



Entwicklung einer Methode zur Bemessung des Beitrags von Begrü- nungen zur Kohlenstoffanreicherung in landwirtschaftlichen Böden

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 Bundesministerium
Bildung, Wissenschaft
und Forschung



LAND
OBERÖSTERREICH



umweltbundesamt^U



Projektmitarbeiter*innen und AutorInnen des Berichts:

Dr. Eva Erhart, Bio Forschung Austria, Esslinger Hauptstraße 132-134, A-1220 Wien.
e-mail: e.erhart@bioforschung.at

DI Elisabeth Neuner, Bio Forschung Austria.
e-mail: e.neuner@bioforschung.at

Valentin Riegler, BSc., Bio Forschung Austria.
e-mail: v.riegler@bioforschung.at



Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Erhart, E.; Neuner, E.; Riegler, V. (2021): *Entwicklung einer Methode zur Bemessung des Beitrags von Begrünungen zur Kohlenstoffanreicherung in landwirtschaftlichen Böden*. Endbericht von StartClim2020.F in StartClim2020: Planung, Bildung und Kunst für die österreichische Anpassung, Auftraggeber: BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds, Land Oberösterreich.

Wien, im Juni 2021

StartClim2020.F
Teilprojekt von StartClim2020

Projektleitung von StartClim2020:
Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Meteorologie und Klimatologie, Gregor-Mendel-Straße 33, 1190 Wien

URL: www.startclim.at

StartClim2020 wurde aus Mitteln des BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds und dem Land Oberösterreich gefördert.

Inhaltsverzeichnis

F-1	Kurzfassung	6
F-2	Abstract.....	7
F-3	Einleitung	8
F-4	Humusbilanzierung	9
F-4.1	Standortangepasste Humusbilanzierungsmethode STAND nach Dr. Hartmut Kolbe	9
F-4.1.1	Humusbilanz-Beispiel.....	11
F-4.2.	VDLUFA Methode	12
F-5	Daten aus eigenen Begrünungsversuchen von Bio Forschung Austria	15
F-5.1	Daten oberirdische Biomasse	17
F-5.2	Daten unterirdische Biomasse	20
F-5.3	C/N-Verhältnis	22
F-5.4	Gehalte an Gerüstsubstanzen.....	26
F-6	Daten aus der Literatur	28
F-6.1	Oberirdische Biomasse von Begrünungen - Literaturoauswertung.....	28
F-6.2	Unterirdische Biomasse von Begrünungen - Literaturoauswertung.....	31
F-6.3	C/N-Verhältnisse von Begrünungen - Literaturoauswertung	32
F-7	Einfluss der Bewässerung auf den Humusgehalt	33
F-8	Schlussfolgerung.....	34
F-9	Literaturverzeichnis	37

Abbildungsverzeichnis

Abb. F-1: Prinzip der Humusbilanzierung.....	9
Abb. F-4: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) auf Standorten in niederschlagsreichen Gebieten im Vergleich zum Trockengebiet (abfrostende und winterharte Begrünungen). Trockengebiet: pannonisches Klima (Standorte in Niederösterreich, Burgenland, Wien und OÖ). Niederschlagsreiche Gebiete: Illyrisches Klima, > 700 mm Jahresniederschlag (Standorte in Steiermark, Kärnten).....	18
Abb. F-5: Vergleich der oberirdischen Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen aus Versuchen von Bio Forschung Austria.....	19
Abb. F-6: Vergleich der oberirdischen Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen auf trockenen und niederschlagsreichen Versuchsstandorten von BFA. Trocken: pannonisches Klima (Standorte in Niederösterreich, Burgenland, Wien). Niederschlagsreich: Illyrisches Klima, > 700 mm Jahresniederschlag (Standorte in Steiermark, Kärnten, Oberösterreich)	20
Abb. F-7: Wurzelbiomasse (kg/ha Trockenmasse) von ausgewählten Varianten aus Versuchen von Bio Forschung Austria (n=30).....	21
Abb. F-8: Wurzelbiomasse und oberirdische Biomasse jeweils in kg/ha TM von abfrostenden Begrünungsmischungen aus den Versuchen von BFA, überwiegend Mischungen mit Leguminosen (Hartl et al, 2020; ergänzt mit weiteren eigenen Daten).....	21
Abb. F-9: C/N-Verhältnis in der oberirdischen Biomasse von Begrünungspflanzenarten	22
Abb. F-10: C/N-Verhältnis in der unterirdischen Biomasse von Begrünungspflanzenarten	23
Abb. F-11: C/N-Verhältnis von allen Begrünungsvarianten aus den Versuchen von Bio Forschung Austria	24
Abb. F-12: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten.....	24
Abb. F-13: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von abfrostenden und winterharten Begrünungen.....	25
Abb. F-14: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von abfrostenden und winterharten Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten	25
Abb. F-15: Gehalte an den Gerüstsubstanzen Lignin, Cellulose und Hemicellulosen (mg/kg TM) in verschiedenen Begrünungspflanzen.....	26
Abb. F-16: Buchweizen: Anteile von Hemicellulose, Cellulose und Lignin an den gesamten Gerüstsubstanzen ..	27
Abb. F-17: Alexandrinerklee: Anteile von Hemicellulose, Cellulose und Lignin an den gesamten Gerüstsubstanzen	27
Abb. F-18: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen, jeweils aus eigenen Daten von BFA und aus Daten aus der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung	29
Abb. F-19: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten, in Ruis et al. (2017) und Poeplau und Don (2015) zitierten Begrünungen	30
Abb. F-20: Wurzelbiomasse (kg/ha TM) von abfrostenden Begrünungen aus eigenen Daten von BFA und aus Daten aus der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung	31

Tabellenverzeichnis

Tab. F-1: Standortspezifische Humifizierungskoeffizienten der Fruchtarten (kg Humus-C/ha und Jahr) nach Kolbe (2007) Quelle: verändert nach Kolbe (2007)	10
Tab. F-2: Reproduktionskoeffizienten des organischen Materials (Quelle: verändert nach Kolbe 2007)	11
Tab. F-3: Humusbilanz-Beispiel mit Koeffizienten der Standortgruppe 5 (z.B. sandiger Lehm)	12
Tab. F-4: Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Früchte (Quelle: VDLUFA, 2014)	12
Tab. F-5: Humusreproduktionsleistung humusmehrender Früchte (VDLUFA, 2014)	13
Tab. F-6: Richtwerte für die Humusreproduktionsleistung ausgewählter organischer Materialien in Humusäquivalenten (Häq) je t Frischmasse (Quelle: VDLUFA, 2014)	13
Tab. F-7: Überblick über Versuchsstandorte und Versuchsvarianten in den Jahren 2004 bis 2019	15
Tab. F-8: Oberirdische Biomasseerträge (kg/ha TM) - Übersicht der Versuchsergebnisse von Bio Forschung Austria	17
Tab. F-9: oberirdische Biomasse und Wurzelbiomasse von allen Varianten und aufgeteilt auf Standorte aus dem Trockengebiet und aus niederschlagsreichen Gebieten	20
Tab. F-10: C/N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse von Begrünungsmischungen	23

F-1 Kurzfassung

Mit Hilfe der Humusbilanzierung können Landwirte selbst berechnen, wie sich ihre Bewirtschaftung auf den Humusgehalt ihrer Böden auswirkt und dementsprechend selbst ihre Bewirtschaftungsweise durch humusmehrende Maßnahmen wie Zufuhr organischer Dünger oder Gründüngung so anpassen, dass sie den Humusgehalt ihrer Böden erhalten oder erhöhen. Um den Beitrag von Begrünungen für die Humusanreicherung besser einschätzen zu können, wurden eigene Versuchsergebnisse von Bio Forschung Austria sowie Literatur ausgewertet. Die eigenen Daten von oberirdischen Begrünungsbiomassen abfrostender Begrünungen zeigten einen Mittelwert von rund 2.350 kg/ha TM, von überwinternden Begrünungen 4.300 kg/ha TM. In der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung wurden bei abfrostenden Begrünungen im Mittel rund 2.100 kg/ha TM angegeben, bei winterharten 4.430 kg/ha TM. Die Wurzelbiomasse lag in den eigenen Versuchen bei abfrostenden Begrünungsmischungen bei 1.690 kg/ha TM. In der älteren Literatur war die Wurzelbiomasse von abfrostenden Begrünungen bei weitem niedriger, im Mittel bei 927 kg/ha TM. Die Menge an Wurzelbiomasse, von der eine Humusbilanzmethode ausgeht, ist deshalb wichtig, weil Begrünungen und deren Wurzeln die mikrobielle Biomasse fördern, welche heute als die wichtigste Quelle für die organische Bodensubstanz angesehen wird. Auch aktuelle Metastudien deuten darauf hin, dass der Beitrag von Begrünungen zur C-Anreicherung eher höher ist als von der Standortangepassten Humusbilanzmethode berechnet. In Summe geben die Ergebnisse Hinweise auf einen punktuellen Überarbeitungsbedarf bei den Humifizierungskoeffizienten von Begrünungen in der Standortangepassten Humusbilanzmethode. Nach Besprechung mit Dr. Kolbe, dem Entwickler der Methode, sind zur Absicherung jedoch noch zusätzliche Auswertungen von neueren Dauerfeldversuchen notwendig. Je länger eine Begrünung am Feld steht, desto mehr oberirdische Biomasse, aber vor allem auch Wurzelmasse kann sie bilden, die für die Humusanreicherung im Boden essenziell ist. Die meisten der positiven Wirkungen von Begrünungen, sowohl für die Humusanreicherung als auch für die Klimawandelanpassung, nehmen mit der Dauer, die eine Begrünung am Feld steht, zu. Deshalb wäre es sinnvoll, die Behaltdauer von Begrünungen im Österreichischen Agrar-Umweltprogramm ÖPUL flexibel zu fördern.

F-2 Abstract

With the help of humus balancing, farmers can calculate for themselves how their cultivation affects the humus content of their soils and accordingly adapt their cultivation methods by means of humus-increasing measures such as the addition of organic fertilisers or cover crops in such a way that they maintain or increase the humus content of their soils. In order to be able to better assess the contribution of cover crops to soil organic carbon storage, Bio Forschung Austria's (BFA's) own results of field trials, together with reports from literature were evaluated. The own data of cover crops' above-ground biomasses of frost-killed cover crops showed an average value of about 2,350 kg/ha DM (dry matter), of winter-hardy cover crops 4,300 kg/ha DM. In the older literature connected with humus balancing, an average of about 2,100 kg/ha DM was given for frost-killed cover crops, and 4,430 kg/ha DM for winter-hardy cover crops. Root biomass was 1,690 kg/ha DM for frost-killed cover crops in BFA's trials. In the older literature, the root biomass of frost-killed cover crops was far lower, averaging 927 kg/ha DM. The amount of root biomass assumed in the data that underlie a humus balance method is important because cover crops and their roots promote microbial biomass, which is now considered the most important source of organic soil matter. Current meta-studies also indicate that the contribution of cover crops to soil organic carbon is rather higher than calculated by the site-adapted humus balance method. Overall, the results indicate a need for revision of the humification coefficients of cover crops in the site-adapted humus balance method in some points. However, after discussion with Dr. Kolbe, the developer of the method, for confirmation additional evaluations of recent continuous field trials are necessary. The longer a cover crop stands in the field, the more above-ground biomass it can form, but also and above, root biomass, which is essential increasing soil organic matter. Most of the positive effects of cover crops, both for soil organic matter and for climate change adaptation, increase with the length of time a cover crop is in the field. Therefore, it would make sense to flexibly support a longer standing period of cover crops in the Austrian agri-environmental program ÖPUL.

F-3 Einleitung

Die Humusbilanzierung ist ein Werkzeug, mit dem Landwirte selbst berechnen können, wie sich ihre Bewirtschaftung auf den Humusgehalt ihrer Böden auswirkt und dementsprechend selbst ihre Fruchtfolge und Bewirtschaftungsweise durch humusmehrende Maßnahmen wie Zufuhr organischer Dünger oder Gründüngung so anpassen können, dass sie den Humusgehalt ihrer Böden erhalten oder erhöhen. Die Standortangepasste Humusbilanzmethode STAND nach Kolbe (Kolbe, 2010) wurde auf einer Datenbasis von 330 Varianten aus Dauerfeldversuchen aus ganz Europa entwickelt und statistisch validiert. In Österreich nutzen über 1.100 TeilnehmerInnen der Humusbilanzseminare von Bio Forschung Austria diese Methode für ihren landwirtschaftlichen Betrieb.

Die Wirkung von Begrünungen auf die Humusanreicherung wird von den Humusbilanzierungsmethoden als eher gering eingeschätzt. Auf manchen Böden wird bei Begrünungen aufgrund der dafür nötigen Bodenbearbeitung und dem Priming-Effekt sogar ein leichter Humusabbau postuliert. Dies könnte damit zusammenhängen, dass den Humifizierungskoeffizienten Daten zugrunde liegen, die Verhältnisse in jahrzehntealten Dauerfeldversuchen abbilden. Der Begrünungsanbau hat sich jedoch in Österreich in den letzten 20 Jahren sehr stark weiterentwickelt. Begrünungsmischungen mit bis zu 15 Arten haben die früher gängigen Senf-Begrünungen abgelöst, und Biomasseerträge von 20 bis 100 t Frischmasse pro Hektar sind üblich geworden (ARGE Begrünung, 2018).

Die organische Substanz des Bodens, der Humus, kann einerseits als Kohlenstoffsénke wirken, andererseits spielt sie über ihre positive Wirkung auf die Bodenstruktur und damit auf die Regenwasserversickerung und -speicherung eine wichtige Rolle in der Klimawandelanpassung. Begrünungen bieten zusätzlich einen Erosionsschutz durch die Bodenbedeckung. Für Landwirte ist eine einfache Methode zur Einschätzung, ob ihre Bewirtschaftung Humus anreichert oder abbaut, wichtig, weil die Veränderung des Humusgehaltes langsam vor sich geht, und schon zu weit fortgeschritten ist, wenn ein Humusabbau aus den Bodenanalysen zweifelsfrei erkennbar ist. Um die richtigen humusmehrenden Maßnahmen setzen zu können, ist es wichtig, zu wissen, wie groß der Beitrag von Begrünungen wirklich ist.

Deshalb sollen im vorliegenden Projekt die Humifizierungskoeffizienten von Begrünungen überprüft werden, um den Beitrag von Begrünungen für die Humusanreicherung besser einschätzen zu können.

