rund 58% Kohlenstoff. Den Humus bezeichnet man heute auch als „Kohlenstoffsene“, weil der in ihm gebundene Kohlenstoff dauerhaft der Atmosphäre entzogen wird.

Das bewirtschaftete Grünland hat im Oberboden einen Humusgehalt von 5 bis 7%. In Feuchtwiesen und in anmoorigen Böden kann der Humusgehalt deutlich über 10% erreichen.



Der Humushorizont ist an seiner dunkleren Färbung zu erkennen (Foto: Thomas Wallner).

Humusgehalte - Kohlenstoffgehalte - CO₂-Äquivalente:

Humusgehalt in %	Humus in t/ha in 0-10 cm Grünlandboden*	Kohlenstoff in t/ha**	CO ₂ -Äquivalent in t/ha***	Humus in t/ha in 0- 20 cm Grünlandboden****	Kohlenstoff in t/ha**	CO ₂ -Äquivalent in t/ha***
1,5	23	13	48	34	20	72
2,0	30	17	64	45	26	97
2,5	38	22	80	56	33	121
3,0	45	26	97	68	39	145
3,5	53	30	113	79	46	169
4,0	60	35	129	90	52	193
4,5	68	39	145	101	59	217
5,0	75	44	161	113	65	241
5,5	83	48	177	124	72	266
6,0	90	52	193	135	78	290
6,5	98	57	209	146	85	314
6,83	102	59	220	154	89	330
7,0	105	61	225	158	91	338
7,5	113	65	241	169	98	362
8,0	120	70	258	180	104	386
8,5	128	74	274	191	111	410
9,0	135	78	290	203	117	435

* Boden: Raumgewicht 1,5 t/m³ (Dichte: 1,5 bei abgesetztem Boden); 0,1 m³ Boden/m²; 1.500 t/ha; 0,2 m³ Boden/m²; 3.000 t/ha;

** 58% Kohlenstoff im Humus

*** Verhältnis C:CO₂ = 12:44 = 1:3,7

**** Annahme: 0-10 cm → Humusgehalt lt. Bodenprobe; 10-20 cm → 50% des Humusgehaltes von 0-10 cm

Berechnung der Humusmenge pro Hektar:

Im Grünland wird die Bodenprobe zur Feststellung der Nährstoffgehalte und des Humusgehaltes bis zu einer Tiefe von 10 cm entnommen. Die Humusgehalte der oberösterreichischen Grünlandbodenproben (Tabelle Seite 17) beziehen sich daher auf einen Bodenhorizont von 0 bis 10 cm. Tatsächlich reicht der Humushorizont (A-Horizont) jedoch tiefer, meist bis ca. 20 cm. Um auch den Humus in dieser Schicht zu erfassen, wurde für die Bodenschicht 10 bis 20 cm hier (Tabelle oben) der Humusgehalt mit 50% der beprobten Schicht (0 bis 10 cm) angenommen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass dies eine reine Annahme ist. Um eine genaue Aussage über den Humusgehalt in Grünlandböden tiefer als 10 cm zu erhalten, wären eigene Untersuchungen notwendig.

Speicherung von Kohlenstoff und CO₂-Äquivalente im oberösterreichischen Grünland:

	ha	t Kohlenstoff 0 bis 10 cm	t CO ₂ 0 bis 10 cm	t Kohlenstoff 0 bis 20 cm	t CO ₂ 0 bis 20 cm
Grünland gesamt	206.004,1	12.240.968,4	45.291.583,2	18.361.452,6	67.937.374,8
Grünland ertragsbetont	134.996,3	8.021.614,7	29.679.974,3	12.032.422,0	44.519.961,4

Die oberösterreichischen Grünlandböden haben einen durchschnittlichen **Humusgehalt von 6,83%** (aus Landesprogramm Gewässerschutz Grünland; Gaisberger, E.; 2020; Probenanzahl: 6.668). Im Durchschnitt sind damit in einer Tiefe von 0 bis 10 cm **59 Tonnen Kohlenstoff pro ha im Humus des oberösterreichischen Grünlandes gespeichert** (bzw. 89 t/ha in einer Tiefe von 0 bis 20 cm). Das entspricht rund 220 Tonnen (bzw. 330 Tonnen) CO₂-Speicherung im Humus pro ha.

Hochgerechnet auf 206.004 ha werden im Grünland rund 12,2 Millionen Tonnen Kohlenstoff bzw. rund 45 Millionen Tonnen CO₂ gespeichert. Betrachtet man den Bodenhorizont von 0 bis 20 cm, sind es 18,4 Millionen Tonnen Kohlenstoff, bzw. 67,9 Millionen Tonnen CO₂.

Das ertragsbetont geführte 4- und mehrmähdige Grünland hat in seinem Humus 8 Millionen Tonnen Kohlenstoff bzw. rund 29,7 Millionen Tonnen CO₂ gebunden. Betrachtet man auch hier den Bodenhorizont von 0 bis 20 cm, sind es rund 12 Millionen Tonnen Kohlenstoff, bzw. 44,5 Millionen Tonnen CO₂.

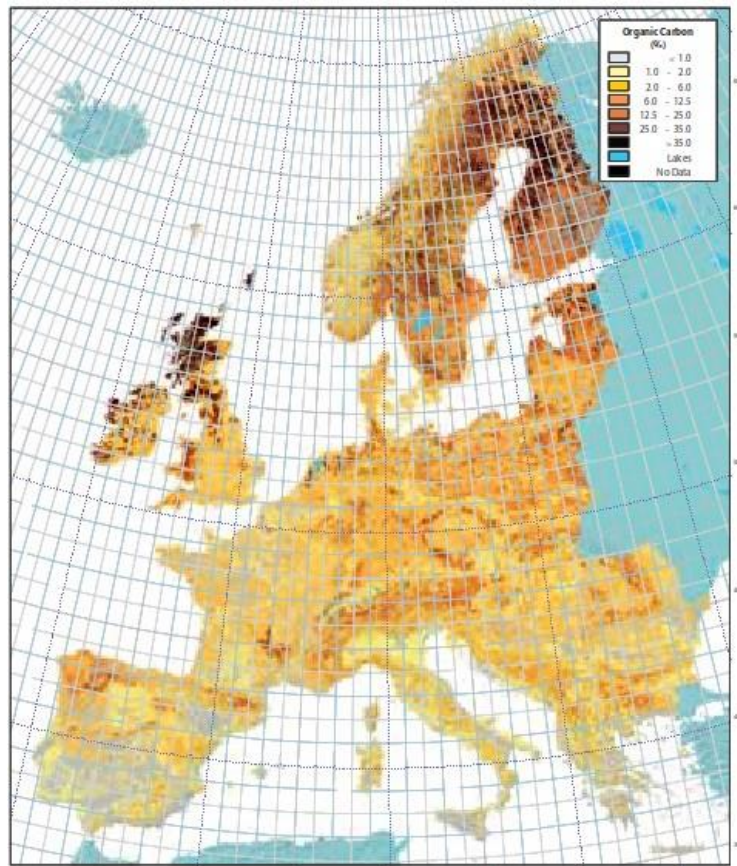
Mit jedem Hektar Grünland, das aus der Bewirtschaftung fällt, verlieren wir eine wertvolle Kohlenstoffschenke.

Grünlandböden weisen üblicherweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen Kohlenstoff-Einträgen und Kohlenstoffausträgen aus. An manchen Standorten ist jedoch ein Anstieg des organisch gebundenen Kohlenstoffs festzustellen. Davon unabhängig dient ein gewisser Anteil der Photosyntheseleistung immer der Humusproduktion (Wiesmeier, M.; 2020).

In Dauergrünlandböden, die 10 Jahre und älter sind, stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Humusaufbau (Einlagerung von Kohlenstoff aus der Photosynthese) und Humusabbau (Mineralisation durch Sauerstoff und Mikroorganismenaktivität „Bodenleben“) ein. Unter kühlen und feuchten klimatischen Bedingungen kann der Humusaufbau überwiegen. Das Potential für den Humusaufbau ist unter anderem auch abhängig von der Bodenart und ist noch oben hin begrenzt.

Im Allgemeinen haben die Böden in Nord-Europa einen größeren Anteil an organischer Substanz (Humus) als südeuropäische Böden. In Südeuropa sind Böden mit sehr geringen Anteilen organischer Substanz sehr verbreitet. Bedingt vor allem durch die geringeren Niederschläge, die höheren Temperaturen und die Ackernutzung.

Organische Kohlenstoffgehalte
europäischer Böden.
Aus: Boden – der verborgene Teil des
Klimazyklus; Europ. Union; 2011.



Mit der Klimaerwärmung in den gemäßigten Regionen der Erde wird es auch hier schwieriger, dieses Gleichgewicht zu erhalten. Für Oberösterreich ist nachgewiesen, dass in der Vegetationsperiode die Temperaturen in den letzten 30 Jahren konstant angestiegen sind und die Niederschläge in den letzten 18 Jahren abgenommen haben (Frühwirth, P.; 2019). Der Temperaturanstieg im Boden erhöht die biologische Aktivität und verstärkt die Mineralisierung organischer Substanz und damit den Kohlenstoffverlust.

Die Europäische Union informiert in ihrer Publikation „Boden – der verborgene Teil des Klimazyklus“, dass Grünflächenproduktivität, Artenmanagement und Beweidungsintensität angemessene Strategien zur Maximierung des im Grünlandboden gespeicherten Kohlenstoffes sind.

In der oberösterreichischen Grünlandwirtschaft gibt es erste Bemühungen, die Pflanzenbestände an eine bessere Trockentoleranz anzupassen. Nichtsdestotrotz ist dort, wo ein Umbruch möglich ist, ein stärkerer Druck auf die Grünlandflächen zu erwarten, da mit Ackerkulturen wesentlich einfacher und rascher auf die Änderung der klimatischen Produktionsfaktoren reagiert werden kann.

Verantwortungsbewusste Bewirtschaftung des Grünlandes mit hoher Produktivität und die Wertschätzung der darauf produzierten hochwertigen Lebensmittel (Milch, Milchprodukte und Fleisch) sind ein wichtiger Beitrag zu Minimierung der CO₂-Verluste in die Atmosphäre.

Gesellschaft und Politik haben allen Anlass dazu, **die Attraktivität der Grünlandwirtschaft besonders zu fördern, um das Grünland als hoch klimawirksame Kohlenstoffsенke zu erhalten** und, wenn möglich, sogar auszuweiten (siehe dazu auch Punkt 5).

Keine Alternative ist hingegen die manchmal ins Treffen geführte Umwandlung von Grünland in Wald als Maßnahme zur Eingrenzung des Klimawandels. Zumindest in der gemäßigten Klimazone der nördlichen Hemisphäre mit ihrer hohen Grünlandproduktivität. Die Europäische Union schreibt 2011: „Die Umwandlung von Ackerland in Wald oder Grünflächen kann große Mengen Kohlenstoff im Boden binden. Da **Grünflächen Kohlenstoff effizienter im Boden speichern als Wälder, führt die Aufforstung von Grünflächen in der Regel zu einem Verlust an Kohlenstoff**, obwohl dies langfristig durch die Akkumulation von pflanzlicher Biomasse ausgeglichen wird.“ Die pflanzliche Biomasse der Wälder (Holz) kommt nach längeren Zeiträumen wieder in den CO₂-Kreislauf der Atmosphäre, sofern sie diesem nicht komplett entzogen wird (z.B. Bauholz).

Grünland beinhaltet die vergleichsweise größte Menge an organischer Substanz.

Beispiele für Humusformen sowie Gehalte und Mengen an organischer Substanz in Böden des gemäßigt humiden Klimabereiches (Quelle: Schröder, D.; 1983):

Vegetation bzw. Nutzung	Humus-Form	Gehalt an org. Substanz im Oberboden %	Menge an org. Substanz bis 1 m Tiefe dt/ha
Laubwald	Moder	4	2.000
Nadelwald	Rohhumus	6	2.400
Grünland	Mull	7	3.500
Acker	Mull	2*	1.600

* nach einer Erhebung 2008-2011 (18.561 Proben) haben die Ackerböden Oberösterreichs einen Humusgehalt von Ø3,48%

CO₂-Aufnahme durch Grünland in Oberösterreich:

Mit der Bewirtschaftung des Dauergrünlandes wachsen jährlich große Mengen an Biomasse heran, die immer wieder geerntet und an die Wiederkäuer, vor allem Milchkühe, verfüttert werden. Gräser, Klee und Kräuter nehmen für ihr Wachstum entsprechende Mengen an CO₂ auf.