Projektziele

Ziel des Projektes ist eine bessere Einschätzung des Beitrags von gegenwärtigen Begrünungen für die Humusanreicherung. Dazu sollen Daten heute gebräuchlicher Begrünungen hinsichtlich Artenzusammensetzung der Begrünungen, Biomassemengen, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Biomassen gesammelt und ausgewertet werden. Darauf aufbauend soll eine Überprüfung und wenn möglich eine Anpassung der Humifizierungskoeffizienten erfolgen, damit die berechneten Humusbilanzen von Fruchtfolgen mit Begrünungen deren tatsächliche Humuswirkung möglichst gut wiedergeben.

F-4 Humusbilanzierung

Das Prinzip der Humusbilanzierung ist, dass dem Humusabbau, der im Laufe einer Fruchtfolge auftritt, die Humuszufuhr im selben Zeitraum gegenübergestellt wird. Für die Humuszufuhr werden Stroh, organische Dünger, Gründüngung und humusmehrnde Kulturen angerechnet.



Abb. F-1: Prinzip der Humusbilanzierung

Das Ergebnis ist der Humussaldo, der zeigt, ob die vorliegende Bewirtschaftung zu einer Anreicherung oder einem Verlust von Humus führt.

F-4.1 Standortangepasste Humusbilanzierungsmethode STAND nach Dr. Hartmut Kolbe

Wie hoch der jährliche Humusabbau ist, hängt nicht nur von den angebauten Feldfrüchten, sondern vor allem vom Boden und Klima am Standort ab (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Deshalb ist es wichtig, dass die gewählte Humusbilanzmethode die Standortunterschiede berücksichtigt. Bio Forschung Austria verwendet die standortangepasste Humusbilanzierungsmethode STAND nach Dr. Kolbe, die sechs verschiedene Standorttypen, die so genannten Standortgruppen, unterscheidet.

Die Einstufung der Böden in die jeweilige Standortgruppe beinhaltet Bodenart, Bodentyp und Durchschnittstemperatur des gewählten Standorts, sowie die Beeinflussung des Bodens durch Grundwasser.

Um die Einstufung der Standortgruppen zu erleichtern, wurde von Bio Forschung Austria (BFA) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Wald (BFW) in der elektronischen Bodenkarte eBod eine Standortgruppenkarte geschaffen. Unter <https://bodenkarte.at/#/d/bfa/l/hb.false.60.kb> sind die Standortgruppen für ganz Österreich frei zugänglich abrufbar.

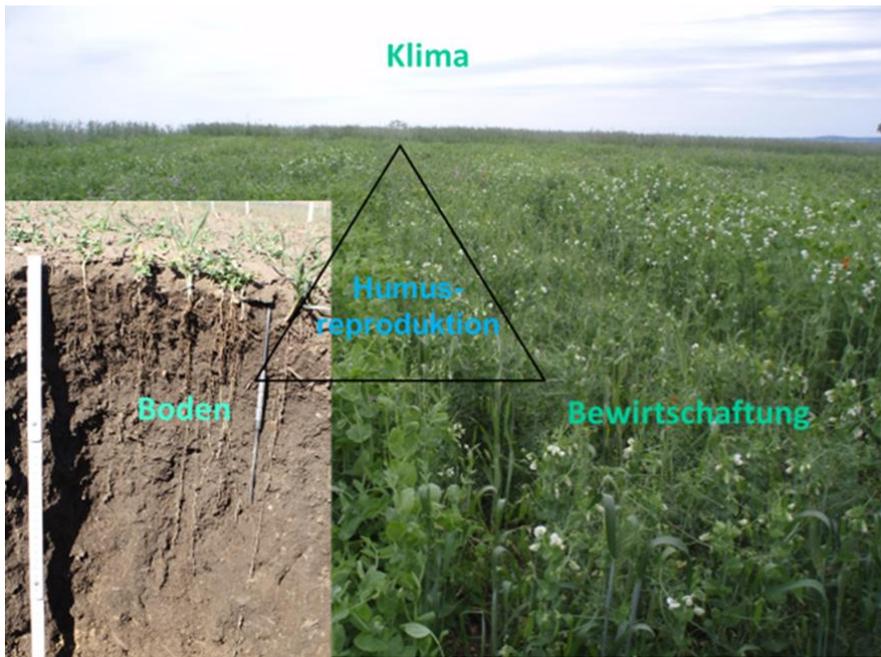


Abb. F-2: Die Einflussfaktoren Klima, Boden und Bewirtschaftung sind für den Humusumsatz entscheidend

Die Humuswirkung der angebauten Fruchtarten wird in Form von Humifizierungskoeffizienten erfasst.

Je nach Standortgruppe variieren die Humifizierungskoeffizienten der verschiedenen Fruchtarten, das heißt Humusanreicherung bzw. Humusabbau bei derselben Feldfrucht sind je nach Standortgruppe unterschiedlich hoch, siehe .

Tab. F-1: Standortsspezifische Humifizierungskoeffizienten der Fruchtarten (kg Humus-C/ha und Jahr) nach Kolbe (2007) Quelle: verändert nach Kolbe (2007)

	Standortgruppe					
	1	2	3	4	5	6
Hauptfruchtarten						
Hackfrüchte: Rüben*, Kartoffeln	-510	-610	-710	-660	-760	-900
Mais: Silo- u. Körnermais*	-310	-410	-510	-460	-560	-700
Getreide*: einschließl. Öl- u. Faserpflanzen, Sonnenblumen	-30	-130	-230	-180	-280	-420
Körnerleguminosen	410	310	210	260	160	20
Mehrj. Feldfutter*						
Ackergras, Leguminosen, Leg.-Gras, Gemenge, Vermehrung						
je Hauptnutzungsjahr	850	750	650	700	600	460
im Ansaatjahr als Frühj.-Blanksaat	650	550	450	500	400	260
bei Gründeckfrucht	550	450	350	400	300	160
als Untersaat	450	350	250	300	200	60
als Sommerblanksaat	350	250	150	200	100	-40
Zwischenfrüchte*						
Winterzwischenfrüchte	370	270	170	220	120	-20
abfrostende Zwischenfrüchte	330	230	130	180	80	-60
Untersaat	450	350	250	300	200	60

* Koppelprodukt (Stroh, Rübenblatt) bzw. Aufwuchs abgefahren

Verbleibt die oberirdische Biomasse von Zwischenfrüchten, Stroh o.ä. am Feld und/oder werden sonstige organische Dünger wie z.B. Stallmist, Kompost, oder Sonstiges ausgebracht, so ist dies ent-

sprechend den Reproduktionskoeffizienten für organische Materialien zu bewerten. Die Humuswirksamkeit der organischen Materialien nimmt mit zunehmender Menge ab, daher wird in 3 Stufen differenziert. Die Auswahl des zutreffenden Koeffizienten erfolgt anhand der durchschnittlichen jährlichen Zufuhrmenge des organischen Materials während ein bis zwei Fruchtfolgen bzw. über einen Zeitraum von 5-10 Jahren.

Tab. F-2: Reproduktionskoeffizienten des organischen Materials (Quelle: verändert nach Kolbe 2007)

Art organisches Material	Jährliche Zufuhrmenge im Durchschnitt der Fruchtfolge (t FM/ha/Jahr)	Reproduktionskoeffizient (kg C/t FM)
Stroh	bis 3	83
	3 - 6	68
	über 6	41
Stallmist	bis 10	33
	10 - 20	26
	über 20	23
Stallmistkompost	bis 10	92
	10 - 20	74
	über 20	58
Gülle, Rind	bis 25	8,6
	über 25	8,1
Gülle, Schwein	bis 25	6,5
	über 25	5,8
Bioabfall-Fertigkompost	bis 10	90
	10 - 20	75
	über 20	60
Gründüngung	bis 10	5,5
	10 - 20	3,2
	über 20	1,0

F-4.1.1 Humusbilanz-Beispiel

Das folgende Fruchtfolge-Beispiel in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, wie eine Humusbilanz mit der standortangepassten Humusbilanzierungsmethode nach Kolbe, berechnet wird. Die Einstufung in die Standortgruppe 5 ergibt sich aufgrund der Bodenart sandiger Lehm und einer Durchschnittstemperatur größer 8,5 Grad Celsius. Jedes Fruchtfolgeglied wird mit dem entsprechenden Humusabbau- bzw. Humusanreicherungs-Wert bewertet. In der Spalte Humusabbau bzw. – anreicherung ist erkennbar, dass die Hackfrüchte wie Mais und Kartoffel die größten Humuszehrer sind. Humusmehrend hingegen wirken die Futter- und Körnerleguminosen sowie die Zwischenfrüchte.

Die oberirdische Biomasse der Futterleguminosen und der Zwischenfrüchte, die am Feld verbleiben, wird, auf der Basis der durchschnittlichen Zufuhrmenge über die Fruchtfolge bewertet, mit dem Koeffizienten von 3,2 kg C/t FM berechnet.

In Summe ergibt die Humuszufuhr durch die organischen Materialien wie Stroh, Aufwuchs der Zwischenfrüchte und Futterleguminosen ein Plus von 2.309 kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar. Über die 8-gliedrige Fruchtfolge ergibt sich ein Humussaldo von +989 kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar. Pro Jahr ergibt es eine durchschnittliche Humus-Zunahme um 124 kg Humus-Kohlenstoff pro Hektar.

Tab. F-3: Humusbilanz-Beispiel mit Koeffizienten der Standortgruppe 5 (z.B. sandiger Lehm)

Jahr	Fruchtfolge	Humusabbau bzw. Humusanreicherung (kg Humus-C/ha)	Zufuhr an organischen Materialien/Düngung	Humuswert der organischen Materialien (kg Humus-C pro Tonne Frischmasse)	Humuszufuhr (kg Humus-C/ha)
1	Futterleguminose (Luzerne/Klee-(gras)	600	75 t/ha FM Aufwuchs	3,2	240
2	Winterweizen	-280	4 t/ha Stroh	83	332
	+ abfrostende Zwischenfrucht	80	25 t/ha FM ZF	3,2	80
3	Körnermais	-560	7 t/ha Stroh	83	581
4	Körner-Leg. (Platterbse/Ackerbohne/S-Wicke)	160			
5	Winterweizen	-280	4 t/ha Stroh	83	332
	+ abfrostende Zwischenfrucht	80	25 t/ha FM ZF	3,2	80
6	Kartoffel	-760			
7	Winterdinkel	-280	4 t/ha Stroh	83	332
8	Winterroggen	-280	4 t/ha Stroh	83	332
	Untersaat Futterleguminose	200			
	Summe	-1320			2309
Humussaldo der Fruchtfolge:		989 kg C/ha			
Humussaldo pro Jahr:		124 kg C/ha/J			

F-4.2.VDLUFA Methode

Der Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) hat 2014 einen Standpunkt Humusbilanzierung, eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland, herausgegeben.

Tab. F-4: Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Früchte (Quelle: VDLUFA, 2014)

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹)		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
Zucker- und Futterrübe ²⁾ , einschließlich Samenträger ²⁾	760	1300	1840
Kartoffel ³⁾ und 1. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	760	1000	1240
Silomais, Körnermais ²⁾ und 2. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	560	800	1040
Getreide (Körnernutzung) ²⁾ , Öl- und Faserpflanzen ²⁾ , Sonnenblumen ²⁾ und 3. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	280	400	520
Empfehlung zur Anwendung der Werte:			
Untere Werte:	Anforderung zum Erhalt der Böden in einem guten Kulturzustand und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Beratungsempfehlung für ertragsschwache Standorte (z. B. grundwasserferne Diluvialstandorte)		
Mittlere Werte:	Beratungsempfehlung zur Förderung der Bodenfunktionen und Aufbau der Bodenfruchtbarkeit bei Reduktion der mineralischen Düngung		
Obere Werte:	Beratungsempfehlung für Böden in schlechtem Kulturzustand (z. B. Rekultivierungsflächen) und Anbausysteme mit hohem Humusbedarf ohne mineralische N-Düngung (z. B. Ökologischer Landbau bei hohem Ertragsniveau)		
Legende			
1)	– siehe Zusatztable		
2)	– Koppelprodukte sind nicht enthalten (Koppelprodukte siehe Tabelle 1)		
3)	– Koppelprodukte sind mit enthalten		

Tab. F-5: Humusreproduktionsleistung humusmehrender Früchte (VDLUFA, 2014)

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹)	
Hauptfrüchte		
Körnerleguminosen allgemein ³⁾	160	
Mehnjähriges Feldfutter	Niedriges Ertragsniveau¹⁾	Hohes Ertragsniveau²⁾
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge, Vermehrung		
• je Hauptnutzungsjahr ⁴⁾	600	800
• im Ansaatjahr		
als Frühjahrsblanksaat	400	500
bei Gründungsfrucht	300	400
als Untersaat	200	300
als Sommerblanksaat	100	150
Zwischenfrüchte (Aufwuchs abgefahren)		
Winterzwischenfrüchte	140	
Stoppelfrüchte	100	
Untersaaten	250	
Brache		
Selbstbegrünung		

Tab. F-6: Richtwerte für die Humusreproduktionsleistung ausgewählter organischer Materialien in Humusäquivalenten (Häq) je t Frischmasse (Quelle: VDLUFA, 2014)

organische Materialien	TM-%	Häq (t FM) ⁻¹
Pflanzenmaterialien		
Stroh	86	100
Gründüngung, Rübenblatt, Marktabfälle, Grünschnitt	10	8
	20	16
Stallmist		
frisch	20	28
	30	40
verrottet (auch Feststoff aus Gülleseparierung)	25	40
	35	56
kompostiert	35	62
	55	96
Gülle		
Schwein	4	4
	8	8
Rind	4	6
	7	9
	10	12
Geflügel (Kot)	15	12
	25	22
	35	30
	45	38
Bioabfall		
nicht verrottet*)	20	30

Die Humusreproduktionsleistung von Zwischenfrüchten in der VDLUFA-Methode ist mit den Koeffizienten von Standortgruppe 5 bei der Methode STAND () zu vergleichen. Sie wird in der VDLUFA-Methode etwas höher bewertet als in der standortangepassten Methode. Bei Methode STAND sind die Koeffizienten von Winterzwischenfrüchten und abfrostenden Zwischenfrüchten um 20 kg Humus C/ha und Jahr niedriger als in der VDLUFA-Methode. In der Methode STAND liegen die Werte von Winterzwischenfrüchten bei 120 kg Humus-C/ha u. Jahr, in der VDLUFA-Methode bei 140 kg Humus-C/ha/J. Jene von abfrostenden Zwischenfrüchten liegen bei 80 bzw. 100 kg Humus-C/ha u. Jahr.

Weiters wird bei der Methode STAND die oberirdische Biomasse, die am Feld verbleibt, mit maximal 5,5 kg C/t FM etwas geringer bewertet als bei VDLUFA mit 8 kg C pro Tonne. Darüber hinaus nimmt bei Methode STAND bei hohen durchschnittlichen Zufuhrmengen die Humuswirkung ab.

F-5 Daten aus eigenen Begrünungsversuchen von Bio Forschung Austria

Bio Forschung Austria führt seit dem Jahr 2004 Begrünungsversuche durch. Von 2004 bis 2011 wurde jährlich ein Begrünungsversuch im Trockengebiet angelegt, in Niederösterreich in den Bezirken Hollabrunn oder Korneuburg (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei wurden verschiedene Bodenbearbeitungsgeräte und Sätechniken zu zumeist 2 Anbauterminen mit verschiedenen Begrünungsmischungen getestet. Es gab Mischungen mit Leguminosen und leguminosenfreie Mischungen. Als Vergleich wurde meistens Senf in Reinsaat angebaut. Bei den Feldtagen im Spätherbst wurden u.a. Ergebnisse zu Biomassemengen, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Biomasse präsentiert.

Tab. F-7: Überblick über Versuchsstandorte und Versuchsvarianten in den Jahren 2004 bis 2019

Jahr	Versuchsstandorte	Anzahl Versuchsvarianten
2004	Bergau (NÖ)	24
2005	Dietersdorf und Senning (NÖ)	22
2006	Kleedorf (NÖ)	17
2007	Herzogbirbaum 2 Standorte (NÖ)	23
2008	Altenmarkt (NÖ)	17
2009	Absdorf (NÖ)	26
2010	Stockerau (NÖ)	31
2011	Stockerau (NÖ)	28
2015	Senning (NÖ)	1
2017	Senning (NÖ), Wallern (Bgld.), Ilz (Stmk.), Wels (OÖ), Kappel (Ktn.), Wien	68
2018	Senning (NÖ), Wallern (Bgld.), Ilz (Stmk.), Wels (OÖ), Kappel (Ktn.), Wien	62
2019	Senning (NÖ), Wallern (Bgld.), Ilz (Stmk.), Wels (OÖ), Kappel (Ktn.), Wien	64

Im Jahr 2015 wurden verschiedene Verfahren des Begrünungsmanagements im Winter bzw. im Frühjahr des Folgejahres untersucht. Zusätzlich wurden in einigen Jahren vereinzelt Begrünungsmischungen von Landwirt*innen auf Biomasseertrag und C/N -Gehalt untersucht.

In jedem der Versuchsjahre 2017 bis 2019 wurden auf den Standorten in Senning, Niederösterreich, in Wallern, Burgenland, in Ilz, Steiermark, in Wels, Oberösterreich, in Kappel, Kärnten und in Wien sechs praxisgerechte Versuche angelegt. Untersucht wurden unter anderem standortspezifische Mischungen, Saatstärken, Mechanisierungen und Anbauzeitpunkte. In diesen Versuchen wurde neben abfrostenden Begrünungsmischungen auch Mischungen mit winterharten Komponenten angebaut.

In den Versuchen wurden unter anderem folgende Begrünungsmischungen angebaut:

Abfrostende Begrünungsmischungen mit Leguminosen:

Mischung 1: Buchweizen, Platterbse, Ackerbohne, Sommerwicke, Alexandrinerklee, Leindotter, Phacelia

Mischung 2: Platterbse, Ackerbohne, Sommerwicke, Sandhafer, Ölrettich, Phacelia, Leindotter, Perserklee, Kresse

sowie zahlreiche Abwandlungen dieser beiden Mischungen.

3. Leguminosenmischung mit großkörnigem Saatgut: Saatplatterbse, Futtererbse, Sommer- bzw. Saatwicke, Ackerbohne.

4. Kostengünstige Mischung mit vorwiegend feinkörnigem Saatgut: Ölrettich, Senf, Alexandrinerklee, Phacelia, Kresse, Linse

5. Leguminosendominierte Mischung: Ackerbohne, Sommerwicke, Futtererbse und Pigmentplatterbse, Alexandriner-, Krumen- und Perserklee, Phacelia, Kresse

6. Mischung für Böden mit niedrigem pH-Wert: Süßlupine blau, Futtererbse, Ackerbohne, Sommerwicke

Mischung 7: Felderbse, Sommerwicke, Lupine, Alexandrinerklee, Rauhafer, Phacelia, Ramtillkraut

Mischung 8: Ackerbohne, Futtererbse, Sommerwicke, Süßlupine, Alexandriner- und Inkarnatklee, Gelbsenf, Phacelia

Mischung 9: Sommerwicke, Saflor, Öllein, Abessinischer Meerkohl, Alexandrinerklee, Sorghum, Ramtillkraut

10. Kleebetonte-Mischung: Alexandrinerklee, Krumenklee, Perserklee, Phacelia, Kresse

Abfrostende Begrünungsmischung ohne Leguminosen

Leguminosenfreie Mischung: Hafer, Ölrettich, Kresse, Leindotter, Phacelia, Gelbsenf

Begrünungsmischungen mit teilweise winterharten Komponenten

Mischung 1: Pannonische Winterwicke, Waldstaudenroggen, Inkarnatklee, Ölrettich, Meliorisationsrettich

Mischung 2: Felderbse, Winterwicke, Inkarnatklee, Alexandrinerklee, Sparriger Klee, Schwedenklee, Winterroggen, Sorghum, Winterfutterraps, Ramtillkraut, Phacelia, Öllein, Leindotter, Sonnenblume, Abessinischer Senf

F-5.4 Daten oberirdische Biomasse

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die Erträge der oberirdischen Biomasse (kg/ha TM) aus den Versuchen von Bio Forschung Austria zusammengefasst dargestellt. Die Ergebnisse der oberirdischen Biomasse wurden im Folgenden aufgeteilt nach Trockengebiet und Standorte in niederschlagsreichen Gebieten, abfrostende und winterharte Begrünungen, sowie abfrostende und winterharte Varianten im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten dargestellt. Zum „Trockengebiet“ zählen Versuchsstandorte mit pannonischem Klima in Niederösterreich, Burgenland und Wien. Zu den „niederschlagsreichen Gebieten“ zählen Standorte in der Steiermark und Kärnten im illyrischen Klima mit > 700 mm durchschnittlichem Jahresniederschlag. Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen Kategorien beschrieben.

Tab. F-8: Oberirdische Biomasseerträge (kg/ha TM) - Übersicht der Versuchsergebnisse von Bio Forschung Austria

	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Anzahl (n)
alle Begrünungen	2534	2223	1469	350
im Trockengebiet	2280	2087	1297	270
in niederschlagsreichen Gebieten	3392	3371	1686	80
Abfrostende	2339	2117	1309	315
Winterharte	4293	4099	1675	35
Abfrostende im Trockengebiet	2091	1959	1090	247
Abfrostende niederschlagsreich	3236	3300	1618	68
Winterharte im Trockengebiet	4300	4099	1615	28
Winterharte niederschlagsreich	4279	4092	1859	12

Alle Begrünungen

Die Begrünungsversuche von Bio Forschung Austria umfassen insgesamt die Biomasseerträge von 350 Varianten in 12 Versuchsjahren. Der Mittelwert der Biomasseerträge liegt bei über 2500 kg/ha. Die deutliche Streuung der Ergebnisse zeigt sich auch in der Standardabweichung von knapp 1500 kg/ha Trockenmasse (TM).

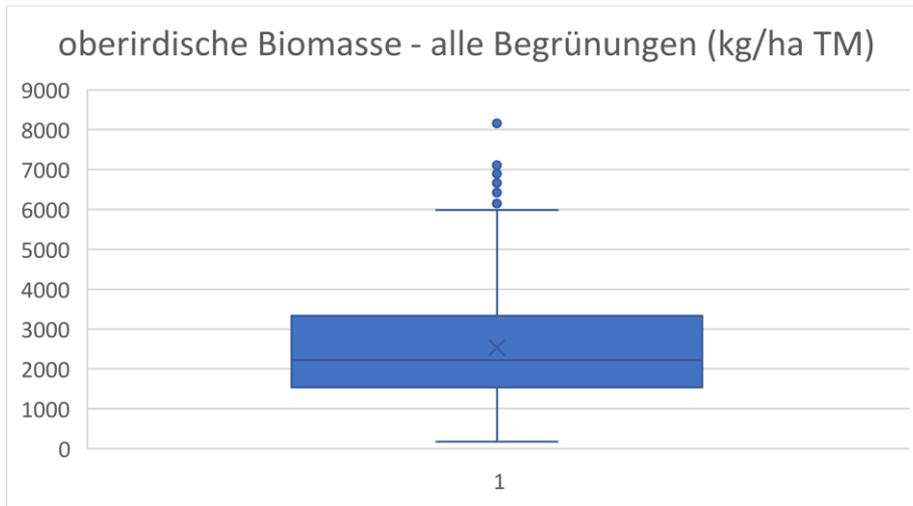


Abb. F-3: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) von allen Begrünungen in Versuchen von BFA in den 12 Versuchsjahren

Vergleich Trockengebiet - niederschlagsreiche Gebiete

Mit 270 Varianten wurden die meisten Begrünungsversuche im Trockengebiet, auf Versuchsstandorten im Osten Österreichs, angelegt. Dabei lag der Mittelwert der Biomasseerträge bei etwa 2.300 kg/ha Trockenmasse. Der Median lag bei knapp 2.100 kg/ha.

Auf Standorten in der Steiermark, in Oberösterreich und in Kärnten mit über 700 mm Jahresniederschlag wurden im Mittelwert deutlich höhere Biomasseerträge von über 3.400 kg/ha TM erzielt.

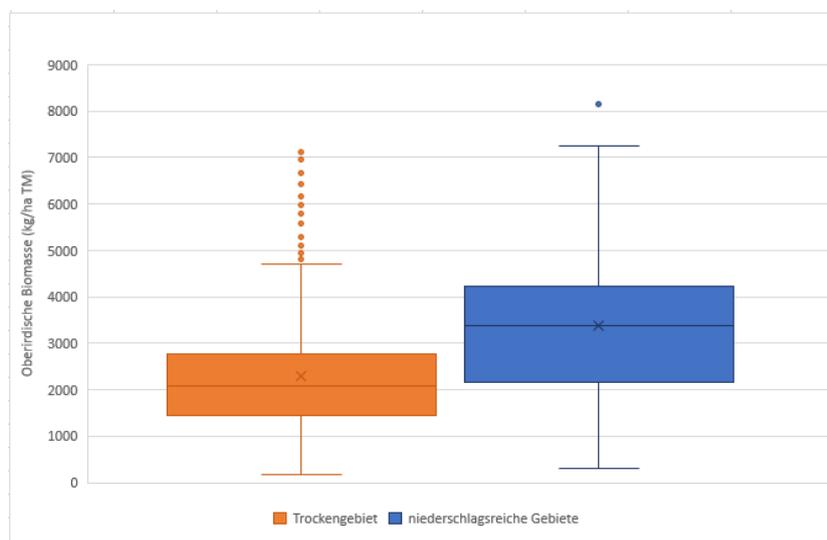


Abb. F-4: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) auf Standorten in niederschlagsreichen Gebieten im Vergleich zum Trockengebiet (abfrostende und winterharte Begrünungen). Trockengebiet: pannonisches Klima (Standorte in Niederösterreich, Burgenland, Wien und OÖ). Niederschlagsreiche Gebiete: Illyrisches Klima, > 700 mm Jahresniederschlag (Standorte in Steiermark, Kärnten)

Vergleich abfrostende und winterharte Varianten

Von abfrostenden Begrünungen gibt es insgesamt 315 Datensätze von Biomasseerträgen mit einem Mittelwert von 2.339 kg/ha Trockenmasse. Die höheren Erträge wurden vor allem auf den Standorten mit höheren Niederschlägen erzielt.

Die winterharten Begrünungsmischungen wurden in den Jahren 2017 bis 2019 angebaut. Diese Varianten wurden gleichzeitig wie die abfrostenden Begrünungen angebaut. Die winterharten Begrünungen wurden im darauffolgenden Frühjahr beerntet und so die Biomasse nach dem Winter ermittelt.

Aufgrund der deutlich längeren Vegetationsperiode erzielten die insgesamt 35 winterharten Varianten einen Mittelwert von knapp 4.300 kg/ha an oberirdischer Biomasse erzielt werden. Der Median lag bei knapp 4.100 kg/ha. Im Vergleich dazu lag der Mittelwert bei den abfrostenden Begrünungen bei 2.339 kg/ha.

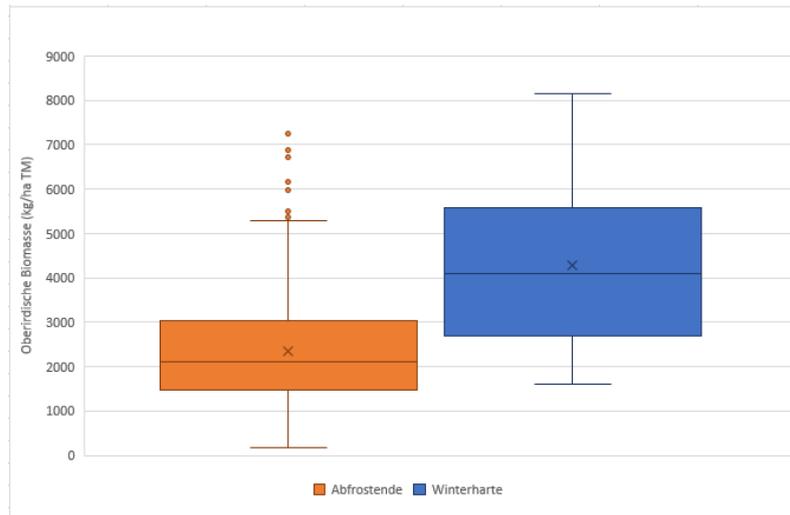


Abb. F-5: Vergleich der oberirdischen Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen aus Versuchen von Bio Forschung Austria

Vergleicht man die Biomasse der abfrostenden Begrünungen aus den Jahren 2017 bis 2019, so ergibt sich bei 124 Varianten im Mittelwert ein Ertrag von knapp 3100 kg/ha. Der Median lag bei etwa 2.600 kg/ha. Der höhere Ertrag ergibt sich auch daraus, dass von 2017 bis 2019 Versuche auch auf niederschlagsreicheren Standorten angelegt wurden. Auf diesen Versuchsstandorten wurden auch höhere Erträge erzielt im Vergleich zu den Standorten im Trockengebiet, wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ersichtlich.