CO₂-Aufnahme nach Nutzungsart durch das Grünland in Oberösterreich, (Quelle Ertragsdaten: teilweise aus Resch, R., 2019):

Grünlandnutzungsart	ha	Prozent der Gesamt-grünlandfläche	Biomasse TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Aufnahme von CO ₂ in t (2 kg CO ₂ /t TM Biomasse)	Prozentanteil der Nutzungsart an der gesamten CO ₂ -Aufnahme	CO ₂ -Aufnahme in t/ha nach Nutzungsart
Dauerweide	11.118,3	5,4	7,5	83.387,3	166.774,6	4,8	15,0
Hutweide	1.092,2	0,5	3,0	3.276,7	6.553,3	0,2	6,0
Streuwiese	256,5	0,1	3,5	897,7	1.795,3	0,1	7,0
Einmähdige Wiese	3.166,9	1,5	3,5	11.084,2	22.168,5	0,6	7,0
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	10,5	5,4	116.773,8	233.547,7	6,7	10,8
3 mähdige Wiese	33.749,1	16,4	7,5	253.118,0	506.236,1	14,5	15,0
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	65,5	9,5	1.282.464,8	2.564.929,5	73,2	19,0
Gesamt	206.004,1	100,0		1.751.002,5	3.502.005,0	100,0	17,0

Das Grünland in Oberösterreich nimmt jährlich ca. 3,5 Millionen Tonnen CO₂ aus der Luft auf.

Vom Grünland werden in Oberösterreich pro Jahr im Durchschnitt 17 Tonnen CO₂ pro Hektar von den Pflanzen durch die Photosynthese aufgenommen. Auf den unterschiedlichen Grünlandnutzungsarten ist das CO₂-Sequestrierungspotential unterschiedlich hoch, abhängig vom Potential der Biomassebildung.

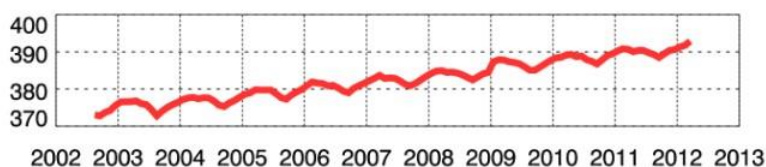
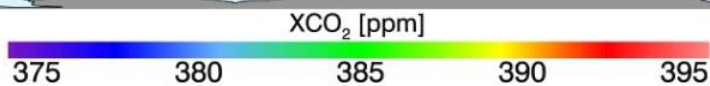
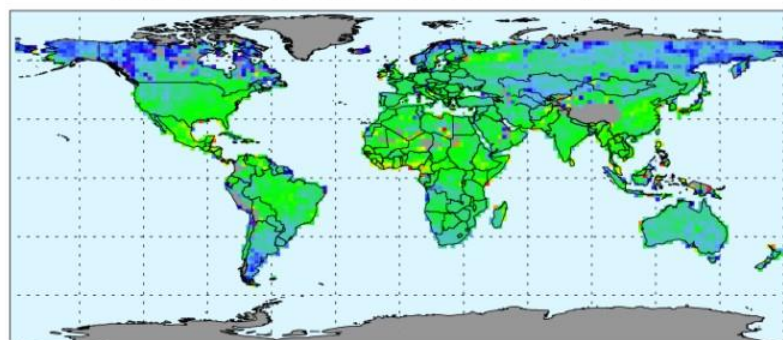
Das 4- und mehrmähdige Grünland nimmt über die Photosynthese jährlich 2,6 Millionen Tonnen CO₂ auf. Das sind 73% der CO₂-Aufnahme des gesamten oberösterreichischen Grünlandes. Die ertragsbetonte Grünlandbewirtschaftung für die Produktion von Milch deckt somit nahezu $\frac{3}{4}$ der CO₂- Aufnahme ab.

Die CO₂-Aufnahme durch die wachsende Vegetation ist auch global messbar. Während der Vegetationszeit in der nördlichen Hemisphäre wird soviel CO₂ aufgenommen, dass der CO₂-Gehalt der Atmosphäre sinkt. Das gilt begrenzt auch für die südliche Hemisphäre. In der Saison ohne Vegetation steigt der CO₂-Gehalt an. Die Erde atmet. Allerdings steigt der CO₂-Gehalt durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern trotzdem um jährlich mehr als 2 ppm.

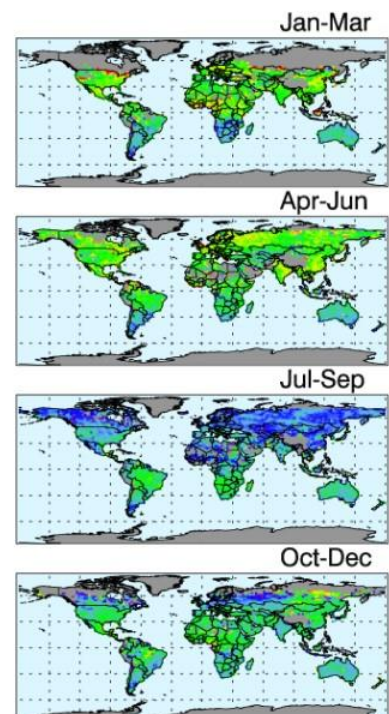
GHG-CCI

2002-2012

Carbon Dioxide SCIAMACHY/BESD



CRDP#1 MB/2013/07/18 grid: 2x2



Bewertung der CO₂-Speicherung durch das oberösterreichische Grünland:

Im CO₂-Emissionshandel wird CO₂ mit € 24,65/t gehandelt (Zertifikatspreis Kurstermin 23.1.2020; European Emission Allowancespreis).

Wert der im Humus (0 bis 10 cm Tiefe) gespeicherten CO₂ Äquivalente: rund 5.400 Euro/ha.

Wert der im Humus (0 bis 20 cm Tiefe) gespeicherten CO₂ Äquivalente: rund 8.000 Euro/ha.

	CO ₂ Äquivalente t/ha*	Wert CO ₂ - Zertifikate in €/ha	Gesamtwert CO ₂ - Zertifikate Grünland OÖ. in €
CO₂-Speicherung im Humus 0 bis 10 cm (6,83% mittlerer Humusgehalt lt. Bodenproben)	220	5.423,0	1.117.160.125,3
CO₂-Speicherung im Humus 0 bis 20 cm (0 bis 10 cm: 6,83%; 10 bis 20 cm: 50% des Humus von 0 bis 10 cm)	330	8.134,5	1.675.740.187,9

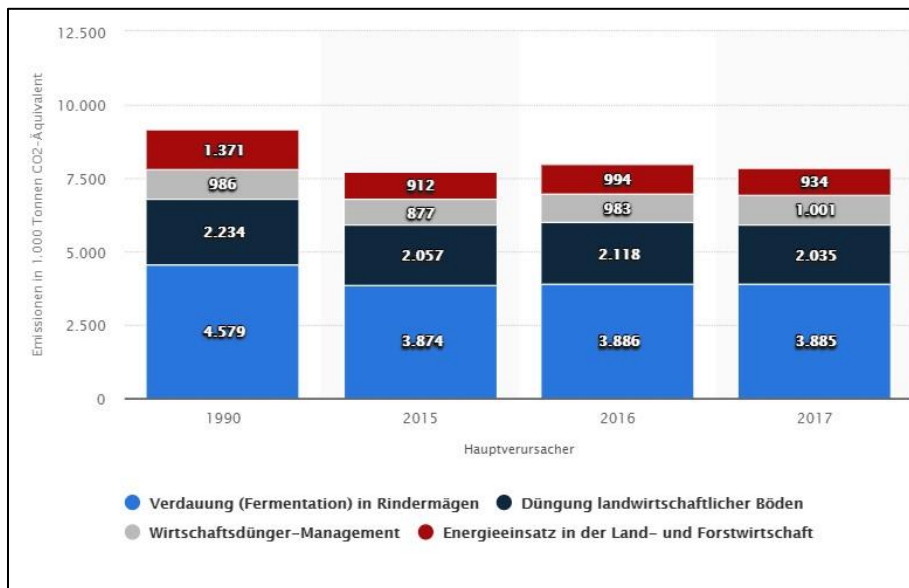
* siehe Tabelle Seite 19

Für 206.004 ha Grünland mit einem mittleren Humusgehalt von 6,83% lässt sich festhalten:

Das oberösterreichische Grünland hat als Kohlenstoffsенke einen in CO₂- Zertifikaten ausgedrückten Wert von 1,1 Milliarden Euro.

Treibhausgase Landwirtschaft Österreich:

Treibhausgase aus der Landwirtschaft in Österreich (Quelle: Statista 2020):



Treibhausgase Landwirtschaft Oberösterreich:

Im Jahr 2017 betrug die Treibhausgas (THG) Emission in Oberösterreich 10,7 Millionen Tonnen (außerhalb des Emissionshandels). Davon stammen 9,4% aus der Landwirtschaft, also rund 1 Million Tonnen THG (Umweltbundesamt; Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2017, Seite 74ff).

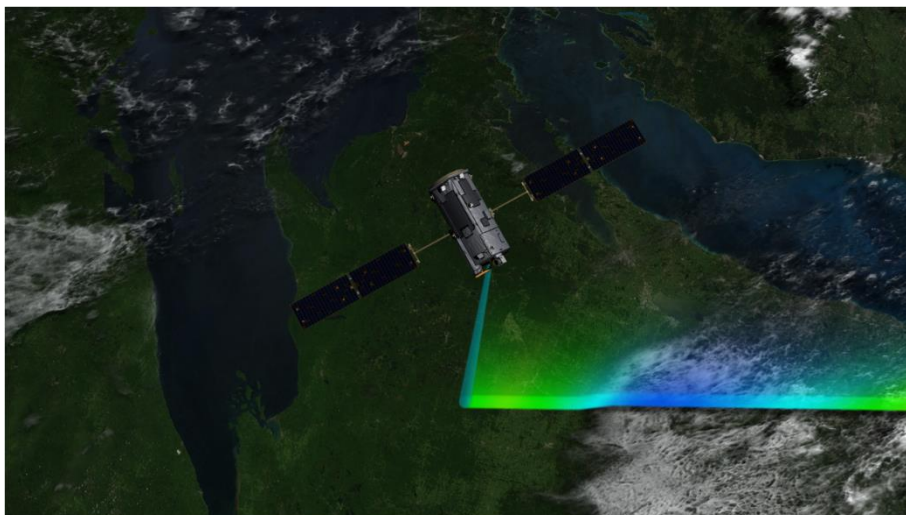
Der CO₂-Anteil an den landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen Oberösterreichs betrug im Jahr 2017 88 %. Methan trug im selben Jahr 7,1 % bei, Lachgas 3,6 % und die F-Gase verursachten insgesamt 1,4 %. In der CO₂-Bilanz der Bundesländer Luftschadstoff-Inventur werden von der Landwirtschaft in Oberösterreich rund 880.000 Tonnen CO₂ abgegeben.

Allein das Grünland nimmt in Oberösterreich jährlich durch seine Biomasseproduktion 3,5 Millionen CO₂ auf. Da sich auf dem Grünland der Humusaufbau und der Humusabbau in etwa im Gleichgewicht befindet, ist nicht von einer echten dauerhaften CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre auszugehen. Aber gemeinsam mit der gesamten anderen Vegetation leistet das Grünland einen enormen Beitrag, den CO₂-Gehalt der Atmosphäre während der Vegetationszeit wieder zu reduzieren, wie auf den Satellitenbildern (Seite 22) gut zu erkennen ist.

Der Beitrag der gesamten Landwirtschaft, also die Biomasseproduktion von Acker und Grünland, zur Aufnahme von CO₂ ist noch weitaus beeindruckender. Allein in Oberösterreich werden rund 12,2 Millionen Tonnen CO₂ aufgenommen und temporär der Atmosphäre entzogen (Tabelle Seite 25).