Im Trockengebiet – an den Versuchsstandorten in Niederösterreich, Burgenland und Wien – wurden bei 247 Datensätzen von abfrostenden Begrünungen ein Mittelwert von 2.091 kg/ha TM an Begrünungsbiomasse erzielt. Der Median lag bei knapp 1.960 kg/ha.

Auf den niederschlagsreichen Standorten mit illyrischem Klima in der Steiermark und Kärnten lag der Mittelwert bei 3.236 kg/ha Trockenmasse (n=68). Der Median lag bei 3.300 kg/ha TM.

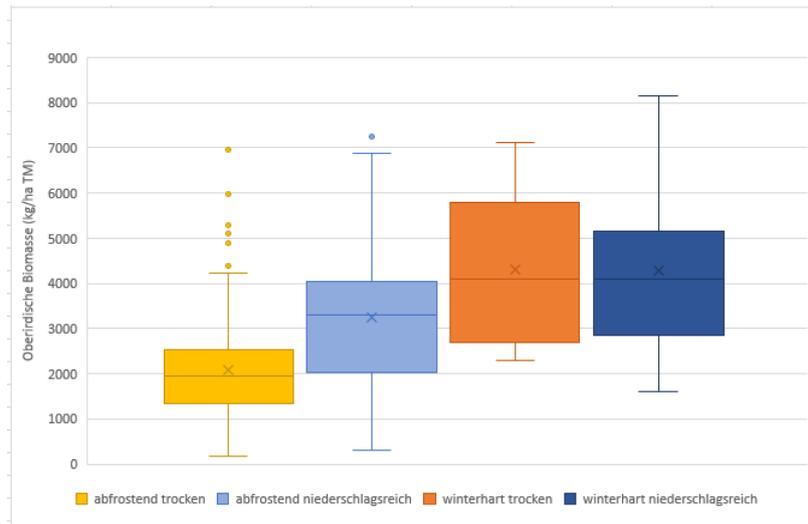


Abb. F-6: Vergleich der oberirdischen Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen auf trockenen und niederschlagsreichen Versuchsstandorten von BFA. Trocken: pannonisches Klima (Standorte in Niederösterreich, Burgenland, Wien). Niederschlagsreich: Illyrisches Klima, > 700 mm Jahresniederschlag (Standorte in Steiermark, Kärnten, Oberösterreich)

F-5.4 Daten unterirdische Biomasse

In den Versuchsjahren seit 2008 wurden zusätzlich auch Wurzelbeprobungen an insgesamt 30 ausgewählten Varianten durchgeführt. Je nach Tiefgründigkeit des durchwurzelbaren Bodens erfolgten die Beprobungen bis auf eine Tiefe von 90 bis max. 120 cm Tiefe. Die größte Wurzelmenge wurde häufig, mit Ausnahme von trockenen Jahren, in den obersten 40 cm gefunden. Bei den 29 abfrostenden Varianten, dies waren zum größten Teil Begrünungsmischungen mit Leguminosen, wurde im Mittelwert eine Wurzelbiomasse von 1.661 kg/ha TM gemessen. Der Median lag bei 1.090 kg/ha. Die Spannweite reichte von knapp 500 kg/ha bis fast 5.000 kg/ha TM.

Es wurde nur eine winterharte Begrünung (Mischung mit Leguminosen) beprobt, die eine Wurzelbiomasse von über 2.500 kg/ha TM aufwies.

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die Versuchsergebnisse der oberirdischen Biomasse und der dazugehörigen Wurzelbiomasse dargestellt. Zusätzlich erfolgte die Aufteilung der Ergebnisse nach Standorten im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten.

Tab. F-9: oberirdische Biomasse und Wurzelbiomasse von allen Varianten und aufgeteilt auf Standorte aus dem Trockengebiet und aus niederschlagsreichen Gebieten

		Oberirdische Biomasse (kg/ha TM)	Wurzelbiomasse (kg/ha TM)
Alle Varianten (n=30)	Mittelwert	2 997	1 690
	Median	2 784	1 135
	Standardabweichung	1 361	1 154
Varianten aus Gebieten mit Jahres-	Mittelwert	2 679	1 813
	Median	2 567	1 180

niederschlags- summe < 700 mm (n=23)	Standardabweichung	1 047	1 229
Varianten aus Gebieten mit Jahresniederschlags- summe > 700 mm (n=7)	Mittelwert	4 040	1 286
	Median	3 369	1 026
	Standardabweichung	1 812	810

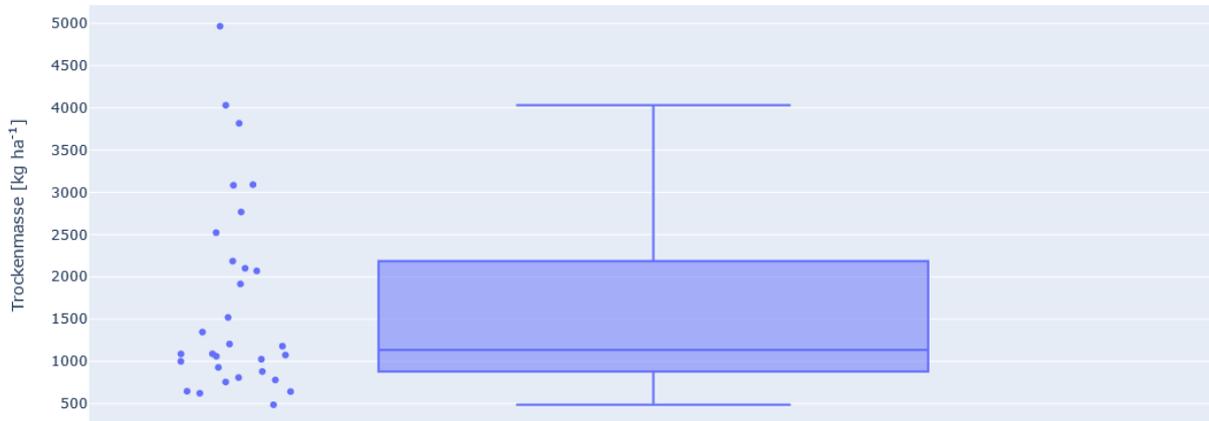


Abb. F-7: Wurzelbiomasse (kg/ha Trockenmasse) von ausgewählten Varianten aus Versuchen von Bio Forschung Austria (n=30)

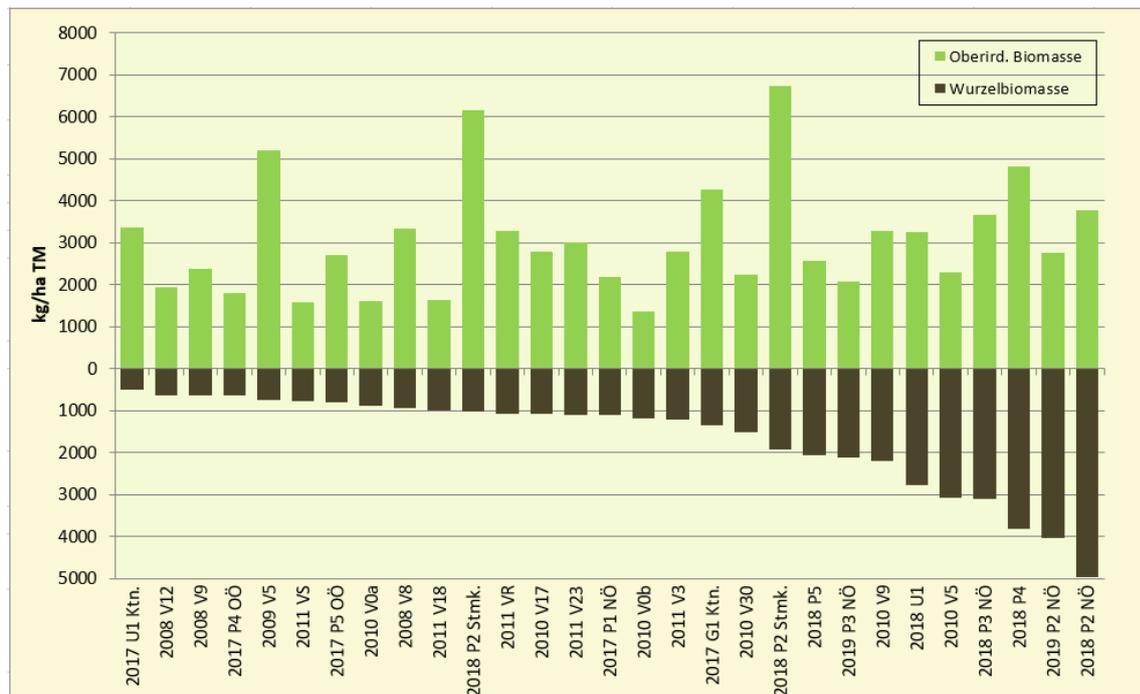


Abb. F-8: Wurzelbiomasse und oberirdische Biomasse jeweils in kg/ha TM von abfrostandenen Begrünungsmischungen aus den Versuchen von BFA, überwiegend Mischungen mit Leguminosen (Hartl et al, 2020; ergänzt mit weiteren eigenen Daten)

F-5.3 C/N-Verhältnis

C/N-Verhältnis von Begrünungspflanzenarten

Das C/N-Verhältnis ist das Verhältnis zwischen dem Kohlenstoff- und dem Stickstoffgehalt in der Pflanzenbiomasse. Ist das C/N-Verhältnis weit, wie bei Stroh mit einem C/N-Verhältnis von etwa 80, dauert es lange, bis das Material von den Bodenmikroorganismen abgebaut wird. Das C/N-Verhältnis ist von der Pflanzenart abhängig. Leguminosen haben niedrigere C/N-Verhältnisse, zwischen 11 und 15:1, als z.B. Gräser mit C/N-Verhältnissen bis über 30:1. Im Normalfall steigt das C/N-Verhältnis mit dem Alter der Pflanze an. Je höher das Verhältnis, umso weniger Stickstoff und umso mehr Kohlenstoff enthält die Pflanze. Die chemischen Verbindungen werden stabiler, die Abbaugeschwindigkeit verringert sich (Erhart et al., 2019).

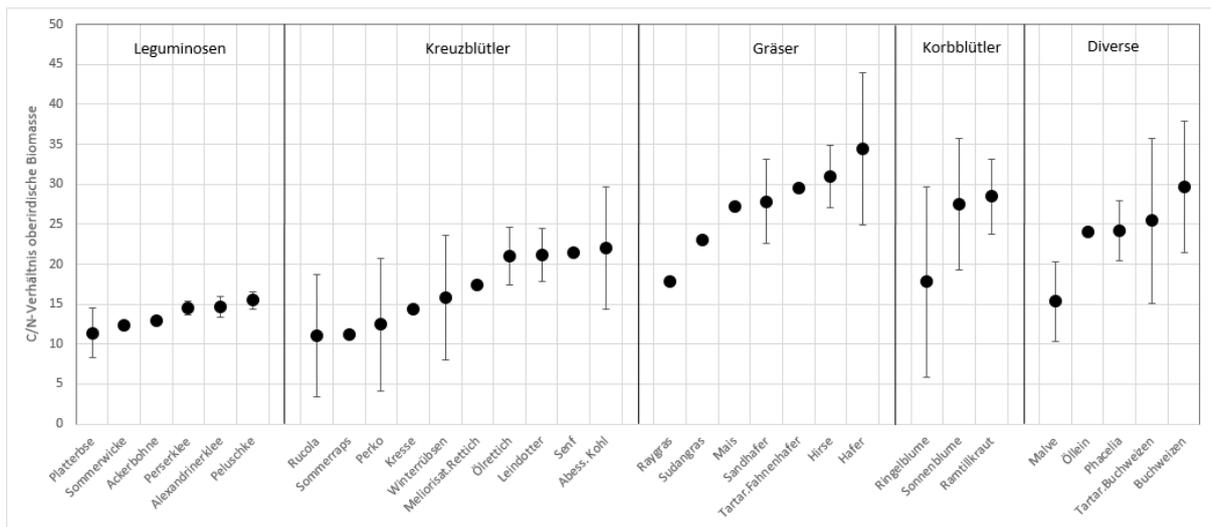


Abb. F-9: C/N-Verhältnis in der oberirdischen Biomasse von Begrünungspflanzenarten

Die C/N-Verhältnisse in der unterirdischen Biomasse waren mit Ausnahme der Leguminosen bei allen beprobten Begrünungspflanzen deutlich weiter als die der oberirdischen Biomasse. Bei den Nichtleguminosen erreichte das C/N-Verhältnis in der unterirdischen Biomasse Werte zwischen 15 und 65 und war damit 1,2-mal bis 2,4-mal so weit wie in der oberirdischen Biomasse. Bei den Leguminosen lag das C/N-Verhältnis unterirdisch zwischen 11,5 und 16,8 und unterschied sich damit kaum von dem der oberirdischen Biomasse. Die unterirdische Biomasse von Leguminosen ist damit genauso schnell abbaubar, wie die oberirdische, während die unterirdische Biomasse von Nichtleguminosen wesentlich abbauresistenter ist als deren oberirdischer Aufwuchs.

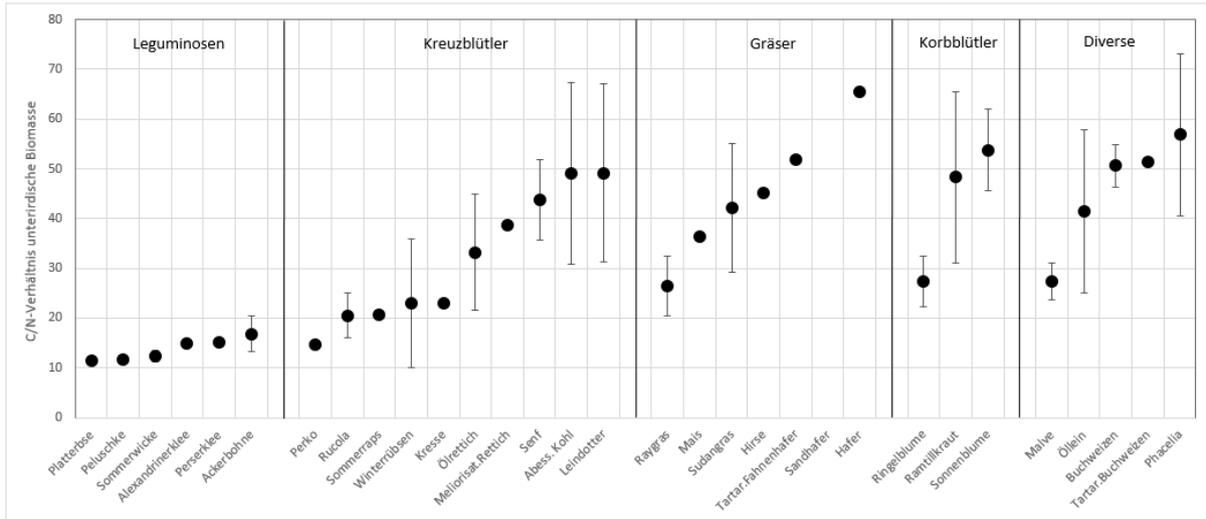


Abb. F-10: C/N-Verhältnis in der unterirdischen Biomasse von Begrünungspflanzenarten

C/N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse von Begrünungsmischungen

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. ist das C/N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse je Begrünungsvariante von den Versuchen der Bio Forschung Austria zusammengefasst dargestellt. Die Ergebnisse des C/N-Verhältnisses wurden auch aufgeteilt nach Trockengebiet und Standorte in niederschlagsreichen Gebieten, abfrostende und winterharte Begrünungen, sowie abfrostende und winterharte Varianten im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten. Zum „Trockengebiet“ zählen Versuchsstandorte mit pannonischem Klima in Niederösterreich, Burgenland, Wien. Zu den „niederschlagsreichen Gebieten“ zählen jene Standorte in der Steiermark, OÖ und Kärnten im illyrischen Klima, mit > 700 mm durchschnittlicher Jahresniederschlagsmenge. Folgend werden die Ergebnisse der verschiedenen Kategorien beschrieben.

Tab. F-10: C/N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse von Begrünungsmischungen

Varianten	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Anzahl (n)
alle Begrünungen	18,7	18,3	5,6	309
Im Trockengebiet	17,6	17,4	5,2	150
niederschlagsreiche Gebiete	19,8	18,7	5,8	159
Abfrostende	17,0	16,7	4,8	204
Winterharte	22,1	22,0	5,6	105
Abfrostende im Trockengebiet	15,7	15,1	4,9	85
Abfrostende niederschlagsreich	18,0	17,6	4,5	120
Winterharte im Trockengebiet	20,3	21,0	4,6	66
Winterhart niederschlagsreich	25,1	25,8	5,9	39

Bei über 300 Varianten lag das C/N-Verhältnis pro Parzelle im Mittelwert bei 18,7. Dieses C/N-Verhältnis spiegelt den höheren Anteil an Leguminosen und Kreuzblütlern in den Mischungen wider im Vergleich zu Gräsern mit geringeren Anteilen. Gräser weisen meisten etwas höhere C/N-Verhältnisse bis über 30:1 auf.

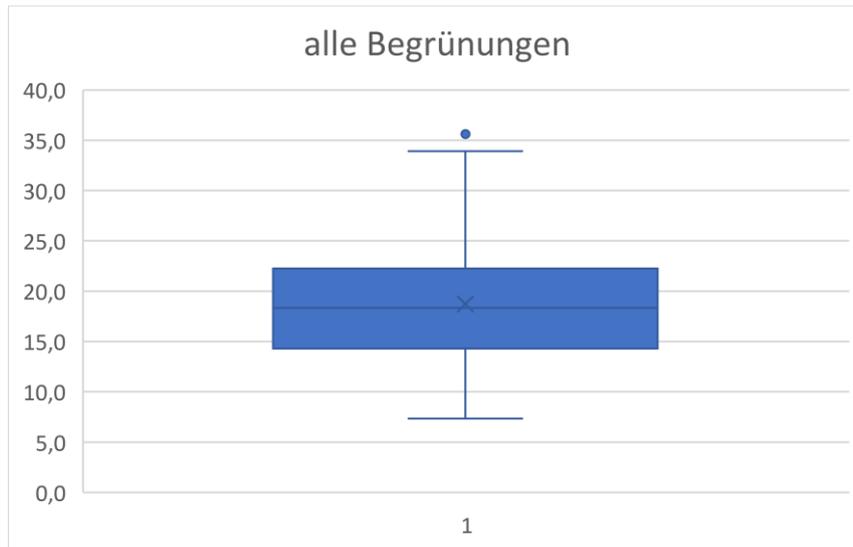


Abb. F-11: C/N-Verhältnis von allen Begrünungsvarianten aus den Versuchen von Bio Forschung Austria

Vergleicht man die C/N-Verhältnisse von allen Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten so sind bei ähnlich hohen Stichprobenanzahl von 159 bzw. 150 die Unterschiede eher gering. Auf den Standorten im Trockengebiet waren Mittelwert und Median annähernd gleich, bei 17,6 bzw. 17,4. In den niederschlagsreichen Gebieten lag der Mittelwert mit einem C/N-Verhältnis von 19,8 etwas höher. Der Median lag bei 18,7.

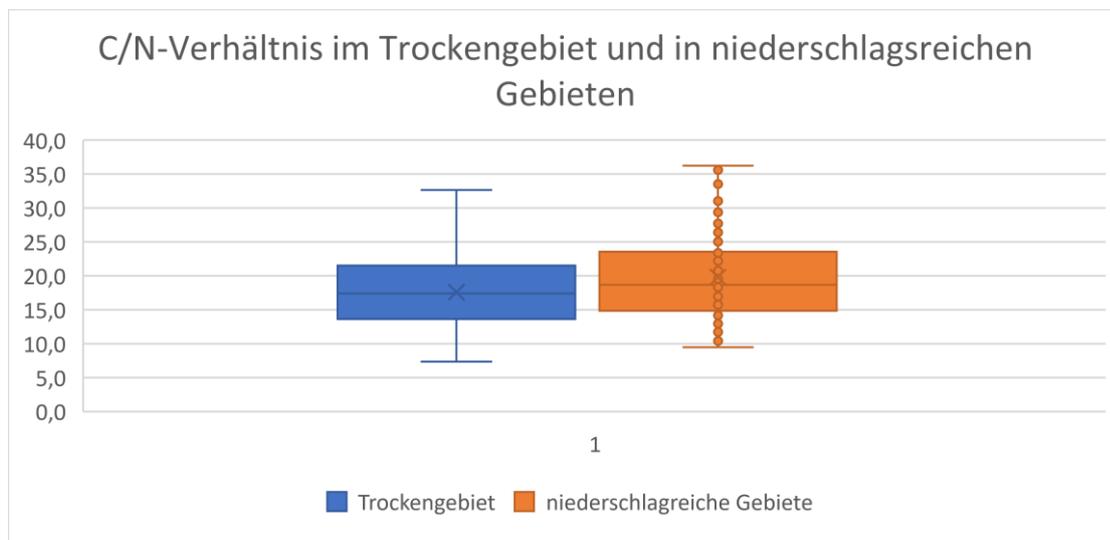


Abb. F-12: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten

Die oberirdische Biomasse von winterharten Begrünungen hat ein C/N-Verhältnis von durchschnittlich 22,1. Bei den abfrostenden Begrünungsmischungen lag das C/N-Verhältnis niedriger, im Mittelwert bei 17. Ein Grund dafür ist die längere Vegetationsperiode, da im Normalfall das C/N-Verhältnis mit dem Alter der Pflanze ansteigt.

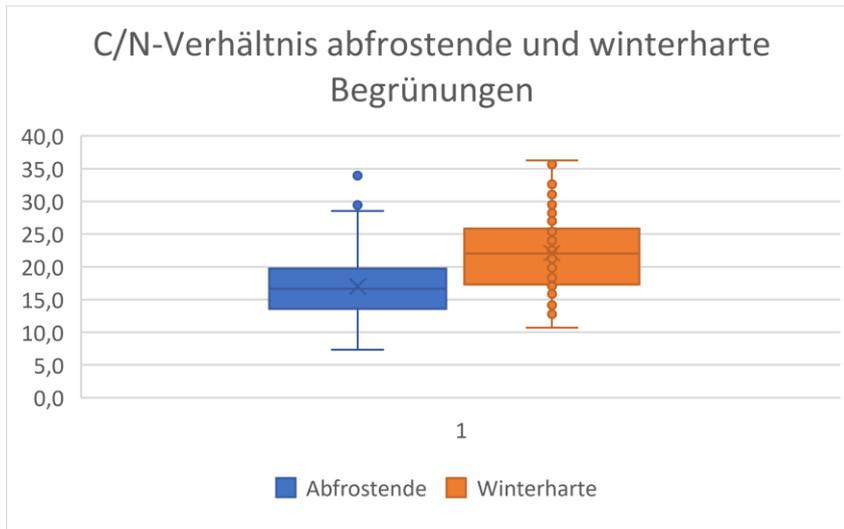


Abb. F-13: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von abfrostenden und winterharten Begrünungen

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. wird das C/N-Verhältnis der Biomasse von abfrostenden Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten sowie winterharte Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten gegenübergestellt.

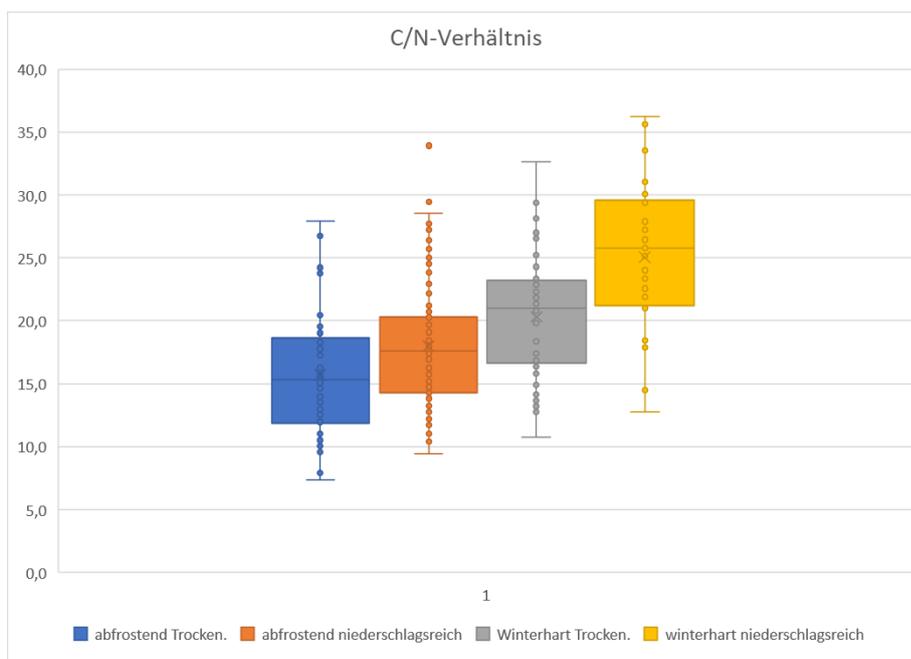


Abb. F-14: C/N-Verhältnis oberirdischer Biomasse von abfrostenden und winterharten Begrünungen im Trockengebiet und in niederschlagsreichen Gebieten

Das C/N-Verhältnis der Begrünungen war in den niederschlagsreichen Gebieten im Vergleich zu den Varianten im Trockengebiet etwas höher. So lag das C/N-Verhältnis bei den abfrostenden Varianten im niederschlagsreichen Gebiet bei 18. Im Trockengebiet lag das C/N-Verhältnis niedriger, der Mittelwert bei 15,7 und der Median bei 15,1.

Auch bei den winterharten Varianten wurden im Trockengebiet mit einem Mittelwert von 20,3 niedrigere C/N-Werte vorgefunden als bei den Varianten in niederschlagsreichen Gebieten mit einem Mittelwert von 25,1.

F-5.4 Gehalte an Gerüstsubstanzen

Die Gehalte verschiedener Begrünungspflanzenarten wurden anhand eines eigenen Datensatzes von 17 Pflanzenarten ausgewertet. Die Beprobung der Begrünungspflanzen erfolgte jeweils im Herbst.

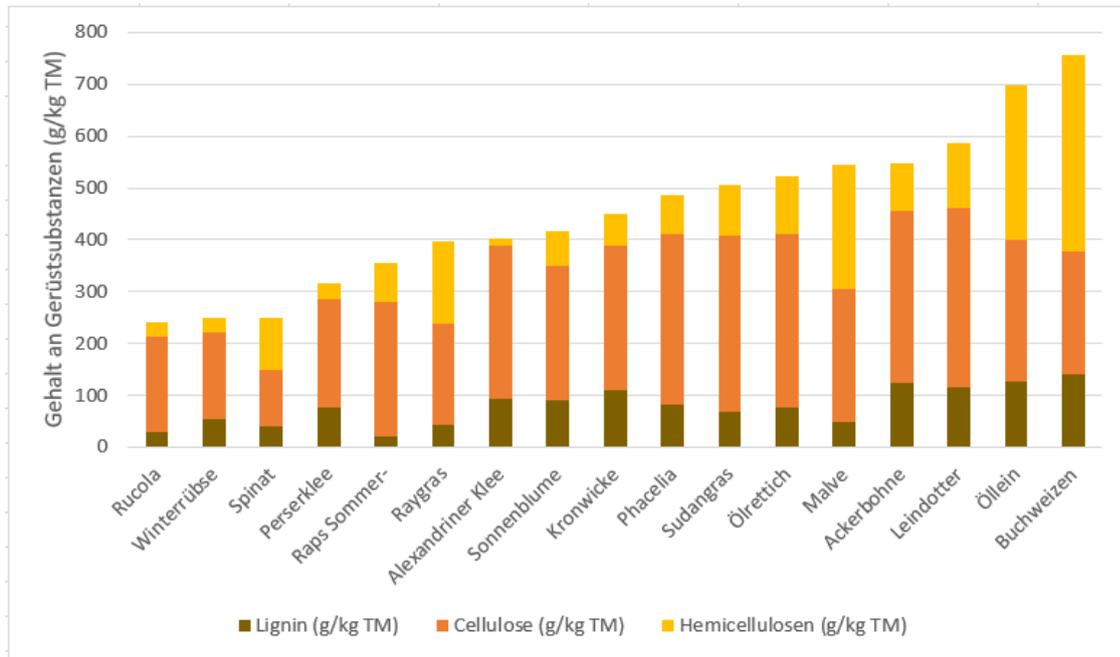


Abb. F-15: Gehalte an den Gerüstsubstanzen Lignin, Cellulose und Hemicellulose (mg/kg TM) in verschiedenen Begrünungspflanzen

Die Gesamtgehalte an Gerüstsubstanzen lagen zwischen 241 und 757 g/kg TM. Im Herbst beprobte Winterrüben, Rucola und Spinat wiesen die geringsten Gerüstsubstanzen-Gehalte auf, Öllein und Buchweizen die höchsten.