Ohne erfolgreiche Landwirtschaft und natürlich auch ohne Waldwirtschaft würde der CO₂-Anstieg in der Atmosphäre wesentlich rascher erfolgen.

Auch die Wissenschaftler der NASA stellen global die positive Auswirkung der landwirtschaftlichen Produktion auf den CO₂-Gehalt der Atmosphäre fest: „Auch die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Tätigkeiten scheinen sich zu ändern, sagt er. Während des Sommers im oberen Mittleren Westen der USA beobachten Wissenschaftler eine intensive Absorption von Kohlendioxid im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Aktivitäten. Das gleiche wird in Ost- und Südasiens beobachtet“ (Buis, A.; 2019).



Der NASA-Satellit „Orbiting Carbon Observatory (OCO)-2 misst die CO₂-Konzentration. Quelle: NASA-JPL/Caltech

Biomasseproduktion und CO₂-Aufnahme durch die Landwirtschaft in Oberösterreich:

	Fläche ha	Biomasse t TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Aufnahme von CO ₂ in t (2 kg CO ₂ /t TM Biomasse)	Anteil Acker bzw. Grünland in Prozent
Acker	289.266	15,0	4.338.990	8.677.980	71,2
Grünland	206.004	8,5	1.751.003	3.502.005	28,8
LN gesamt	495.270		6.089.993	12.179.985	100,0

Auf Ackerflächen wird in engen Grenzen eine gewisse dauerhafte CO₂-Abscheidung durch die Erhöhung des Humusgehaltes möglich sein. Das Potential dafür wird maßgeblich bestimmt durch die Bodenart, die Tiefgründigkeit, die Feuchtigkeitsverhältnisse, die Höhenlage und anderen natürlich vorgegebenen Faktoren. Auch die von der Produktionsausrichtung des Betriebes abhängige Kulturartenverteilung spielt eine Rolle (Dersch, G. et al; 2013).

Auf Grünlandflächen ist es nicht das Ziel, die vorhandenen Humusgehalte und damit die anrechenbare dauerhafte CO₂-Festlegung zu erhöhen. Das wird, bedingt durch die Produktionssysteme (Art des Wirtschaftsdüngers, Nutzungshäufigkeit etc.), kaum möglich sein.

Vielmehr geht es heute darum, den vorhandenen CO₂-Speicher in den landwirtschaftlichen Flächen zu erhalten. **Aufgrund seiner Bedeutung als sicherer und hochwertiger CO₂-Speicher ist vor allem das Grünland in seiner Bewirtschaftung und seiner Produktivität abzusichern.**

5 CO₂-Sicherungsbeitrag

Durch den Klimawandel steigt der Druck auf das Grünland in Richtung Umwandlung zu Acker, weil mit Ackerfrüchten leichter auf die sinkenden Niederschläge und die steigenden Temperaturen reagiert werden kann. Durch den Umbruch kommt es zur Freisetzung von CO₂ durch mikrobiellen Abbau des Humus.

Die Sicherstellung der Erhaltung des Grünlandes muss ein gesellschaftliches Anliegen sein. Nach Meinung des Autors wäre eine Art von **CO₂-Sicherungsbeitrag für bewirtschaftetes Grünland** zum Erhalt des Grünlandes als Kohlenstoffsенке in Anbetracht der CO₂-Entwicklung der Atmosphäre dringend notwendig.

Nur mit einer attraktiven Grünlandwirtschaft kann die gewaltige Kohlenstoffsенке Grünland künftig abgesichert werden. Dies muss von der Gesellschaft in ihrem ureigensten Interesse honoriert werden. Mit den nachweislich auch in den oberösterreichischen Grünlandregionen teils stark zunehmenden Temperaturen wird die Bewirtschaftung aufwändiger. Ein CO₂-Sicherungsbeitrag hat auch einen psychologischen Effekt. Er vermittelt Wertschätzung.

Ein einfaches Verbot von Grünlandumbruch ist zugegebenermaßen billiger, bindet jedoch bei Fortschreiten der bisher nachweisbaren Entwicklung der klimatischen Produktionsfaktoren den Grünlandbetriebern die Hände, entsprechend darauf zu reagieren. In Regionen, wo kein Grünlandumbruch möglich ist, wird die Aufrechterhaltung einer einkommenswirksamen Bewirtschaftung immer schwieriger werden. In der Endkonsequenz führt das zur Aufgabe der Betriebe und damit der Grünlandes. Ein CO₂-Sicherungsbeitrag kann hier gegensteuern.



6 Nachhaltigkeit und Effizienz

Durch die Photosynthese bildet das oberösterreichische Grünland 2,6 Millionen Tonnen Sauerstoff und verarbeitet 3,5 Millionen Tonnen CO₂.

Die Landwirtschaft in Oberösterreich entzieht der Atmosphäre während der Sommermonate jährlich 12,2 Millionen Tonnen CO₂. Davon bewältigt das Grünland rund 29% und die Ackerkulturen rund 71%.

Aus der Sicht des Klimawandels ist die Landwirtschaft eine vergleichsweise sehr nachhaltige und effiziente Produktionssparte unserer Gesamtwirtschaft. Zumal sie uns hochwertige Lebensmittel zur Verfügung stellt und uns Raum zum Leben sichert.



6.1 Mehr Milch und weniger Methan

Rinder können Pflanzen verdauen, die für den Menschen unverdaulich sind, nämlich Gräser, Klee und Kräuter. Damit sind sie für den Menschen und die Welternährung keine Konkurrenten, besonders die Kühe, die im reinen Grünlandgebiet leben, fressen und Milch geben. Die Kühe können das, weil in ihrem Pansen viele verschiedene Bakterien mittels Vergärung die gefressenen Pflanzen zu einfachen Kohlenhydraten verdauen bzw. zerlegen und damit Zucker und Eiweiß für die Kühe bilden. Dabei entsteht als Gas natürlicherweise auch Methan, wie in einer Biogasanlage. Nur macht die Kuh daraus keinen Strom, sondern lässt das Methan in die Luft entweichen.

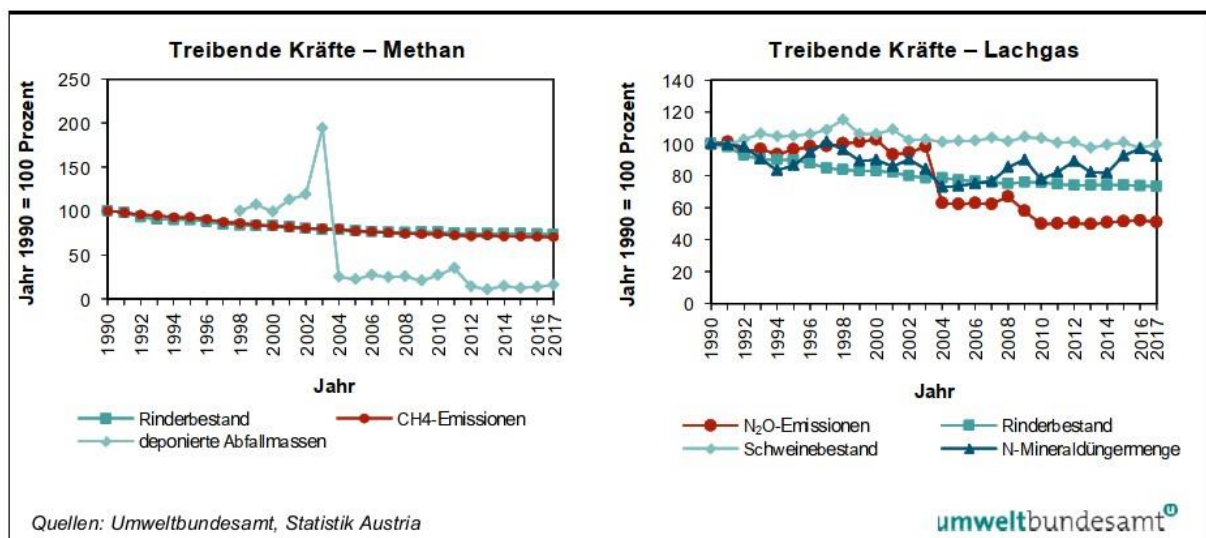
Weil nun viele Kühe viel Methan abgeben und Methan ein Treibhauspotential von 25² hat (25-fach wirksamer als CO₂) werden Kühe nun als Klimakiller gebrandmarkt. Oder die vereinfachte Botschaft: Kühe sind schlecht für's Klima. Folglich die einfach gestrickte Logik: Keine Kühe ist gut für's Klima.

Das würde aber auch heißen:

- keine Kühe, keine gleichwertigen natürlichen Lebensmittel
- der Mensch verliert seine wichtigsten Veganer, die ihm seit der Jungsteinzeit vor 9.500 Jahren das Leben erleichtert, wenn nicht gar erst ermöglicht haben
- niemand sonst frisst unsere 206.000 ha Gras, Klee und Kräuter
- keine Kühe, kein Grünland
- geringere CO₂-Bindung im Boden
- Verlust von Humus, kaum umkehrbare Freisetzung von CO₂ in die Atmosphäre
- Verrottung mit Freisetzung von Treibhausgasen durch Brache und Nicht-mehr-Nutzung
- Verbuschung, Verwaldung

Nicht alles, was auf's schnelle Hinschauen logisch erscheint, ist immer auch intelligent. In der Natur und in der Landwirtschaft sind Zusammenhänge weiter zu denken. Sie folgen oft der Logik des Aristoteles, der sagte: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“. Das gilt auch für die Kühe und ihr Methan.

In einer ehrlichen Diskussion, die auch bemüht ist, die vielen Seiten einer Medaille ausgewogen zu werten, ist die deutliche Verbesserung der Effizienz und die steigende Nachhaltigkeit der Milchwirtschaft in Oberösterreich sehr wohl zu schätzen. Gerade auch im Hinblick auf Klimawandel und Treibhausgase.



² Treibhauspotential nach Kyoto-Protokoll, bezogen auf 100 Jahre.

Heute klimafreundlichere Milch:

Im Zeitraum 1990 bis 2017 sind in Oberösterreich die Methan-Emissionen der Landwirtschaft um 13% gesunken. Dies wird vor allem auf die Abnahme des Rinderbestandes zurückgeführt. Gleichzeitig ist die Produktion von Milch 12 % gestiegen mit um 40% weniger Kühen.

Entwicklung der Milchproduktion 1990-2017 [(nach Wöckinger, M. (2020) und UBA (2019))]:

Jahr	Kühe	Milchproduktion t/Jahr	durchschnittliche Milchleistung/Kuh kg/Jahr	Methan Emission in t	
				Oberösterreich gesamt	Oberösterreich Landwirtschaft
1990	277.100	1.043.281	3.765	95.109	63.333
2017	167.099	1.168.570	6.993	66.908	55.066
Entwicklung in %	-39,7%	+12,0%	+85,7%	-30%	-13%

Wenn die oberösterreichische Landwirtschaft um **125.000 kg mehr Milch** produziert hat und **gleichzeitig um 13% weniger Methan** entstanden ist, dann ist heute der Liter Milch klimafreundlicher als vor 29 Jahren. **Heute ist die Milch aus Oberösterreich ein Fünftel klimafreundlicher!**

Milchproduktion und Methan-Emission in Oberösterreich (Annahme: alles Methan stammt aus der Milchproduktion):

	Milchproduktion in t/Jahr	Methan Landwirtschaft in t/Jahr	t Methan pro t Milch	kg Methan pro kg Milch	Gramm Methan pro kg Milch
1990	1.043.281	63.333	0,061	0,0000607	0,06
2017	1.168.570	55.066	0,047	0,0000471	0,05

Auf Grundlage dieser Zahlen der oberösterreichischen Milchproduktion und der Emissionsdaten des Umweltbundesamtes heißt das konkret: **Je Kilo Milch werden heute um 22,4% weniger Methan an die Luft abgegeben.** Es werden 0,05 Gramm Methan je kg Milch, die wir trinken, abgegeben (Annahme: Alles Methan stammt aus der Milchproduktion). Um sich darunter etwas vorstellen zu können: **Das Methan von 1 kg Milch wiegt so viel wie 1 Weizenkorn.**

Jeder, der das Argument „die Kuh ist ein Klimakiller“ in den Mund nimmt, müsste radikal auf sein Auto verzichten, um überhaupt ernst genommen zu werden. Im Vergleich zu seinem Benzin-Pkw ist eine Kuh ein **Klima-Streichler**, wenn man ihre Lebensmittel und ihre Wiesen-Landschaft mitberücksichtigt. Bei durchschnittlich 28,2 km Fahrleistung pro Tag sollten die Kuh-Kritiker ab dem 2. Jänner bzw. ab 33,2 gefahrene km das restliche Jahr zu Fuß gehen, weil sie ab dann mehr Klimagase als die Kuh verursachen (Tabelle Seite 30).