Buchweizen verzeichnete sowohl den höchsten absoluten Gehalt an Hemicellulose als auch mit 50 % den höchsten Hemicellulose-Anteil an den gesamten Gerüstsubstanzen. Der geringste Hemicellulose-Gehalt (13 %) und -Anteil (3%) wurde bei Alexandrinerklee gemessen.

Die Cellulosegehalte lagen zwischen 109 und 345 g/kg TM. Die geringsten Celluloseanteile wiesen Buchweizen und Öllein auf, die höchsten Sommerraps, Alexandrinerklee und Rucola.

Der geringste Ligningehalt mit 22 g/kg TM wurde bei Sommerraps gemessen, die höchsten Ligningehalte, über 100 g/kg TM, hatten Leindotter, Ackerbohne, Öllein und Buchweizen.

Im Vergleich dazu ermittelten Duval et al. (2016) bei überwinterten Begrünungen (Winterwicke, Hafer, Weizen, Mischung Wicke+Hafer), die im Frühjahr beprobt wurden, Gerüstsubstanzen-Gesamtgehalte zwischen 495 und 689 g/kg, mit Ligningehalten zwischen 42 und 64 g/kg.

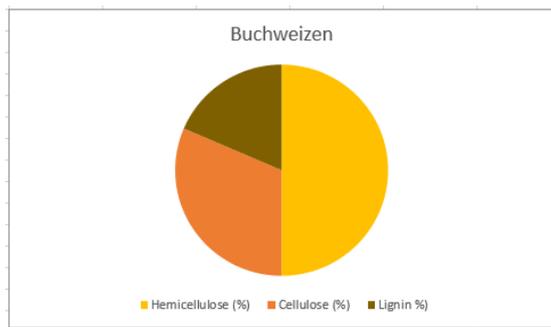


Abb. F-16: Buchweizen: Anteile von Hemicellulose, Cellulose und Lignin an den gesamten Gerüstsubstanzen

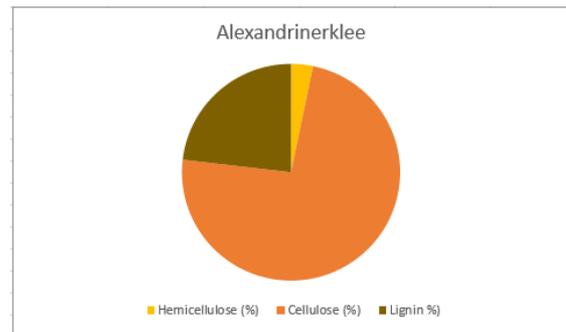


Abb. F-17: Alexandrinerklee: Anteile von Hemicellulose, Cellulose und Lignin an den gesamten Gerüstsubstanzen

F-6 Daten aus der Literatur

F-6.1 Oberirdische Biomasse von Begrünungen - Literaturlauswertung

Die in den eigenen Versuchen gemessenen Biomassemengen stimmen gut mit Werten aus anderen österreichischen Begrünungsversuchen überein. Zum Beispiel wurden auf den Versuchen der LFS Obersiebenbrunn im niederösterreichischen Trockengebiet in den Jahren 2015-2020 im Mittel oberirdische Biomassen von rund 2.450 kg TM /ha gemessen (Kastelliz, 2015, 2016, 2019, 2020). Die geringste Biomasse wurde bei Saatplatterbse 2015 mit 570 kg TM/ha gemessen, die höchste Biomasse bei Ölrettich Sorte Apollo 2015 mit 7.990 kg TM/ha. Bei den 49 Versuchsvarianten handelte es sich um Bestände einzelner Begrünungspflanzenarten, nicht um Begrünungsmischungen.

Bodner (2012) erzielte in Versuchen mit Reinbeständen von Phacelia, Wicke, Roggen, Senf, Lein und Platterbse im niederösterreichischen Trockengebiet oberirdische Biomassen zwischen 700 und 4.800 kg/ha (TM).

Auf den Versuchen der Boden.Wasser.Schutz.Beratung wurden unter den niederschlagsreicheren oberösterreichischen Bedingungen oberirdischen Biomassen von rund 3.000 kg TM/ha verzeichnet (OÖ Wasserschutzberatung, 2010 u. 2011). Mit Mischungen wurden im Durchschnitt höhere Biomasseerträge erzielt als mit Reinsaaten.

Eine Auswertung im Rahmen der ÖPUL-Evaluierung (wpa, 2009) zeigte oberirdische Biomasseerträge (TM) von Begrünungs-Reinsaaten mit einem Anbautermin im Juli zwischen 2.000 und 4.000 kg/ha, mit Extremwerten bei Sudangras (6.200 kg/ha) und Biomassehirse (7.500 kg/ha).

Begrünungsmischungen erzielen im Durchschnitt höhere Frisch- und Trockenmasseerträge als Reinsaaten einzelner Begrünungspflanzenarten. Dies hängt mit einer besseren Ausnützung von Licht, Wasser, Nährstoffen, etc. durch die Mischungen zusammen. Auch kann in Mischungen eine schlechtere Entwicklung eines Mischungspartners durch die bessere Entwicklung eines anderen ausgeglichen werden.

In der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung (Kolbe et al., 2004; Schmidt, 1997; Schweiger, 2004; Vetter, 1955) wurden bei abfrostenden Begrünungen Biomassemengen zwischen 280 kg/ha und 7.510 kg/ha TM gemessen, im Mittel rund 2.100 kg/ha TM (Median = 1.500 kg/ha TM, n=28). Bei winterharten Begrünungen lag der Mittelwert bei 4.430 kg/ha TM (Median = 4.710 kg/ha TM, n=7), mit einer Spanne zwischen 2.150 kg/ha und 6.410 kg/ha TM.

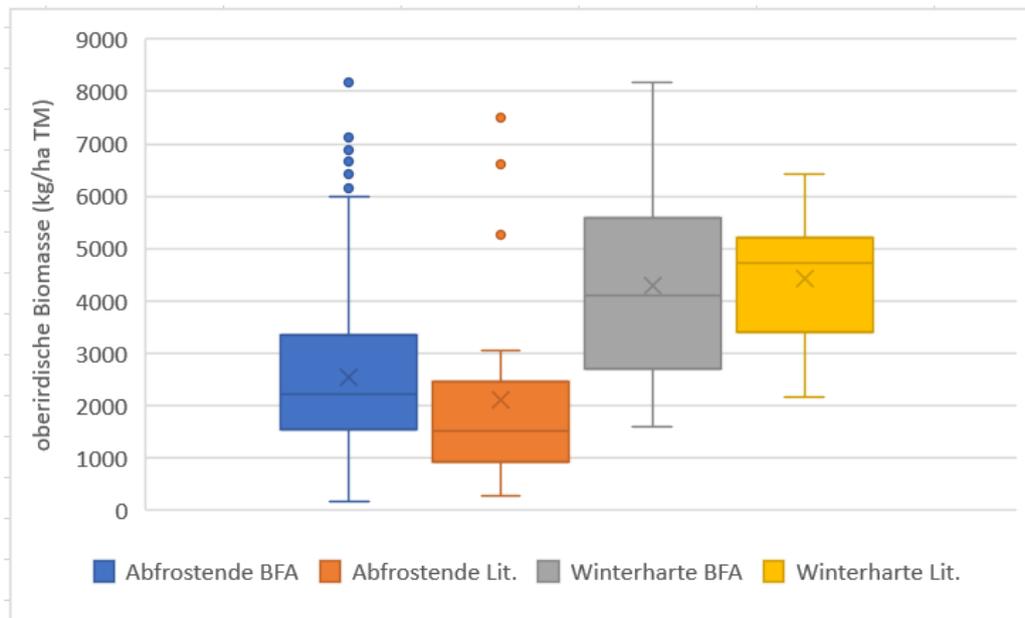


Abb. F-18: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten Begrünungen, jeweils aus eigenen Daten von BFA und aus Daten aus der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung

Zusätzlich wurde aus der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung auch Daten von im Frühjahr angebaute Leguminosen ausgewertet, die nach einer Wachstumszeit von etwa drei Monaten beprobt worden waren (Heinzmann, 1981; Wivstad, 1997). Aufgrund der günstigeren Wachstumsbedingungen im Frühjahr, die den Bedürfnissen der Leguminosen mehr entgegenkommen als der Anbau nach der Hauptkultur, sind diese aber nicht wirklich mit Begrünungen, die nach der Hauptkultur angebaut werden, vergleichbar. Der Mittelwert der oberirdischen Biomasse dieser Leguminosenbestände lag bei rund 3.880 kg/ha TM (Median: 3.360 kg/ha TM).

Aus Constantin et al. (2010), Hu et al. (2018), Mutegi et al. (2011), Kuo et al. (1997), Thorup-Kristensen (2001) und Tripol'skaya et al. (2008) konnten Daten von oberirdischer Biomasse von 29 Begrünungskulturen, jeweils einzelne Pflanzenarten in Reinsaat, ausgewertet werden. Die oberirdische Biomasse lag im Mittel bei 2.928 kg/ha TM (Median 3.036 kg/ha TM, Min. 177 und Max. 7.314 kg/ha TM).

Die aktuellen Metastudien von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) zur C-Anreicherung im Boden mit Begrünungen umfassen Standorte mit unterschiedlichen Bodentypen, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Klima. Beschreibungen und Daten von Begrünungen wurden aus den in den Metastudien genutzten Publikationen entnommen und ausgewertet (Acuna and Villamil, 2014; Amado et al., 2006; Appel et al., 2012; Astier et al., 2006; Balkcom et al., 2013; Balota et al., 2014; Bayer et al., 2000; Blanco-Canqui et al., 2011, 2013; Constantin et al., 2010; Curtin et al., 2000; Ding et al., 2006; Drinkwater et al., 1998; Duval et al., 2016; Eckert, 1991; Fronning et al., 2008; Harasim et al., 2016; Hargrove, 1986; Hermawan und Bomke, 1997; Higashi et al., 2014; Hubbard et al., 2013; Jokela et al., 2009; Kaspar et al., 2006; Kuo et al., 1997; Mandal et al., 2003; Mazzoncini et al., 2011; McVay et al., 1989; Mendes et al., 1999; Metay et al., 2007; Mukherjee et al., 2015; Mullen et al., 1998; N'Dayegamiye and Tran, 2001; Nyakatawa et al., 2001; Olson et al., 2014; Sainju et al., 2002, 2003 und 2005; Sapkota et al., 2012; Schjonning, 2012; Thomsen et al., 2004; Utomo et al., 1990; Villamil et al., 2006).

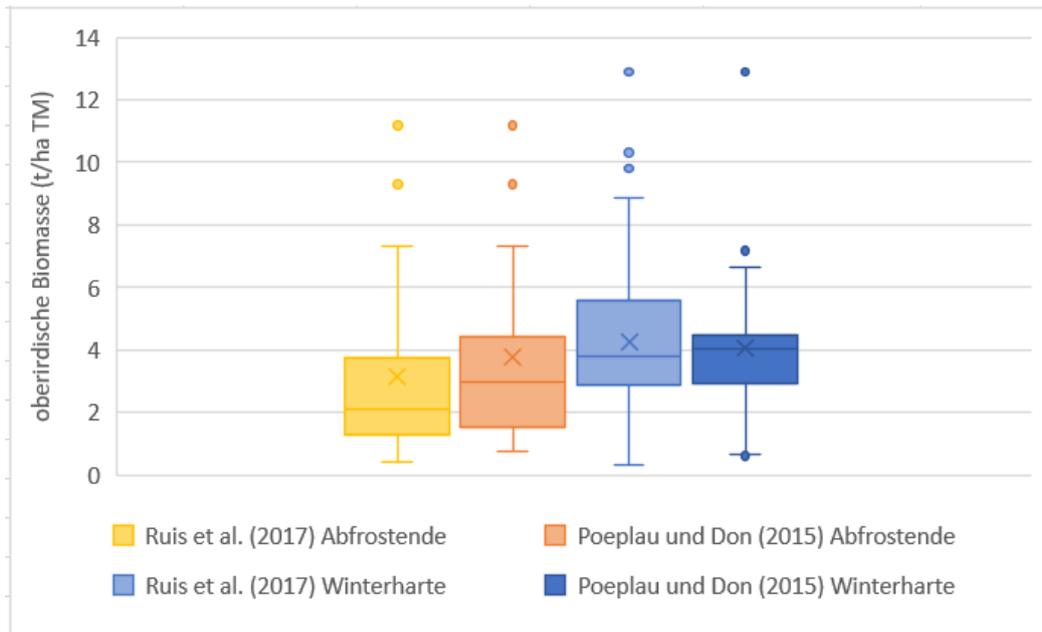


Abb. F-19: Oberirdische Biomasse (kg/ha TM) von abfrostenden und winterharten, in Ruis et al. (2017) und Poeplau und Don (2015) zitierten Begrünungen

Insgesamt wurden 43 Publikationen ausgewertet, von denen 33 von Ruis et al. (2017) und 27 von Poeplau und Don (2015) verwendet worden waren. Von 84 Begrünungsvarianten, die in die Studie von Ruis et al. (2017) eingeflossen sind, und 56 Begrünungsvarianten, die in die Studie von Poeplau und Don (2015) eingeflossen sind, konnten Werte für die oberirdische Trockenmasse gefunden werden. In diesen Datensätzen sind sowohl abfrostende als auch überwinternde Begrünungen vertreten.

Bei den abfrostenden Begrünungsvarianten, die von Ruis et al. (2017) genutzt wurden, betrug die oberirdische Biomasse im Mittel 3.150 kg ha^{-1} (Median 2.100 kg ha^{-1}), mit einem Minimalwert von 430 kg ha^{-1} und einem Maximalwert von $11.200 \text{ kg ha}^{-1}$. Bei den abfrostenden Begrünungsvarianten, die von Poeplau und Don (2015) genutzt wurden, betrug die oberirdische Biomasse im Mittel 3.750 kg ha^{-1} (Median 3.000 kg ha^{-1}), mit einem Minimalwert von 700 kg ha^{-1} und einem Maximalwert von $11.200 \text{ kg ha}^{-1}$.

Bei den winterharten Begrünungsvarianten, die von Ruis et al. (2017) genutzt wurden, betrug die oberirdische Biomasse im Mittel 4.300 kg ha^{-1} (Median 3.800 kg ha^{-1}), mit einem Minimalwert von 300 kg ha^{-1} und einem Maximalwert von $12.900 \text{ kg ha}^{-1}$. Bei den winterharten Begrünungsvarianten, die von Poeplau und Don (2015) genutzt wurden, betrug die oberirdische Biomasse im Mittel 4.070 kg ha^{-1} (Median 4.015 kg ha^{-1}), mit einem Minimalwert von 600 kg ha^{-1} und einem Maximalwert von $12.900 \text{ kg ha}^{-1}$.