Vergleich der CO₂-Äquivalente von Pkw (Benzin) und Kuh (Methan) pro Jahr (Quelle Pkw Daten: Umweltbundesamt, Emissionsfaktoren für Verkehrsmittel; Mai 2019):

	kg Milch/Jahr	g Methan /kg Milch	g CO ₂ eq aus Methan /kg Milch	g CO ₂ eq aus Methan /Kuh/Jahr
Kuh	7.000	0,05	1,25	8.750
	km/Jahr	km/Tag	CO ₂ eq gesamt g/km	g CO ₂ eq /Pkw/Jahr
Pkw Benzin	10.300	28,2	260,7	2.685.210

Ein Mensch mit gesundem Hausverstand fragt sich bei all diesen Vergleichen aber auch: wie krank muss eine öffentliche Diskussion sein, wenn wir so eine Argumentation brauchen, um das Trinken von Milch und die Existenz von Kühen und Grünland zu rechtfertigen.

Es gibt weiters andere Publikationen, in denen höhere Methan-Emissionen der Milchkuh zugemessen werden. So wird in einer Studie einer durchschnittlichen holländischen Milchkuh eine Methan-Emission von 111 bis 129 kg pro Jahr, bzw. 15,4 bis 16,6 g/kg fett- und proteinkorrigierter Milch zugerechnet. Es wird allerdings auch festgehalten, dass Unsicherheiten in der Futteraufnahme und die Zusammensetzung von Grasprodukten zur Variation der berechneten Methan-Emission beitragen. Darüber hinaus tragen interne Modellgleichungen zur Unsicherheit bei. Der größte Teil der Unsicherheit im Methanemissionsfaktor (kg Methan / Kuh / Jahr) wird durch die Unsicherheit der Futteraufnahme und der Stöchiometrie der flüchtigen Fettsäuren bestimmt. Auf die Notwendigkeit von Folgestudien wird ausdrücklich hingewiesen (Bannink, A.; 2011).

Methan aus globaler Sicht:

Aus globaler Sicht wird Methan vorrangig emittiert in bzw. durch Feuchtgebiete, Tundra (Sibirien), Reisanbau (Asien), ineffiziente Erdöl- und Erdgasförderung (Nigeria, Venezuela, Turkmenistan, Aserbeidschan), Fracking (USA), veraltete Kohleförderung (China) und Wiederkäuer (siehe Abbildung Seite 31).

Europa spielt aus globaler Sicht in der Methan-Emission eine untergeordnete Rolle. **Es ist absurd zu glauben, in Europa durch Verzicht auf Milch und Rindfleisch einen Beitrag zur Verbesserung der Treibhausgassituation für das Weltklima leisten zu können.** Zumal dann das Grünland niemand mehr braucht und als wichtiger Kohlenstoffspeicher (Humus) und als wichtiger Teil der CO₂-Atmung der Erde verloren geht. Will man mit Esskultur wirksam die Methan-Emission verringern, müsste Reis vom Speiseplan gestrichen werden. Aus interkultureller Sicht erübrigt sich dieser Ansatz wohl.

Zudem ist auch eine jahreszeitliche Schwankung des Methan-Gehaltes zu beobachten.

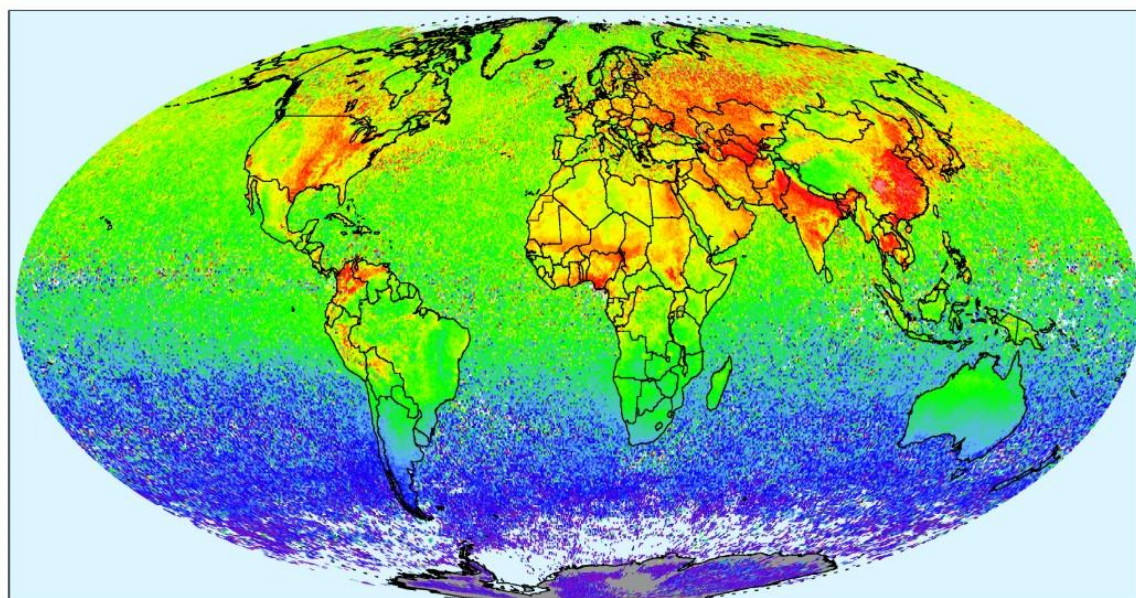
Über einen längeren Zeitraum gesehen, nimmt die Methan-Konzentration in der Atmosphäre zu.

Methan-Emission 2003-2011; gemessen durch ESA ENVISAT Satellit

GHG-CCI

2003-2011

Methane SCIAMACHY/ENVISAT WFMD



XCH₄ [ppb]



Europas Umwelt-Satellit ENVISAT:



6.2 Das Grünlandfutter und die Kuh

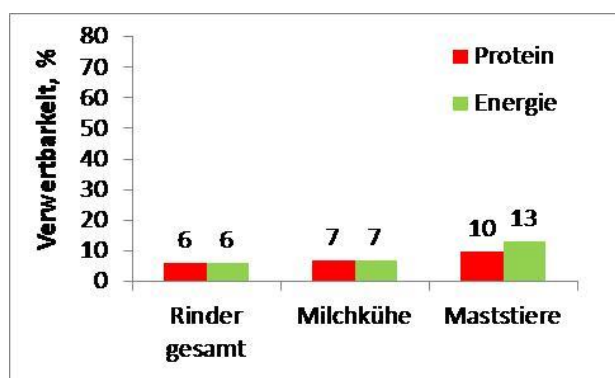
Schönauer, M. hat erstmals eine Abschätzung des für die menschliche Ernährung theoretisch verwertbaren Futtermittelanteiles im Rinderfutter vorgenommen (Schönauer, M. et al., 2016):

Grünlandfuttermittel (Grünfutter, Heu, Grassilage etc.) können nicht direkt für die menschliche Ernährung herangezogen werden. Im Schnitt liegt der Grünlandfutteranteil in den österreichischen Rinderrationen zwischen 70 und 75 %. Daher wiesen die Futterrationen der verschiedenen Kategorien von Rindern im österreichischen Mittel mit Werten unter 10 % niedrige Verwertbarkeiten für die direkte menschliche Ernährung auf (siehe Abbildung unten, links).

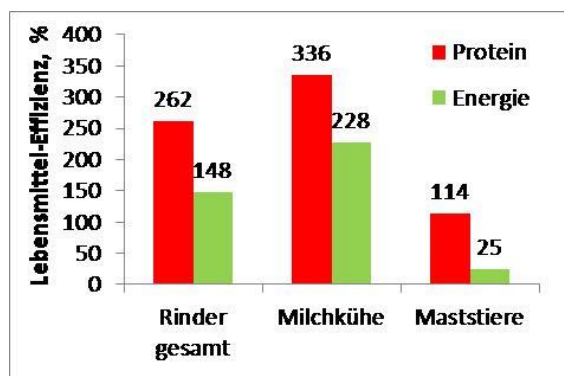
Die essbaren Anteile in den eingesetzten Futterrationen werden dem essbaren Output an tierischen Produkten (Milch, Fleisch und einem Teil der Schlachtnebenprodukte) gegenübergestellt. Der Quotient daraus wird auch **als Lebensmittel-Konversionseffizienz (LKE)** bezeichnet. LKE-Ergebnisse über 100 % weisen darauf hin, dass im jeweiligen tierischen Produktionssystem mehr Protein bzw. Energie in Form von tierischen Lebensmitteln erzeugt werden als in der Fütterung eingesetzt wurden.

In Abbildung unten (rechts) sind die Ergebnisse zur Lebensmittel-Konversionseffizienz für die Gesamtheit aller Rinder, für Milchkühe und Masttiere in Österreich dargestellt. Nicht zuletzt wegen der geringen Verwertbarkeit der Futtermittel für die direkte menschliche Ernährung ist die Lebensmittel-Konversionseffizienzen (LKE) der österreichischen Rinderhaltung derzeit im nationalen Durchschnitt deutlich positiv, da nahezu alle Werte über 100 % liegen. Dies bedeutet, dass die österreichische Rinderhaltung derzeit einen positiven Beitrag zur verfügbaren Menge an essbarem Protein und essbarer Energie leistet.

Direkte Verwertbarkeit von Protein und Energie im Rinderfutter für die menschliche Ernährung:



Lebensmittel-Konversionseffizienz in der Rinderhaltung in Österreich:



Bei grünlandbasierter Rinderhaltung und Einsatz von nicht essbaren industriellen Nebenprodukten wird ein wertvoller Beitrag zur Lebensmittelversorgung erreicht. In Österreich stellt das Dauergrünland die vorherrschende Kulturart dar. Eine ackerbauliche Nutzung dieser Flächen ist großteils nicht möglich und auch aus ökologischen Gründen nicht erwünscht. Da nur Wiederkäuer in der Lage sind, das Futter der Grünlandstandorte effizient in Nahrungsmittel umzuwandeln, leistet die grünlandbasierte Wiederkäuerhaltung einen wertvollen Beitrag zur Lebensmittelversorgung.

Rinder und insbesondere die Kühe mit ihren hochwertigen Milchprodukten sind mit ihrem Grünlandfutter keine Nahrungskonkurrenten für den Menschen!

6.3 Grünland ist Land zum Leben

Zur Erholung fahren wir hinaus auf's Land, um spazieren zu gehen, zu wandern und unseren Blick über die Landschaft aus Feldern, Wiesen und Wäldern gleiten zu lassen. Unserer Seele wieder Raum zu geben für's Loslassen, für's Gleichgewicht finden und für's Kraft schöpfen.

Wiesen und Felder sind unser Lebensraum. Wiesen und Felder sind auch der Raum, in der sich der Artenreichtum erst entwickeln konnte. Mit dem Wald und mit der Verwaldung sinkt die Strukturiertheit der Landschaft, die vielen Nischen und Ecken für eine Vielzahl an Tier- und Pflanzenarten verschwinden auf hundert Jahre. Erst recht, wenn Wiesen und Felder von uns Menschen verbaut werden.

Wenn wir heute über Kühe und Methan und Treibhausgase klagen, dann denken wir künftig auch daran, dass nur die Kühe die Wiesen fressen. Ohne Kühe kein Grünland.

Fast die Hälfte (42%) der landwirtschaftlichen Fläche ist Grünland in Oberösterreich. Das nur Bestand hat, weil es Kühe, Schafe, Ziegen und die Milchwirtschaft gibt.

Grünland schafft uns Luft zum Leben,

Grünland reinigt das CO₂ aus der Luft,

Grünland schenkt uns Raum für Erholung und Gesundheit.

Grünland ist Land zum Leben.



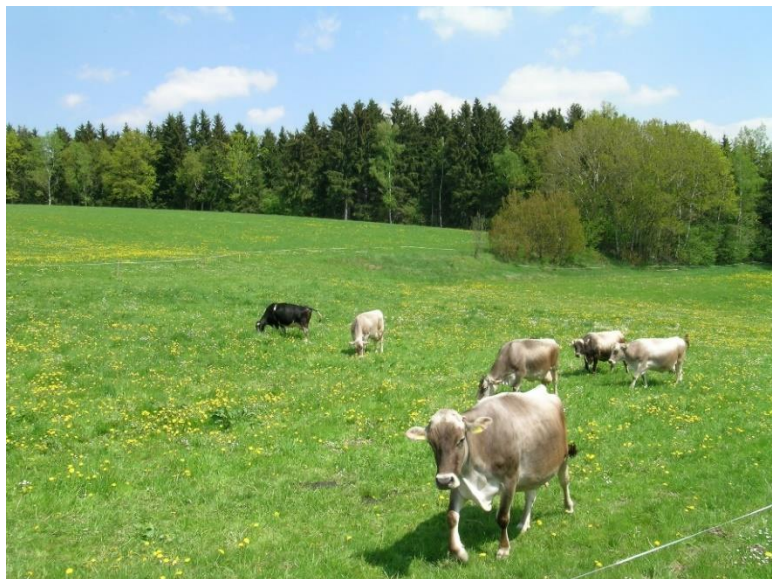
7 Grünland in Diskussion

In der oft leider sehr emotional geführten Klimawandel-Diskussion (Kühe als Klimakiller) wird der Landwirtschaft und speziell dem Grünland die Schuld-Karte zugeschoben. Nüchtern betrachtet sind 7,1 % der oberösterreichischen Treibhausgase Methan. Also 71.000 Tonnen Methan pro Jahr bzw. 1,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Bei einer Gesamt-THG-Emission in Oberösterreich von 10,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente sind das 16,6% des oberösterreichischen Treibhausgas-Ausstoßes. Da sollte man schon die Kirche im Dorf lassen.

Trotzdem hat sich die Grünlandwirtschaft zunehmend der Biodiversitätsdiskussion zu stellen. Eine Nutzungshäufigkeit bis 3 Schnitte ist als traditionelle Grünlandnutzung einzustufen. Zwei und drei Schnitte prägten bis Beginn der 70er-Jahre des letzten Jahrhunderts das oberösterreichische Grünland und seine Pflanzenbestände. Die Pflanzenbestände haben sich seitdem von traditionellen Pflanzengesellschaften in Richtung Wirtschaftswiesen entwickelt. Die Entwicklung in der Nutzungshäufigkeit war vor allem getrieben durch den Fortschritt in der Züchtung (Milchleistung) und durch die Erkenntnisse in der Grundfutterqualität und der Gestaltung der Futterration. Die Anforderungen an die Qualität und Inhaltsstoffe des Grundfutters vom Grünland sind laufend gestiegen. Der 1. Schnitt wurde kontinuierlich früher genutzt, um jüngeres Futter und damit auch hochwertigeres Futter zu ernten. Auch die immer länger werdende Vegetationsperiode ermöglichte eine öftere Nutzung.

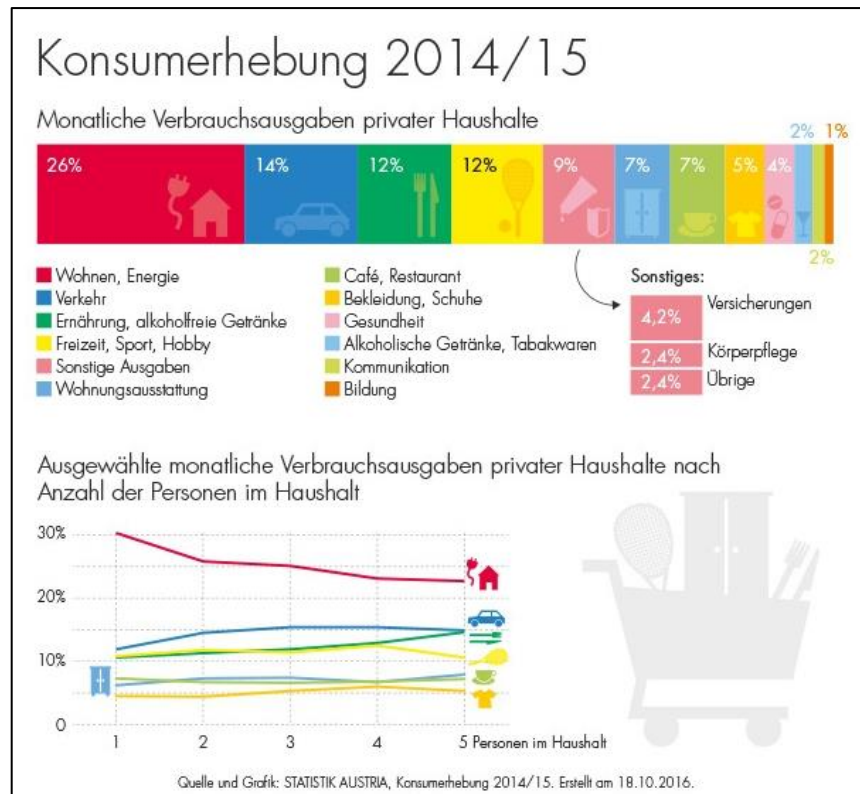
Die Vierschnittnutzung ist mit einer Abnahme der Zahl der Pflanzenarten verbunden. Vor allem von blühenden Arten, die wir mit dem Begriff Blumenwiesen verbinden. Mit dem in den letzten Jahren verstärkten Trend zu fünf Schnitten in den besseren Lagen wird der Druck auf die Artenzahl bei Pflanzen und Insekten weiter erhöht. Das ist schlicht eine Tatsache.

Auf der anderen Seite hat die Entwicklung zur ertragsbetonten Grünlandbewirtschaftung es erst ermöglicht, die Milch- und Fleischproduktion sicherzustellen, bei gleichzeitiger Reduktion der Tierzahl. Und damit auch die



Methanbildung zu reduzieren, wie oben ausgeführt. Ebenso die Preise der Lebensmittel, die es ermöglichen, dass die Ausgaben für die Ernährung 2014/2015 nur rund 12% Anteil am

Haushaltseinkommen hatten, während es in den 50er-Jahren noch rund 50% waren. Wir haben also alle von dieser Entwicklung unmittelbar profitiert und tun das immer noch.



Die **Erhaltung des Grünlandes als Lebensraum für uns Menschen durch die Milchwirtschaft** ist ein weiterer wichtiger Faktor, der in dieser Diskussion völlig untergeht. Es gibt ausreichend Beispiele in Europa, wo dies nicht oder nur ungenügend gelungen ist (Frankreich: Massif central, französische Alpen; Deutschland: Schwarzwald, Spessart; Italien: die Alpenregionen im Piemont und der Lombardei). Diese Gebiete sind gekennzeichnet durch eine teils massive Absiedelung, sofern sie nicht in unmittelbarer Nähe von Großstädten liegen. Durch spezielle Regionalprogramme der EU versucht man hier seit einigen Jahren mit großem finanziellen Aufwand gegenzusteuern.

In einer ehrlichen Diskussion sind immer auch die Alternativen einzubeziehen und entsprechend zu gewichten.

8 Nachwort

Mit zum Schlimmsten zählt für mich, mit Menschen zu diskutieren, die sich in ihrer Argumentation so tief eingegraben haben, dass sie nicht fähig und wohl auch nicht bereit sind, zusätzliche Fakten und Tatsachen zu akzeptieren und das große Ganze zu sehen. Oft fehlt wahrscheinlich auch das Wissen, um sich Zusammenhängen öffnen zu können. Wenn wir in der Biodiversitäts- und Klimafrage entscheidend weiterkommen wollen, müssen wir zu einem von partnerschaftlichem Respekt geprägten Umgang miteinander finden. Dazu zählt auch die Anerkennung bereits stattfindender Leistungen, sowie das Bewusstsein, dass der Mittelweg und nicht die Extreme die Evolution voranbringen.

Wenn diese Ausführungen einen Beitrag dazu geleistet haben, dann war meine eingesetzte Zeit für's Recherchieren, Rechnen und Schreiben nicht umsonst. In dieser Thematik muss man sich auf die Berechnungen anderer verlassen und viel mit Größenordnungen arbeiten, teils auch um Ursachen und Wirkungen in ihrer Dimension verständlich und nachvollziehbar darzustellen. Das impliziert die Gefahr, dass sich Ungenauigkeiten beim Hochrechnen zu Fehlern potenzieren. Ich hoffe, dass sich solche nicht eingeschlichen haben. Ausschließen kann ich es – trotz aller Sorgfalt beim Literaturstudium – allerdings nicht. An dieser Stelle bedanke ich mich für entsprechende Hinweise auf gravierende Fehler.

Mit einem Zitat von Dietrich Bonhoeffer schließt diese Arbeit:

*Den größten Fehler,
den man im Leben machen kann, ist,
immer Angst zu haben,
einen Fehler zu machen.*



9 Grünland-Telegramm „Luft zum Leben“

Grünlandfläche Oberösterreich (ohne Almflächen): 206.004 ha

davon werden geschätzt rund 135.000 ha als ertragsbetontes Grünland bewirtschaftet.

Das Grünland in Oberösterreich produziert rund 1,8 Millionen Tonnen Biomasse pro Jahr.

Davon entfallen 73 Prozent auf das ertragsbetonte Grünland, bzw. rund 1,3 Millionen Tonnen.

Für die Bildung von 1 kg pflanzlicher Biomasse kann man eine Aufnahme von 2,0 kg CO₂ und die Abgabe von 1,5 kg O₂ annehmen.

In Oberösterreich produziert das Grünland 2,6 Millionen Tonnen Sauerstoff pro Jahr.

Es liefert für 100% der Österreicher Luft zum Leben.

Das ertragsbetonte Grünland produziert mit seinem 66% Flächenanteil 73% des Grünland-Sauerstoffes.

Humus enthält rund 58% Kohlenstoff.

Die oberösterreichischen Grünlandböden haben einen durchschnittlichen Humusgehalt von 6,83%.

Pro Hektar sind bis 10 cm Tiefe damit 59 Tonnen Kohlenstoff im Humus des Grünlandes gespeichert. Das entspricht rund 220 Tonnen CO₂-Speicherung im Humus pro ha.

Auf 206.004 ha werden im Grünland-Humus rund 12,2 Millionen Tonnen Kohlenstoff bzw. rund 45,3 Millionen Tonnen CO₂ gespeichert.

Das ertragsbetonte Grünland hat in seinem Humus 8 Millionen Tonnen Kohlenstoff bzw. rund 29,7 Millionen Tonnen CO₂ gebunden.

Das oberösterreichische Grünland hat als Kohlenstoffsенke einen in CO₂-Zertifikaten ausgedrückten Wert von 1,1 Milliarden Euro. Pro Hektar sind es 5.423 Euro.

Die oberösterreichische Landwirtschaft nimmt mit der Biomasseproduktion der Ackerkulturen und des Grünlandes jährlich 12,2 Millionen Tonnen CO₂ aus der Luft auf. Es wird temporär der Atmosphäre entzogen und trägt damit – global gesehen – wesentlich zur Atmung unseres Planeten bei.