In beiden Datensätzen waren sowohl Begrünungs-Reinsaaten einzelner Pflanzenarten als auch Mischungen vertreten.

Bei den abfrostenden Begrünungen liegen die Biomassemengen aus der aktuellen Literatur mit rund $2.000\text{-}3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ bei oder über den Werten, die in den eigenen Versuchen von BFA ermittelt wurden, und damit deutlich höher als in der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierungen.

Bei den winterharten Begrünungen liegen alle drei Datensätze bei einer Trockenmasse von ca. 4.000 kg ha^{-1} , die Werte aus der älteren Literatur sind sogar noch etwas höher.

F-6.2 Unterirdische Biomasse von Begrünungen - Literaturlauswertung

Aufgrund der aufwändigen Gewinnung der Wurzelbiomasse sind Studien zur Wurzelbiomasse von Begrünungen wesentlich seltener als solche mit Angaben über die oberirdische Biomasse.

Die auf den Versuchen der LFS Obersiebenbrunn im niederösterreichischen Trockengebiet in den Jahren 2015-2020 an Beständen einzelner Begrünungspflanzenarten gemessenen unterirdischen Biomassen waren geringer als die in den Versuchen der BFA, und lagen im Mittel bei rund 585 kg TM/ha, mit den geringsten Werten bei Kresse 2020 mit 60 kg TM/ha und den höchsten Werten bei Bokharaklee 2019 mit 3.480 kg TM/ha (Kastelliz, 2015, 2016, 2019, 2020).

Bodner (2012) erzielte in Versuchen mit Reinbeständen von Phacelia, Wicke, Roggen, Senf, Lein und Platterbse im niederösterreichischen Trockengebiet Wurzelbiomassen zwischen 250 und 2.500 kg/ha (TM).

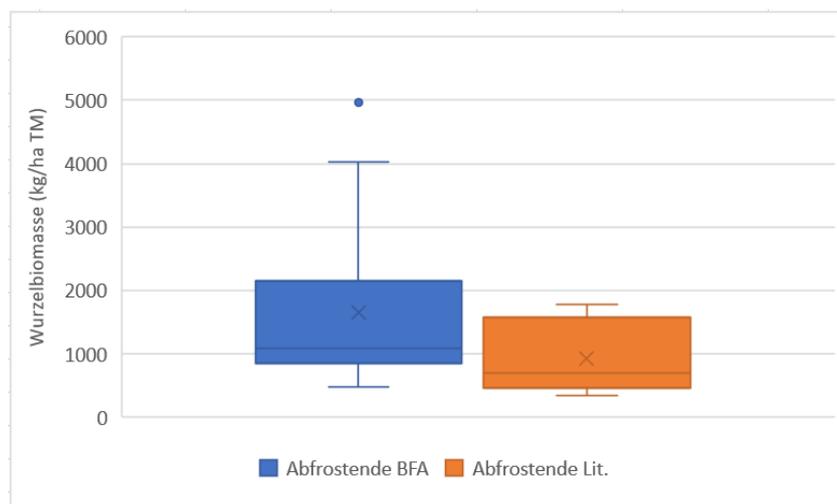


Abb. F-20: Wurzelbiomasse (kg/ha TM) von abfrostenden Begrünungen aus eigenen Daten von BFA und aus Daten aus der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung

In der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung gibt es nur ganz wenige Studien, in denen auch Wurzelbiomassen erhoben wurden (Vetter, 1955; Schweiger, 2004). Die Wurzelbiomasse von winterharten Begrünungen lag im Mittel bei 1.434 kg/ha TM (Median 1.320 kg/ha TM; n=7). Die Wurzelbiomasse von abfrostenden Begrünungen lag im Mittel bei 927 kg/ha TM (Median 700 kg/ha TM; n=7). Diese Werte sind bei weitem niedriger als jene in den Versuchen von Bio Forschung Austria gemessenen.

Aus Constantin et al. (2010), Hu et al. (2018), Mutegi et al. (2011), Kuo et al. (1997), Thorup-Kristensen (2001) und Tripol'skaya et al. (2008) konnten Daten von Wurzelbiomasse von 29 Begrünungskulturen, jeweils einzelne Pflanzenarten in Reinsaat, ausgewertet werden. Die Wurzelbiomasse lag zwischen 214 und 3.745 kg/ha TM, im Mittel bei 1.218 kg/ha TM (Median 1.000 kg/ha TM).

In den Publikationen, die für die aktuellen Metastudien von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) genutzt wurden, fanden sich nur bei Constantin et al. (2010), Curtin et al. (2000) und Kuo et al. (1997) Angaben zur Wurzelbiomasse, insgesamt von 12 Begrünungsvarianten. Die Wurzelbiomasse betrug im Mittel 1.114 kg ha⁻¹ (Median 615 kg ha⁻¹), mit einem Minimalwert von 184 kg ha⁻¹ und einem Maximalwert von 3.745 kg ha⁻¹.

Bei Begrünungsmischungen ergänzen sich die unterschiedlichen Wurzelsysteme, um den vorhandenen Wurzelraum optimal zu nutzen, sodass in Summe in Begrünungsmischungen auch meist höhere Wurzelbiomassen erzielt werden als bei Mono-Beständen. Dies dürfte der Grund dafür sein, dass in den Versuchen von Bio Forschung Austria höhere Wurzelbiomassen gemessen wurden.

F-6.3 C/N-Verhältnisse von Begrünungen - Literaturlauswertung

In den Publikationen, die für die aktuellen Metastudien von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) genutzt wurden, fanden sich bei Curtin et al. (2000), Duval et al. (2016), N'Dayegamiye et al. (2001), Sainju et al. (2002) Angaben zum C/N-Verhältnis der oberirdischen Biomasse der Begrünungen, insgesamt von 36 Begrünungsvarianten. Davon waren 18 Leguminosenbestände, mit einem mittleren C/N-Verhältnis von 14,7, 16 Nicht-Leguminosen-Bestände mit einem mittleren C/N-Verhältnis von 32,4 und zwei Leguminosen-Nichtleguminosen-Mischungen mit einem mittleren C/N-Verhältnis von 25. Der Minimalwert betrug 9,2, der Maximalwert 49,2.

F-7 Einfluss der Bewässerung auf den Humusgehalt

Bewässerung führt auf den meisten Böden zu einer höheren Ertragsbildung, was das Ziel der Bewässerung ist. Auf diesem Weg kommt es auch zu einer Erhöhung der Ernte- u. Wurzelreste. Hierdurch erfolgt eine höhere Zufuhr an organischer Substanz zum Boden, wodurch es zu ansteigenden Humusgehalten kommen kann, besonders dann, wenn durch den höheren Wassergehalt im Boden auch noch der Humusumsatz verringert wird (Kolbe, 2020).

Zum Beispiel ergaben Simulationen mit dem Programm CCB anhand des Dauerversuches Spröda (D) eine Humusmehrung aufgrund der erhöhten Biomasse- und Wurzelmasseproduktion. Der Boden am Dauerversuch Spröda ist ein anlehmiger Sand mit Bodenzahl 30. Betrachtet wurde eine Fruchtfolge mit Kartoffelanbau (Meyer et al., 2019).

Für Schwarzerden trifft der oben geschilderte Mechanismus nicht zu (Kolbe, 2020). Hier kommt es durch Bewässerung nicht zu einer starken Erhöhung der Ernte- u. Wurzelreste und / oder zu einer Verringerung des Humusumsatzes. Auf den stark sommertrockenen Böden kann Bewässerung über den ansteigenden Wassergehalt des Bodens zu einer Zunahme der Mikrobenaktivität und auf diesem Weg zu einem höheren Humusumsatz kommen. Daher können die Humusgehalte dann sogar abnehmen.

Auf dem Dauerversuch der AGES auf dem Tschernosem-Standort Fuchsenbigl wurde mit Bewässerung ein Humusverlust von -114 kg Humus-C/ha/Jahr gegenüber der unbewässerten Varianten verzeichnet. Die Bodenart auf dem Versuchsfeld ist lehmiger Schluff, die Fruchtfolge beinhaltete Getreide, Zuckerrüben, Mais und Ölfrüchte (Dersch und Böhm, 2001).

Auf dem Fruchtfolgedüngungsversuch in Seehausen (D) kam es mit Bewässerung zu einem Humusabbau von rund 35 bis 110 kg Humus-C/ha/Jahr gegenüber ohne Bewässerung. Der Boden des Versuches war ein sandiger Lehm, die Fruchtfolge beinhaltete Kartoffeln, Getreide, Zuckerrüben und Luzerne/Rotklee (Wicke et al., 1984).

Die Bewässerung kann bei den üblichen Verfahren zur Humusbilanzierung nicht vollständig berücksichtigt werden. So werden bei höheren Erträgen nur die eventuell verbleibenden höheren Erträge der Nebenprodukte (z.B. Stroh) angerechnet, oder auch die durch die Bewässerung eventuell höheren Biomasseerträge von Begrünungen, nicht die der anderen Ernte- u. Wurzelreste. Durch die Humusbilanzierung wird berechnet, ob die Zufuhr an organischer Substanz zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Erzielung optimaler Erträge (Versorgungsstufe C) ausreichend ist. Es wird nicht in erster Linie untersucht, ob der Humusgehalt sich dabei verändert. Unter praktischen Bedingungen besteht jedoch auch eine Beziehung zwischen den Ergebnissen der Humusbilanzierung und der Veränderung der Humusgehalte, die nach ca. 20 - 30 Jahren der Bewirtschaftung zu erwarten sind. Fragestellungen, bei denen neben den Bodenverhältnissen auch die Witterung, Bewässerung aber auch der Klimawandel untersucht werden kann, sind im Wesentlichen nur mit wissenschaftlichen dynamischen Corg- u. Nt-Modellen zu beantworten wie z.B. CCB. Hierbei können die Untersuchungen auch zu konträren Ergebnissen führen (Kolbe, 2020).

F-8 Schlussfolgerung

Die Humusbilanzierung ist ein Werkzeug, mit dem Landwirte selbst berechnen können, wie sich ihre Bewirtschaftung auf den Humusgehalt ihrer Böden auswirkt und dementsprechend selbst ihre Fruchtfolge und Bewirtschaftungsweise durch humusmehrende Maßnahmen wie Zufuhr organischer Dünger oder Gründüngung so anpassen können, dass sie den Humusgehalt ihrer Böden erhalten oder erhöhen. Die Standortangepasste Humusbilanzmethode STAND nach Kolbe (Kolbe, 2010) wurde auf einer Datenbasis von 330 Varianten aus Dauerfeldversuchen aus ganz Europa entwickelt und statistisch validiert. In Österreich nutzen über 1.100 TeilnehmerInnen der Humusbilanzseminare von Bio Forschung Austria diese Methode für ihren landwirtschaftlichen Betrieb.

Die Wirkung von Begrünungen auf die Humusanreicherung wird von den Humusbilanzierungsmethoden als eher gering eingeschätzt. Dies könnte damit zusammenhängen, dass den Humifizierungskoeffizienten Daten zugrunde liegen, die Verhältnisse in jahrzehntealten Dauerfeldversuchen abbilden. Der Begrünungsanbau hat sich jedoch in Österreich in den letzten 20 Jahren sehr stark weiterentwickelt. Begrünungsmischungen mit bis zu 15 Arten haben die früher gängigen Senf-Begrünungen abgelöst, und Biomasseerträge von 20 bis 100 t Frischmasse pro Hektar sind üblich geworden (ARGE Begrünung, 2018).

Um die Humifizierungskoeffizienten von Begrünungen zu überprüfen und den Beitrag von Begrünungen für die Humusanreicherung besser einschätzen zu können, wurden einerseits die eigenen Versuchsergebnisse von Bio Forschung Austria von Begrünungsversuchen aus 12 Jahren übergreifend ausgewertet. Zum Vergleich wurde einerseits ältere Literatur zu Begrünungsversuchen, die von Kolbe im Zusammenhang mit der Humusbilanzierung zitiert worden war, ausgewertet, und andererseits die aktuellen Metastudien von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) zur C-Anreicherung im Boden mit Begrünungen sowie die darin zitierte Literatur.

Die eigenen Daten von oberirdischen Begrünungsbiomassen (350 Versuchsvarianten) zeigten einen Mittelwert von 2.534 kg/ha TM (Trockenmasse) und einen Median von 2.223 kg/ha TM. Die Spannweite reichte von knapp 200 kg/ha bis fast 8.200 kg/ha TM. Eine starke Differenzierung zeigte sich zwischen Begrünungen im ostösterreichischen Trockengebiet, die im Mittel rund 2.300 kg/ha TM aufwiesen, und Begrünungen in niederschlagsreicheren Gebieten mit einer mittleren Biomasse von rund 3.400 kg/ha TM.

Die längere Vegetationszeit, die überwinterten Begrünungen zur Verfügung steht, schlug sich in einer mittleren Biomasse von 4.300 kg/ha TM (über alle Standorte) nieder, während abfrostende Begrünungen bei Beprobung im Oktober nur Biomassen von rund 2.350 kg/ha TM erzielten.

Die in den eigenen Versuchen gemessenen Biomassemengen stimmen gut mit Werten aus anderen österreichischen Begrünungsversuchen überein, wobei Begrünungsmischungen im Durchschnitt höhere Frisch- und Trockenmasseerträge erzielen als Reinsaaten einzelner Begrünungspflanzenarten. Dies hängt mit einer besseren Ausnützung von Licht, Wasser, Nährstoffen, etc. durch die Mischungen zusammen. Auch kann in Mischungen eine schlechtere Entwicklung eines Mischungspartners durch die bessere Entwicklung eines anderen ausgeglichen werden.

In der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung wurden bei abfrostenden Begrünungen Biomassemengen im Mittel rund 2.100 kg/ha TM gemessen. Bei winterharten Begrünungen lag der Mittelwert bei 4.430 kg/ha TM.

Bei den Begrünungsvarianten, die von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) genutzt wurden, betrug die oberirdische Biomasse im Mittel 3.150 kg/ha TM bei den abfrostenden Begrünungen und 4.200 kg/ha TM bei den winterharten Begrünungen. Dieser Datensatz umfasst Standorte mit unterschiedlichen Bodentypen, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Klima, und sowohl Begrünungs-Reinsaaten einzelner Pflanzenarten als auch Mischungen.

Aufgrund der aufwändigen Gewinnung der Wurzelbiomasse sind Studien zur Wurzelbiomasse von Begrünungen wesentlich seltener als solche mit Angaben über die oberirdische Biomasse.