Je Kilo Milch werden heute gegenüber 1990 um 22,4% weniger Methan an die Luft abgegeben

10 Weiterführende Informationen über Methan, CO₂, Kohlenstoff-Speicherung im Boden:

Soil carbon saturation: Myth oder reality? <https://lachefn.net.wordpress.com/2019/08/03/soil-carbon-saturation-myth-or-reality/>

Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X17310338>

Ruminations: Methane math and context: <https://lachefn.net.wordpress.com/2018/05/04/ruminations-methane-math-and-context/>

How Responsible are Modern Cows for Greenhouse Gases?: <https://pdfs.semanticscholar.org/073f/d0daf42919eda1fd924db8687c8752acd8.pdf>

Methan-Messung mit dem Satellit „Sentinel-5 Precursor“ (ab 2017): <http://www.tropomi.eu/data-products/methane>

Interpreting contemporary trends in atmospheric methane: <https://www.pnas.org/content/116/8/2805>

The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide: <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>

Mit Satelliten gegen Klimagase: <https://www.solarify.eu/2019/07/09/975-mit-satelliten-gegen-klimagase/>

Satelliten-Programm der ESA: <http://www.esa.int/>

NASA Worldview: interaktive Benutzeroberfläche um nach hochauflösenden und globalen Satellitenbildern zu suchen: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

ZAMG: Daten der Sentinel-Erdbeobachtung-Satelliten; <https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/news/daten-der-sentinel-erdbeobachtung-satelliten-in-oesterreich-kostenfrei-abrufbar>

ENVISAT – Europas Umweltsatellit: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-missions/envisat>

11 Literatur

ANDERL, M., GANGL, M., HAIDER, S., et al (2019): Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2017; Umweltbundesamt, Wien.

https://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=2306

BAHNSEN, U. (2019): Der Beginn des Lebens; Die Zeit, Nr. 53/2019.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (o. J.): Bestandteile von Humus und Humusqualität; <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031122/index.php>

BANNINK, A. (2011): Methane emissions from enteric fermentation in dairy cows, 1990-2008; Animal Sciences Group, Wageningen UR. www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

BUIS, A. (2019): The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide;

<https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>

BUCHGRABER, K. (2008): Grünlandbewirtschaftung; Vorlesung Universität für Bodenkultur.

BUCHWITZ, M., SCHNEISING, O., REUTER, M., HEYMAN, J., KRAUTWURST, S., BOVENSMANN, H., BURROWS, J. P., BOESCH, H., PARKER, R. J., SOMKUTI, P., DETMERS, R. G., HASEKAMP, O. P., ABEN, I., BUTZ, A., FRANKENBERG, C., und TURNER, A. J. (2017): Satellite-derived methane hotspot emission estimates using a fast data-driven method, Atmos. Chem. Phys., 17, 5751–5774, <https://doi.org/10.5194/acp-17-5751-2017>;

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV); http://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf;

DERSCH, G., SPIEGEL, H., HÖRSCH, J., HASLMAYR, H.-P., BAUMGARTEN, A., SCHERIAU, S., HÖLZL, F. X. und RECHEIS-KIENESBERGER, J. (2013): Humusgehalt, Säuregehalt und pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalte auf Acker- und Grünland in Oberösterreich; Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Wien.

ESA: Image Gallery Methan; <http://www.esa-ghg-cci.org/?q=node/116>

ESA: Image Gallery Carbon Dioxide; <http://www.esa-ghg-cci.org/?q=node/116>

EUROPÄISCHE UNION (2011): Boden – der verborgene Teil des Klimazyklus.

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9bcd40f5-0f6a-4f83-aaaa-e30178324e4d/language-de>

FINANZEN.AT: CO₂ European Emission Allowancespreis; Kurszeit 23.1.2010;
<https://www.finanzen.at/rohstoffe/co2-emissionsrechte>

FRÜHWIRTH, P. (2019): Niederschläge und Temperaturen während der Vegetationsperiode in den Grünlandregionen Oberösterreich 1989-2018. Konsequenzen für die Grünlandwirtschaft. Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz.

GAISSBERGER, E. (2020): Persönliche Mitteilung zu den Humusgehalten der oberösterreichischen Grünlandbodenproben aus dem Landesprogramm Gewässerschutz Grünland; BodenWasserSchutzBeratung, Linz.

HÖLZL, F. X. (2020): Persönliche Informationen zum Thema Humus.

HÜLSBERGEN, K.-J. (2012): Die Humusbilanzen unserer Böden; Vortrag; TU München;
https://www.ooe-landwirtschaftsschulen.at/Mediendateien/Schlaegl%20Dokumente/nachl_huelsenbergen_2012.pdf

KORDS, M. (2019): Statistiken zu Treibhausgasemissionen in Österreich;
<https://de.statista.com/themen/5119/treibhausgasemissionen-in-oesterreich/>

KORDS, M (2019): Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft in Österreich nach Verursacher von 1990-2017;
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/962302/umfrage/treibhausgas-emissionen-des-sektors-landwirtschaft-in-oesterreich-nach-verursacher/>

KRUMPHUBER; C. (2009): Biomasse – CO₂-Bindung – Sauerstoffproduktion – Humusbilanz; Vortrag; Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz.

KRUMPHUBER, C. (2019): Factsheet Klimawandel; Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz.
https://ooe.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2019.11.06%2F1573022117670635.pdf&n=Factsheet_Klimawandel_10_2019_Krumphuber.pdf

REINHOFER, M., BERGHOLD, H., TRINKHAUS, P., SCHWENDT, A. und STUHLBACHER, A. (2003): Erhebungen zur Phytomasseproduktion von Wiesen in 5 Bezirken der Oststeiermark als Basis für die Standortsauswahl für eine „Grüne Bioraffinerie“; Joanneum Research, Graz.

RESCH, R. (2019): Futter-, Energie- und Rohproteinträge für Grünland in Österreich 2018 - Faustzahlen für Wirtschafts- und Extensivgrünland, Feldfutterbau, Silomais und Futterrüben. Datenanforderung des BMNT für den Grünen Bericht 2019.

RESCH, R., SCHWAB, E. und SCHWAIGER, E. (2009): Standortabhängige Auswirkungen differenzierter Grünlandbewirtschaftung auf Trockenmasse- und Qualitätsertrag; 4. Klimaseminar, S. 35-50; LFZ Raumberg-Gumpenstein.

SCHÖNAUER, M., STEINWIDDER, A. und ZOLLITSCH, W. (2016): Abschätzung des Futtermittelanteils in Rationen österreichischer Nutztiere mit direkter potenzieller Verwertungsmöglichkeit in der menschlichen Ernährung; Universität für Bodenkultur Wien und HBLFA Raumberg-Gumpenstein; <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/forschungsbereiche/bio-landwirtschaft-und-biodiversitaetder-nutztiere/bio-news/5673-sind-rinder-effiziente-lebensmittellieferanten.html>

SCHRÖDER, D. (1983): Bodenkunde in Stichworten. Verlag Hirt.

SCHWEIGER, P. (2004): Ökologische Bedeutung der CO₂-Bindung und O₂- Freisetzung durch pflanzliches Wachstum; Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim.

STATISTIK AUSTRIA (2016): Monatliche Verbrauchsausgaben der privaten Haushalte - Hauptergebnisse 2014/15; http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/soziales/verbrauchsausgaben/konsumerhebung_2014_2015/index.html

STATISTIK AUSTRIA (2019): Jahresdurchschnittsbevölkerung nach Bundesland; https://statistik.gv.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/index.html

TROPOMI: Tropospheric Monitoring Instrument; <http://www.tropomi.eu/>

UMWELTBUNDESAMT (2019): Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2017 (Datenstand 2019); Wien. https://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=2306;

UMWELTBUNDESAMT (2019): Emissionsfaktoren bezogen auf Fahrzeugkilometer; https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/verkehr/verkehrsdaten/emissionsfaktoren_vehikelmittel/ und https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/verkehr/1_vehikelmittel/EKZ_Fz_km_Vehikelmittel.pdf

UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR (2010): –[OPAL – Optimierung der Schnittstelle zwischen agrarischer Landnutzung und Verwertung erneuerbarer agrarischer Energieträger](http://www.risk.boku.ac.at/OPAL/HP/index3204.html?page_id=7); http://www.risk.boku.ac.at/OPAL/HP/index3204.html?page_id=7

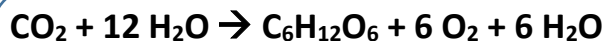
WIESMEIER; M. (2020): Persönliche Mitteilung zur Kohlenstoffbindung im Grünland.

WIKIPEDIA: Photosynthese; <https://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>.

WÖCKINGER, M. (2020). Persönliche Information zur Entwicklung der Milchleistung in Oberösterreich. Basis Statistik Austria. Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz.

12 ANHANG: Factsheet – Zahlen und Fakten im Überblick

12.1 Photosynthese:



Kohlendioxid + Wasser → Kohlenhydrat (Zucker) + Sauerstoff + Wasser

- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ entspricht der produzierten Biomasse
- O_2 ist der produzierte Sauerstoff
- CO_2 ist das verbrauchte Kohlendioxid

Je Tonne Biomasse werden 2 t CO_2 gebunden und 1,5 t Sauerstoff neu gebildet.

12.2 Grünlandnutzung in Oberösterreich 2019

Quelle: AMA; MFA 16.5.2019

Bezirk	Dauerweide	Hutweide	Streuweide	Einmähdige Wiese	Mähweide/weide 2 Nutzungen	Mähweide/weide 3 und mehr Nutzungen	Gesamt Bezirk	Prozent Bezirk
Braunau am Inn	454,1	19,2	130,5	177,3	617,5	20.677,2	22.075,8	10,7
Eferding	223,4	3,4	0,0	92,3	768,3	2.088,9	3.176,3	1,5
Freistadt	1.121,2	45,0	--- ****	409,2	3.359,7	19.887,6	24.822,9	12,0
Gmunden	738,6	97,8	14,6	317,1	2.169,2	5.278,5	8.615,9	4,2
Grieskirchen	286,1	2,1	---	105,1	1.233,8	9.074,8	10.702,0	5,2
Kirchdorf	1.792,0	507,0	21,6	408,7	1.473,1	10.272,3	14.474,7	7,0
Linz *	131,5	2,5	0,0	113,6	620,8	471,9	1.340,3	0,7
Perg	347,7	2,3	---	124,8	1.235,1	8.417,0	10.127,0	4,9
Ried im Innkreis	170,8	1,3	---	17,9	324,8	10.360,9	10.875,8	5,3
Rohrbach	550,7	12,9	---	285,0	1.985,9	22.885,1	25.719,6	12,5
Schärding	238,9	4,2	---	76,2	714,2	12.674,6	13.708,1	6,7
Steyr **	3.516,1	233,2	1,5	321,5	2.207,5	9.911,0	16.190,7	7,9
Urfahr-Umgebung	576,2	10,0	---	192,7	2.436,5	14.236,1	17.451,5	8,5
Vöcklabruck	784,9	149,3	88,4	402,1	1.755,2	21.770,2	24.950,0	12,1
Wels ***	186,0	2,0	---	123,5	723,1	739,1	1.773,6	0,9
Gesamt Nutzungsart	11.118,3	1.092,2	256,5	3.166,9	21.624,8	168.745,4	206.004,1	100,0
Prozent Nutzungsart	5,4	0,5	0,1	1,5	10,5	81,9	100,0	

* Linz Stadt und Linz Land

** Steyr Stadt und Steyr Land

*** Wels Stadt und Wels

**** Fläche nicht auswertbar, da weniger als 4 Betriebe.

12.3 Sauerstoffproduktion durch das Grünland in Oberösterreich:

Grünlandnutzung	ha	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Sauerstoff Produktion t/ha und Jahr	Prozent Sauerstoff Produktion
Dauerweide	11.118,3	83.387,3	125.080,9	4,8
Hutweide	1.092,2	3.276,7	4.915,0	0,2
Streuwiese	256,5	897,7	1.346,5	0,1
Einmähdige Wiese	3.166,9	11.084,2	16.626,4	0,6
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	116.773,8	175.160,8	6,7
3 mähdige Wiese	33.749,1	253.118,0	379.677,1	14,5
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	1.282.464,8	1.923.697,2	73,2
Gesamt	206.004,1	1.751.002,5	2.626.503,8	100,0

Das oberösterreichische Grünland liefert für 100% der Österreicher Luft zum Leben. Das heißt, für 8,8 Millionen Menschen.

12.4 Biomasseproduktion durch das Grünland in Oberösterreich:

Grünlandnutzung	ha	Prozent der Gesamt- grünlandfläche	Biomasse TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Prozent Biomasse in t/Jahr je Nutzungsart
Dauerweide	11.118,3	5,4	7,5	83.387,3	4,8
Hutweide	1.092,2	0,5	3,0	3.276,7	0,2
Streuwiese	256,5	0,1	3,5	897,7	0,1
Einmähdige Wiese	3.166,9	1,5	3,5	11.084,2	0,6
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	10,5	5,4	116.773,8	6,7
3 mähdige Wiese	33.749,1	16,4	7,5	253.118,0	14,5
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	65,5	9,5	1.282.464,8	73,2
Gesamt	206.004,1	100,0		1.751.002,5	100,0

12.5 Humus:

Der Humus enthält rund 58% Kohlenstoff.

Die oberösterreichischen Grünlandböden haben einen durchschnittlichen **Humusgehalt von 6,83%** [Stand Datengrundlage 3.3.2020 (Quelle: Gaisberger, E.; 2020)]. Im Durchschnitt sind bis zu einer Tiefe von 10 cm damit *59 Tonnen Kohlenstoff pro ha im Humus des oberösterreichischen Grünlandes gespeichert*. Das entspricht rund 220 Tonnen CO₂-Speicherung im Humus pro ha.

Humusgehalte - Kohlenstoffgehalte - CO₂-Äquivalente:

Humusgehalt in %	Humus in t/ha in 0-10 cm Grünlandboden*	Kohlenstoff in t/ha**	CO ₂ -Äquivalent in t/ha***	Humus in t/ha in 0- 20 cm Grünlandboden****	Kohlenstoff in t/ha**	CO ₂ -Äquivalent in t/ha***
1,5	23	13	48	34	20	72
2,0	30	17	64	45	26	97
2,5	38	22	80	56	33	121
3,0	45	26	97	68	39	145
3,5	53	30	113	79	46	169
4,0	60	35	129	90	52	193
4,5	68	39	145	101	59	217
5,0	75	44	161	113	65	241
5,5	83	48	177	124	72	266
6,0	90	52	193	135	78	290
6,5	98	57	209	146	85	314
6,83	102	59	220	154	89	330
7,0	105	61	225	158	91	338
7,5	113	65	241	169	98	362
8,0	120	70	258	180	104	386
8,5	128	74	274	191	111	410
9,0	135	78	290	203	117	435

* Boden: Raumgewicht 1,5 t/m³ (Dichte: 1,5 bei abgesetztem Boden); 0,1 m³ Boden/m²; 1.500 t/ha; 0,2 m³ Boden/m²; 3.000 t/ha;

** 58% Kohlenstoff im Humus

*** Verhältnis C:CO₂ = 12:44 = 1:3,7

**** Annahme: 0-10 cm → Humusgehalt lt. Bodenprobe; 10-20 cm → 50% des Humusgehaltes von 0-10 cm

Humusgehalte des oberösterreichischen Grünlandes; Stand Datengrundlage 3.3.2020. Daten aus den Laboren AGES und AGROLab. Siehe dazu Erläuterung auf Seite 17.

Bezirk	Mittelwert Humusgehalt %	Standardabweichung	Min.	Max.	n
Braunau	6,30	1,85	0,60	13,70	414
Eferding	5,69	1,66	2,46	12,28	193
Freistadt	7,28	2,45	1,75	14,98	2.852
Gmunden	2,99	0,46	2,67	3,32	2
Grieskirchen	6,89	2,33	1,15	14,95	180
Kirchdorf	10,48	2,98	5,50	14,72	21
Linz	5,45	1,49	4,45	7,16	3
Perg	6,58	2,46	1,70	14,34	253
Ried	5,57	1,27	4,00	7,05	5
Rohrbach	6,72	1,82	2,46	14,47	1.072
Schärding	6,94	2,04	4,54	13,88	131
Steyr					0
Urfahr	6,38	1,97	1,14	14,52	1.540
Vöcklabruck					0
Wels	6,47	1,09	5,69	7,24	2
Oberösterreich	6,83	2,24	0,60	14,98	6.668

Humusgehalte des oberösterreichischen Grünlandes; Stand Datengrundlage 19.12.2019. Daten aus den Laboren AGES, AGROLab und CEWE. **Achtung:** Humusgehalte wahrscheinlich etwas zu niedrig! Siehe dazu auch Erläuterung auf Seite 17.

Bezirk	Mittelwert Humusgehalt %	Standardabweichung	Min.	Max.	n
Braunau	6,19	1,92	0,60	14,31	1.291
Eferding	5,94	1,99	1,77	13,53	281
Freistadt	7,26	2,46	1,61	14,98	2.906
Gmunden	8,52	2,56	2,67	14,94	800
Grieskirchen	6,41	2,29	1,15	14,95	242
Kirchdorf	8,07	2,38	2,24	14,94	1.676
Linz	4,76	1,20	2,87	7,16	22
Perg	6,38	2,23	1,70	14,34	614
Ried	6,17	1,71	2,24	14,94	845
Rohrbach	6,17	1,70	2,08	14,47	2.892
Schärding	6,38	1,62	1,77	13,88	1.494
Steyr	7,40	2,20	2,71	14,94	1.279
Urfahr	6,47	2,03	1,14	14,94	2.132
Vöcklabruck	6,57	1,93	2,24	14,62	3.138
Wels	5,42	1,61	2,55	10,23	22
Oberösterreich	6,79	2,18	0,60	14,98	19.634

CO₂-Aufnahme nach Nutzungsart durch das Grünland in Oberösterreich, (Quelle Ertragsdaten: teilweise aus Resch, R., 2019):

Grünlandnutzungsart	ha	Prozent der Gesamtgrünlandfläche	Biomasse TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Aufnahme von CO ₂ in t (2 kg CO ₂ /t TM Biomasse)	Prozentanteil der Nutzungsart an der gesamten CO ₂ -Aufnahme	CO ₂ -Aufnahme in t/ha nach Nutzungsart
Dauerweide	11.118,3	5,4	7,5	83.387,3	166.774,6	4,8	15,0
Hutweide	1.092,2	0,5	3,0	3.276,7	6.553,3	0,2	6,0
Streuwiese	256,5	0,1	3,5	897,7	1.795,3	0,1	7,0
Einmähdige Wiese	3.166,9	1,5	3,5	11.084,2	22.168,5	0,6	7,0
Mähwiese/weide 2 Nutzungen	21.624,8	10,5	5,4	116.773,8	233.547,7	6,7	10,8
3 mähdige Wiese	33.749,1	16,4	7,5	253.118,0	506.236,1	14,5	15,0
4 und mehrmähdige Wiese	134.996,3	65,5	9,5	1.282.464,8	2.564.929,5	73,2	19,0
Gesamt	206.004,1	100,0		1.751.002,5	3.502.005,0	100,0	17,0

Bewertung der CO₂-Speicherung durch das oberösterreichische Grünland:

	CO ₂ Äquivalente t/ha	Wert CO ₂ -Zertifikate in €/ha	Gesamtwert CO ₂ -Zertifikate Grünland OÖ. in €
CO₂-Speicherung im Humus 0 bis 10 cm (6,83% mittlerer Humusgehalt lt. Bodenproben)	220	5.423,0	1.117.160.125,3
CO₂-Speicherung im Humus 0 bis 20 cm (0 bis 10 cm: 6,83%; 10 bis 20 cm: 50% des Humus von 0 bis 10 cm)	330	8.134,5	1.675.740.187,9

Das oberösterreichische Grünland hat als Kohlenstoffsенке einen in CO₂-Zertifikaten ausgedrückten Wert von 1,1 Milliarden Euro.

In der CO₂-Bilanz der Bundesländer Luftschadstoff-Inventur werden von der Landwirtschaft in Oberösterreich rund 880.000 Tonnen CO₂ abgegeben. Allein das Grünland nimmt in Oberösterreich jährlich durch seine Biomasseproduktion 3,5 Millionen CO₂ auf.

Der Beitrag der gesamten Landwirtschaft, also die Biomasseproduktion von Acker und Grünland, zur Aufnahme von CO₂ ist noch weitaus beeindruckender. Allein in Oberösterreich werden rund 12,2 Millionen Tonnen CO₂ aufgenommen und temporär der Atmosphäre entzogen.

Biomasseproduktion und CO₂-Aufnahme durch die Landwirtschaft in Oberösterreich:

	Fläche ha	Biomasse t TM/ha/Jahr	Biomasse gesamt t TM/Jahr	Aufnahme von CO ₂ in t (2 kg CO ₂ /t TM Biomasse)	Anteil Acker bzw. Grünland in Prozent
Acker	289.266	15,0	4.338.990	8.677.980	71,2
Grünland	206.004	8,5	1.751.003	3.502.005	28,8
LN gesamt	495.270		6.089.993	12.179.985	100,0

12.6 Treibhausgase Landwirtschaft Oberösterreich:

Milchproduktion und Methan-Emission:

Entwicklung der Milchproduktion 1990-2017 [(nach Wöckinger, M. (2020) und UBA (2019)]:

Jahr	Kühe	Milchproduktion t/Jahr	durchschnittliche Milchleistung/Kuh kg/Jahr	Methan Emission in t	
				Oberösterreich gesamt	Oberösterreich Landwirtschaft
1990	277.100	1.043.281	3.765	95.109	63.333
2017	167.099	1.168.570	6.993	66.908	55.066
Entwicklung in %	-39,7%	+12,0%	+85,7%	-30%	-13%

Die oberösterreichische Landwirtschaft hat 2017 gegenüber 1990 um 125.000 kg mehr Milch produziert hat und gleichzeitig um 13% weniger Methan emittiert.

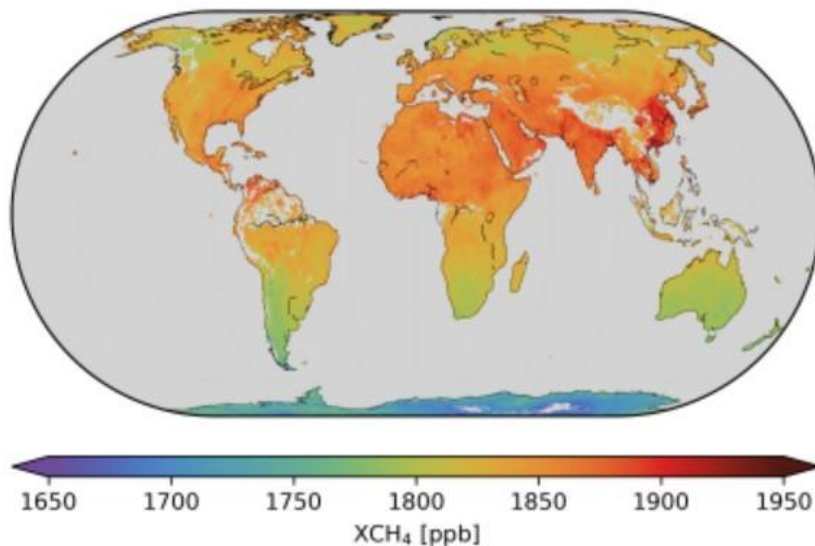
Je Kilo Milch wurden 2017 um 22,4% weniger Methan an die Luft abgegeben als 1990.