Von Wurzelbiomasse lagen aus eigenen Versuchen der BFA 30 Datensätze von Begrünungsvarianten, zum Großteil abfrostende leguminosenhaltige Begrünungsmischungen, vor. Der Mittelwert der Wurzelbiomasse lag bei 1690 kg/ha TM. Die Spannweite der Werte reichte von knapp 500 kg/ha bis rund 4.000 kg/ha TM. Die Spannweite stimmt gut mit Werten aus anderen österreichischen Begrünungsversuchen und der neueren Literatur überein. In der älteren Literatur im Zusammenhang mit Humusbilanzierung gibt es nur wenige Studien, in denen auch Wurzelbiomassen erhoben wurden. Die Wurzelbiomasse von abfrostenden Begrünungen lag in der älteren Literatur im Mittel bei 927 kg/ha TM. Diese Werte sind bei weitem niedriger als jene in den Versuchen von Bio Forschung Austria gemessenen.

Begrünungen und deren Wurzeln fördern die mikrobielle Biomasse, welche heute als die wichtigste Quelle für die organische Bodensubstanz angesehen wird (Miltner et al., 2012; Sokol et al., 2019a, b). Aus diesem Grund ist es relevant, dass in den Versuchen von Bio Forschung Austria und in neuerer Literatur höhere Wurzelbiomassen gemessen werden.

In Summe geben die Ergebnisse Hinweise auf einen punktuellen Überarbeitungsbedarf bei den Humifizierungskoeffizienten von Begrünungen in der Standortangepassten Humusbilanzmethode. Nach Besprechung (online) mit Dr. Kolbe sind zur Absicherung jedoch noch zusätzliche Auswertungen von neueren Dauerfeldversuchen notwendig.

Dass Begrünungen einen wesentlichen Beitrag zur Humusanreicherung und Kohlenstoffspeicherung auf Ackerflächen leisten können, ist unbestritten. Die Standortangepasste Humusbilanzmethode beziffert den Beitrag von Begrünungen auf den Standorttypen („Standortgruppen“) 1 bis 5 mit 120 - 370 kg Humus-C /ha/a für winterharte Begrünungen und mit 80 – 330 kg Humus-C /ha/a für abfrostende Begrünungen. Auf dem Standorttyp 6, der sehr umsetzungsaktive Böden umfasst, wird aufgrund des Priming Effekts mit einem Humusabbau von -20 kg Humus-C /ha/a für winterharte Begrünungen und von - 60 kg Humus-C /ha/a für abfrostende Begrünungen gerechnet (Kolbe, 2010). In Abhängigkeit von der Menge der oberirdischen Begrünungsbiomasse kommt noch ein weiterer, meist geringerer, positiver Humus-C-Beitrag hinzu.

Die aktuellen Metastudien von Poeplau und Don (2015) und Ruis et al. (2017) zur C-Anreicherung im Boden mit Begrünungen geben deutlich höhere Werte für die C-Anreicherung an. Poeplau und Don (2015) werteten 139 Varianten von insgesamt 37 verschiedenen Versuchen aus. Sie errechneten einen durchschnittlichen Anstieg des C-Gehaltes des Bodens um 320 ± 80 kg C /ha/a. Die Studie von Ruis und Blanco-Canqui (2017) weiteten den Datensatz von Poeplau und Don (2015) auf insgesamt 47 Versuche auf Standorten mit unterschiedlichen Bodentypen, unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Klima aus, und berechneten einen durchschnittlichen Anstieg des C-Gehaltes des Bodens um 490 kg C /ha/a.

Neben ihrer Wirkung zur Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes im Boden haben Begrünungen bzw. Zwischenfrüchte zahlreiche weitere positive Wirkungen, die wichtig für die Klimawandelanpassung sind.

Die Zufuhr von organischem Material, der oberirdischen und unterirdischen Biomasse von Begrünungen, ernährt das Bodenleben. Die Wurzelausscheidungen regen die bodenbiologische Aktivität an und mobilisieren Nährstoffe, wodurch die Bodenfruchtbarkeit gesteigert wird. Aktive Bodenmikroorganismen, Pilze und Wurzeln sorgen durch ihre Ausscheidungen für die Lebendverbauung des Bodens. Dadurch erhöht sich die Aggregatstabilität und verbessert sich die Bodenstruktur. Die verbesserte Bodenstruktur erhöht die Infiltrationsrate und das Wasserspeichervermögen des Bodens, was bei den durch die Klimaveränderung zu erwartenden vermehrten Trockenphasen und Starkregenereignissen einen großen Vorteil darstellt. Die Bedeckung und die Durchwurzelung, sowie die stabileren Aggregate schützen den Boden vor Verschlammung und Erosion. Die verbesserte Bodenstruktur erleichtert auch die Durchwurzelung des Bodens durch die nachfolgenden Kulturpflanzen und die Bodenbearbeitung, was wiederum einen geringeren Kraftstoffbedarf und CO₂-Ausstoß zur Folge hat.

Je länger eine Begrünung am Feld steht, desto mehr oberirdische Biomasse, aber vor allem auch Wurzelmasse kann sie bilden, die für die Humusanreicherung im Boden essenziell ist. Die meisten der positiven Wirkungen von Begrünungen, sowohl für die Humusanreicherung als auch für den Grundwasser- und Erosionsschutz und die Klimawandelanpassung, nehmen mit der Dauer der Begrünung zu. Deshalb wäre es sinnvoll, bei der Förderung von Begrünungen im Österreichische Agrar-Umweltprogramm ÖPUL von den fixen Stichtagen abzugehen und hin zu einer Förderung der Behaltdauer der Begrünung mit Online An- und Abmeldung zu flexibilisieren.

F-9 Literaturverzeichnis

- Acuña JCM, Villamil MB (2014) Short-term effects of cover crops and compaction on soil properties and soybean production in Illinois. *Agron J* 106:860–870. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0370>
- ARGE Begrünung (2018) Projekt Minderung der N- und C- Emissionen in die Luft und der N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten durch Optimierung des Begrünungsanbaus im Ackerbau. 3. Zwischenbericht
- Balkcom KS, Arriaga FJ, van Santen E (2013) Conservation Systems to Enhance Soil Carbon Sequestration in the Southeast U.S. Coastal Plain. *Soil Sci Soc Am J* 77:1774–1783. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.01.0034>
- Balota EL, Calegari A, Nakatani AS, Coyne MS (2014) Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. *Agric Ecosyst Environ* 197:31–40. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.010>
- Blanco-Canqui H, Holman JD, Schlegel AJ, et al (2013) Replacing Fallow with Cover Crops in a Semiarid Soil: Effects on Soil Properties. *Soil Sci Soc Am J* 77:1026–1034. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.01.0006>
- Bodner G (2012) Die Bedeutung der Wurzel für die Leistungen der Zwischenfruchtbegrünung im Boden- und Grundwasserschutz. 3. Umweltökologisches Symposiu, Gumpenstein
- Constantin J, Mary B, Laurent F, et al (2010) Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agric Ecosyst Environ* 135:268–278. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.005>
- Curtin D, Wang H, Selles F, et al (2000) Legume green manure as partial fallow replacement in semiarid Saskatchewan: Effect on carbon fluxes. *Can J Soil Sci* 80:499–505. <https://doi.org/10.4141/S99-036>
- Dersch G, Böhm K (2001) Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in arable farming in Austria. *Nutr Cycl Agroecosystems* 60:49–55. <https://doi.org/10.1023/A:1012607112247>
- Duval ME, Galantini JA, Capurro JE, Martinez JM (2016) Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil Tillage Res* 161:95–105. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.006>
- Erhart E, Messenböck K, Bonell M, et al (2019) C/N-Verhältnis und N-Gehalt verschiedener Zwischenfrucht-Pflanzenarten. In: ALVA (Hrsg) Weinbau und Klima. Tagungsband der 74. ALVA-Tagung, HBLAuBA für Wein- und Obstbau, Technikum, Klosterneuburg 2019. Klosterneuburg, S 435–437
- Fronning BE, Thelen KD, Min DH (2008) Use of manure, compost, and cover crops to supplant crop residue carbon in corn stover removed cropping systems. *Agron J* 100:1703–1710. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0052>
- Hargrove WL (1986) Winter Legumes as a Nitrogen Source for No-Till Grain Sorghum 1. *Agron J* 78:70–74. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800010016x>
- Hartl W, Neuner E, Erhart E (2020) Wurzelmasse und Wurzelverteilung von Begrünungsmischungen in Praxisversuchen. In: Merbach W, Loiskandl W, Bodner G, et al. (Hrsg) Wurzel und Rhizosphäre: Ökophysiologie, Humushaushalt und Bodenmanagement. Mitt. Agrarwissenschaften 32. Verlag Dr. Köster, Berlin, Berlin, S 42–46
- Heinzmann F (1981) Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte. Univ. Hohenheim
- Higashi T, Yungui M, Komatsuzaki M, et al (2014) Tillage and cover crop species affect soil organic carbon in Andosol, Kanto, Japan. *Soil Tillage Res* 138:64–72. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.12.010>
- Hu T, Sørensen P, Wahlström EM, et al (2018) Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. *Agric Ecosyst Environ* 251:141–148. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.024>
- Kaspar TC, Parkin TB, Jaynes DB, et al (2006) Examining Changes in Soil Organic Carbon with Oat and Rye Cover Crops Using Terrain Covariates. *Soil Sci Soc Am J* 70:1168–1177. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0095>
- Kastelliz A (2015) Versuchsbericht über Parzellenversuche mit Zwischenbegrünungen an der LFS

Obersiebenbrunn

- Kastelliz A (2016) Versuchsbericht über Parzellenversuche mit Zwischenbegrünungen im Zeitstufenanbau an der LFS Obersiebenbrunn
- Kastelliz A (2019) Begrünungsversuch am Standort Obersiebenbrunn 2019
- Kastelliz A (2020) Begrünungsversuch am Standort Obersiebenbrunn 2020
- Kolbe H (2007) Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. In: Zikeli S, Claupein W, Dabbert S, et al. (Hrsg) Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin, S 5–8
- Kolbe H (2020) persönliche Mitteilung
- Kolbe H (2010) Site-adjusted organic matter-balance method for use in arable farming systems. *J Plant Nutr Soil Sci* 173:678–691. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900175>
- Kolbe H, Schuster M, Hänsel M, et al (2004) Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. 121
- Kuo S, Sainju UM, Jellum EJ (1997) Winter Cover Crop Effects on Soil Organic Carbon and Carbohydrate in Soil. *Soil Sci Soc Am J* 61:145–152. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010022x>
- Mazzoncini M, Sapkota TB, Bärberi P, et al (2011) Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil Tillage Res* 114:165–174. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.05.001>
- McVay KA, Radcliffe DE, Hargrove WL (1989) Winter Legume Effects on Soil Properties and Nitrogen Fertilizer Requirements. *Soil Sci Soc Am J* 53:1856–1862. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300060040x>
- Mendes IC, Bandick AK, Dick RP, Bottomley PJ (1999) Microbial Biomass and Activities in Soil Aggregates Affected by Winter Cover Crops. *Soil Sci Soc Am J* 63:873–881. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.634873x>
- Meyer D, Grandner N, Kolbe H (2019) Strategien zur Optimierung betrieblicher Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe von landwirtschaftlichen Anbausystemen in Sachsen. *Schriftenr des LfULG Heft 15*:
- Miltner A, Bombach P, Schmidt-Brücken B, Kästner M (2012) SOM genesis: Microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry* 111:41–55. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9658-z>
- Mutegi JK, Petersen BM, Munkholm LJ, Hansen EM (2011) Belowground carbon input and translocation potential of fodder radish cover-crop. *Plant Soil* 344:159–175. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0737-7>
- N'Dayegamiye A, Tran T Sen (2001) Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can J Soil Sci* 81:371–382. <https://doi.org/10.4141/S00-034>
- Nyakatawa EZ, Reddy KC, Sistani KR (2001) Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil Tillage Res* 58:69–79. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00183-5)
- OÖ. Wasserschutzberatung (2010) Versuchsbericht 2010
- OÖ. Wasserschutzberatung (2011) Versuchsbericht 2011
- Sainju UM, Singh BP, Whitehead WF (2002) Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil Tillage Res* 63:167–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00244-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00244-6)
- Sainju UM, Whitehead WF, Singh BP (2003) Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can J Soil Sci* 83:155–165. <https://doi.org/10.4141/S02-056>
- Sainju UM, Whitehead WF, Singh BP (2005) Carbon accumulation in cotton, sorghum, and underlying soil as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. *Plant Soil* 273:219–234. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-7611-9>
- Sapkota TB, Mazzoncini M, Bärberi P, et al (2012) Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems. *Agron Sustain Dev* 32:853–863. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0079-0>

- Schmidt H (1997) Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau - Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte
- Schweiger P (2004) Oberirdische und unterirdische Aufwüchse von Gründungspflanzen und deren N-Gehalt. L Forchheim - Landesanstalt für Pflanzenbau 5-6
- Sokol NW, Kuebbing SE, Karlsen-Ayala E, Bradford MA (2019a) Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter, in forming soil organic carbon. *New Phytol* 221:233-246. <https://doi.org/10.1111/nph.15361>
- Sokol NW, Sanderman J, Bradford MA (2019b) Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Glob Chang Biol* 25:12-24. <https://doi.org/10.1111/gcb.14482>
- Thorup-Kristensen K (2001) Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant Soil* 230:185-195. <https://doi.org/10.1023/A:1010306425468>
- Tripol'skaya LN, Romanovskaya DK, Shlepetiene A (2008) Humus status of soddy-podzolic soil upon application of different green manures. *Eurasian Soil Sci* 41:882-889. <https://doi.org/10.1134/S1064229308080103>
- Utomo M, Frye WW, Blevins RL (1990) Sustaining Soil Nitrogen for Corn Using Hairy Vetch Cover Crop. *Agron J* 82:979-983. <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200050028x>
- VDLUFA (2014) Standpunkt Humusbilanzierung. Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA, Speyer
- Vetter H (1955) Die Ernterückstände der wichtigsten Kulturpflanzen. *Die Dt Landwirtschaft* 6 68-72
- Wicke H-J, Rauhe K, Urban G, Leithold G (1984) Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen. In: Dauerfeldversuche der DDR. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg - Bereich Bad Lauchstädt - der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, S 97-118
- Wivstad M (1997) Green-manure crops as a source of nitrogen in cropping systems. Univ. Uppsala, Schweden
- wpa Beratende Ingenieure GmbH (2009) ÖPUL Evaluierung - Änderungen in der Gesamtwirksamkeit der Begrünungsvarianten und Nebeneffekte. Wien