Vergleich der CO₂-Äquivalente von Pkw (Benzin) und Kuh (Methan) pro Jahr (Quelle Pkw Daten von 2017: Umweltbundesamt, 2019):

	kg Milch/Jahr	g Methan /kg Milch	g CO ₂ eq aus Methan /kg Milch	g CO ₂ eq aus Methan /Kuh/Jahr
Kuh	7.000	0,05	1,25	8.750
	km/Jahr	km/Tag	CO ₂ eq gesamt g/km	g CO ₂ eq /Pkw/Jahr
Pkw Benzin	10.300	28,2	260,7	2.685.210

12.7 Methan in der Atmosphäre:

Mittlere Methan-Konzentration von Mai 2018 – Jänner 2019 (Quelle: Sentinel 5P - TROPOMI;
<http://www.tropomi.eu/data-products/methane>)

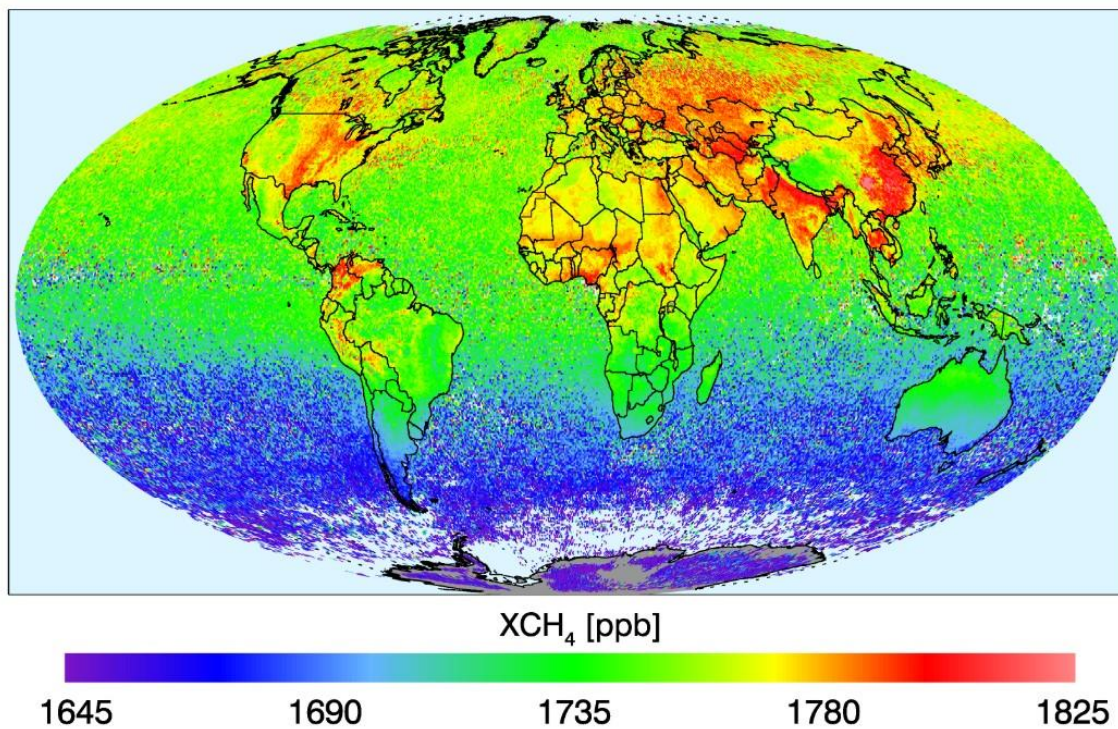


Methan-Konzentration des ESA-Satelliten ENVISAT (aktiv von 2003 bis 2012):

GHG-CCI

2003-2011

Methane SCIAMACHY/ENVISAT WFMD



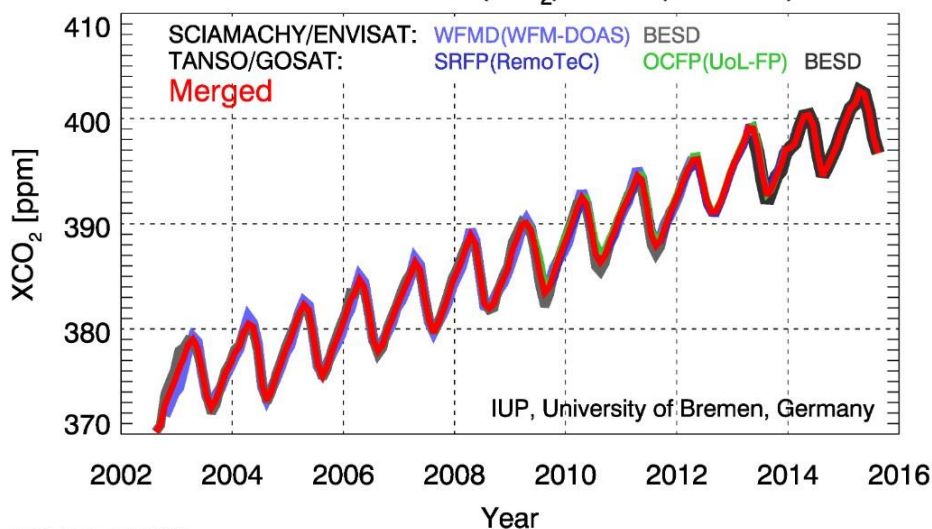
12.8 CO₂-Gehalt der Atmosphäre:

CO₂-Gehalt der Atmosphäre 2002-2016; ESA Satelliten ENVISAT und GOSAT; (Quelle: <http://www.esa-ghg-cci.org/?q=node/116>)

Rot = zusammengeführte Messwerte.

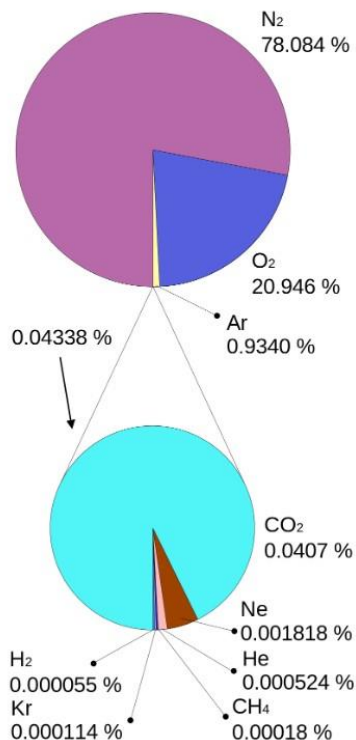
Das regelmäßige Auf und Ab des CO₂-Gehaltes zeigt, dass unser Planet atmet. In der nördlichen Hemisphäre nimmt in den Sommermonaten die wachsende Vegetation CO₂ auf. Ebenso klar sichtbar ist der ständige Anstieg des CO₂-Gehaltes von über 2 ppm jedes Jahr. Das ist vorrangig zurückzuführen auf CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Öl, Kohle, Gas).

GHG-CCI/MACC/CAMS **Carbon Dioxide (CO₂) - NH (0°-60°N)**



Michael.Buchheit@iup.physik.uni-bremen.de 4 Dec 2015 CRDP#2

Zusammensetzung der Atmosphäre
(aus: Buis, A.; 2019):

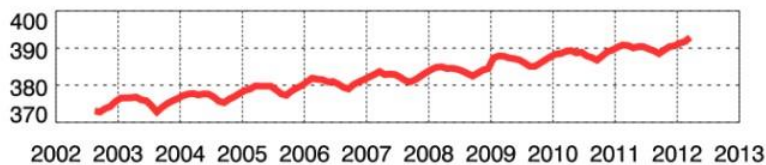
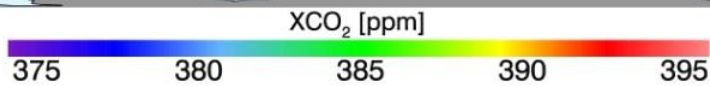
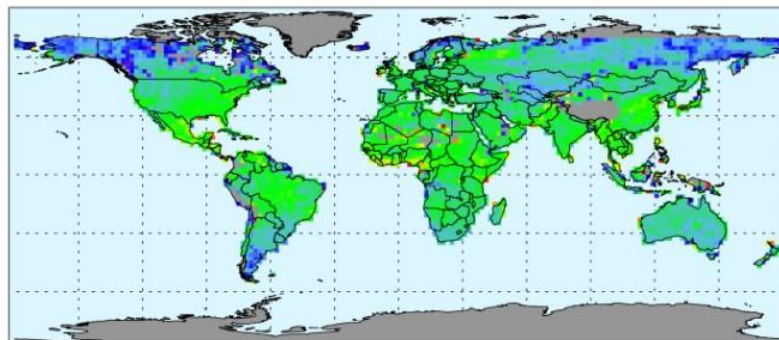


Mittlere Mischungsverhältnis von CO₂ in ppm. Links: CO₂-Verteilung von 2002 bis 2012. Rechts: Saisonale Durchschnittswerte (Quelle: ESA ENVISAT Satellit)

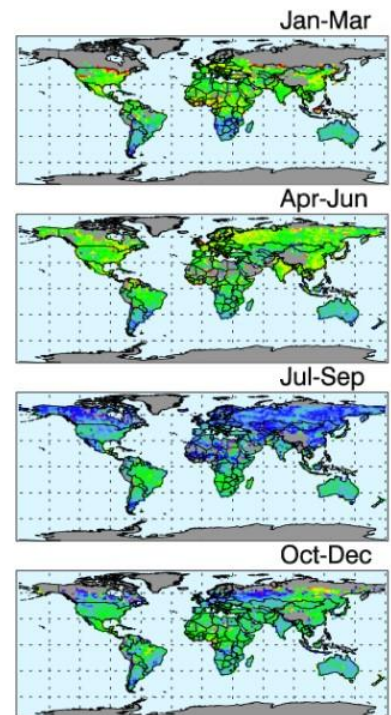
GHG-CCI

2002-2012

Carbon Dioxide SCIAMACHY/BESD

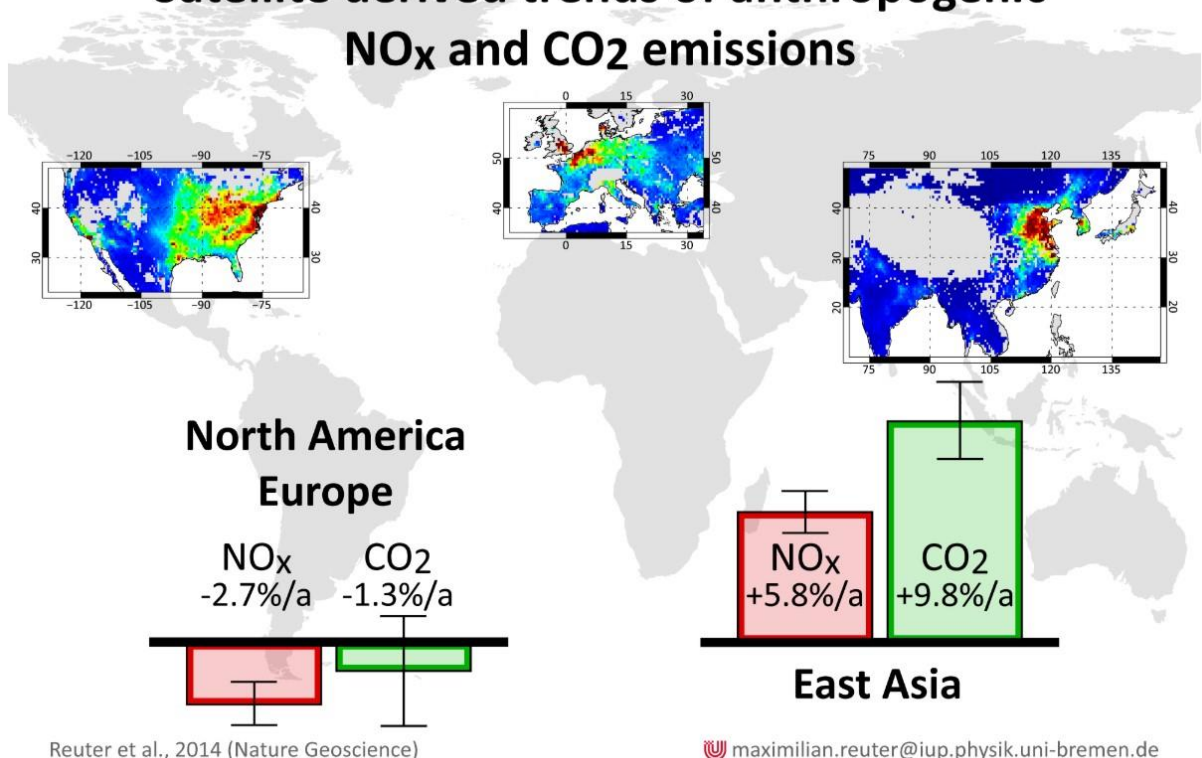


CRDP#1 MB/2013/07/18 grid: 2x2



Von Satellitenmessungen abgeleitete Trends für anthropogene NO_x und CO₂ Emissionen (Quelle: ESA):

Satellite derived trends of anthropogenic NO_x and CO₂ emissions



Reuter et al., 2014 (Nature Geoscience)

maximilian.reuter@iup.physik.uni-bremen.de

