Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation

Zuwendungsempfänger:

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Sachgebiet Nachwachsende Rohstoffe

Förderkennzeichen:

22010515

Laufzeit:

01.04.2017 bis 31.05.2020

Monat der Erstellung:

05/2020

Datum der Veröffentlichung:

18.05.2021

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

INHALT

1. Einleitung 10

2. Projektziele 11

3. Literaturüberblick 12
3.1. Anteil der Landwirtschaft am anthropogenen Treibhauseffekt 12
3.2. THG-Minderungsziele 14
3.3. Flächennutzung in Deutschland 14
3.4. Entwicklung des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland 15
3.5. Nachwachsende Rohstoffe und Biogasproduktion in Deutschland 17
3.6. N-Dünger Einsatz in Deutschland und Reduzierungspotential 18
3.7. Humus in Deutschland 22
3.7.1. Bodenstruktur 22
3.7.2. Organische Bodensubstanz 23
3.8. Biodiversität auf den Flächen 24
3.8.1. Steinklee und Biodiversität am Beispiel der Wildbienen 25
3.9. Anbau und Nutzung von Steinklee 26
3.9.1. Steinklee und Bodenschutz 26
3.9.2. Anbau von Steinklee 26
3.9.2.1. Standortansprüche 26
3.9.2.2. Sortenwahl 26
3.9.2.3. Bodenbearbeitung/ Aussaat 26
3.9.2.4. Düngung 27
3.9.2.5. Fruchtfolge 27
3.9.2.6. Unkrautbekämpfung 28
3.9.2.7. Ernte 28
3.9.2.8. Ertrag 29
3.9.3. Nutzung von Steinklee 29
3.9.3.1. Biogasanlage 29
3.9.3.2. Ökologische Vorrangfläche 30
3.9.3.3. Bienenweide 31
3.9.3.4. Gründüngung 32
3.9.3.5. Vermehrungsanbau 32
3.9.3.6. Silierung 32

4. Material und Methoden 33
4.1. Standortcharakteristik 33
4.2. Witterungsverlauf 35
4.3. Laboranalysen 37
4.3.1. Nmin 37
4.3.2. Corg 37
4.3.3. Biogasausbeute nach Weißbach 38
4.4. Versuchsdurchführung 38

5. Ergebnisse 39
5.1. Überblick über die einzelnen Standorte 39
5.1.1. Standort 1 (Fläche 1) 40
5.1.2. Standort 1 (Fläche 2) 45
5.1.3. Standort 1 (Fläche 3) 48
5.1.4. Standort 2 51
5.1.5. Standort 3 54
5.1.6. Standort 4 58
5.1.7. Standort 5 61
5.1.8. Standort 6 66
5.1.9. Standort 7 67

5.1.10. Standort 8 70
5.1.11. Standort 9 72
5.1.12. Standort 10....75
5.1.13. Standort 11....78
5.2. Biomasseerträge 78
5.3. Methanausbeuten und -erträge 78
5.4. THG-Emissionen und Energieeffizienz im Vergleich Steinklee und Silomais ..80
5.5. Deckungsbeiträge und Fruchtfolgevergleich....81
5.6. Öffentlichkeitsarbeit....84
5.6.1. Veranstaltungen 84
5.6.2. Fachbeiträge 84
5.6.3. Faltblätter/Broschüren 85
5.6.4. Newsletter 85
5.6.5. Sonstiges 85
5.6.6. geplant 85

6. Zusammenfassung und Fazit 86
6.1. Umsetzung der Projektziele....90
6.1.1. Prüfung von Forschungsergebnissen über den Anbau und die Nutzung von Steinklee auf die Umsetzbarkeit im Betrieb 90
6.1.2. Aufweitung der (Energiepflanzen-) Fruchtfolge....90
6.1.3. Erhöhung der Biodiversität auf und um die landwirtschaftlichen Flächen....91
6.1.4. Humusakkumulation auf leichten Böden....91
6.1.5. Aufbrechen von Verdichtungen 91
6.1.6. Einsparen von mineralischem N-Dünger in der Nachfrucht 92
6.1.7. Dauerhafte Etablierung von Steinklee in der Landwirtschaft....92
6.1.8. Schaffung eines Netzwerks....92

7. Quellen und weiterführende Literatur....94

8. Anhang....99

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Monatliche CO_2-Konzentration in der Luft auf dem Mauna Loa, Hawaii (1958-2019) 12
Abbildung 2: Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft nach Kategorien 13
Abbildung 3: Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2018) 15
Abbildung 4: Anbau von Leguminosen zur Körnergewinnung in Deutschland 16
Abbildung 5: Anbau von Süßlupinen zur Körnergewinnung in Deutschland 16
Abbildung 6: Entwicklung der Maisanbaufläche in Deutschland 17
Abbildung 7: Entwicklung der Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe 18
Abbildung 8: Saldo der landwirtschaftlichen Stickstoff-Gesamtbilanz in Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche 19
Abbildung 9: Stickstoff-Kreislauf 20
Abbildung 10: Ammoniak-Emissionen nach Quellkategorien 21
Abbildung 11: Verteilung der organischen Bodensubstanz in den Oberböden Deutschlands 22
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilungen der Humusgehalte (Klassen nach KA5) 24
Abbildung 13: Mögliche Einordnung d. Steinklees in die Fruchtfolge 28
Abbildung 14: Boden-Klima-Räume in Deutschland 33
Abbildung 15: Vergleich zwischen dem Niederschlag in mm im langjährigen Mittel und dem Niederschlag 2017, 2018 und 2019 an den verschiedenen Standorten 35
Abbildung 16: Vergleich zwischen der Temperatur im langjährigen Mittel und in den Jahren 2017, 2018 und 2019 an den verschiedenen Standorten 36
Abbildung 17: Anbaufläche 1 (Aussaat 26.08.2016 & 18.07.2017) 40
Abbildung 18: Anbaufläche 1 am Standort 1 im März (links) und im Juni (rechts) des HNJ 2018 40
Abbildung 19: Insekten auf der Steinkleefläche am Standort 1 am 15.06.2018 (HNJ) 41
Abbildung 20: Nachfrucht Roggen am Standort 1 (Fläche 1) im Oktober 2018 (links: VF Roggen, rechts: VF Steinklee) 42
Abbildung 21: Nmin im Dezember 2018 am Standort 1 auf der ehemaligen 1. Steinkleefläche und der benachbarten Referenzfläche am 06.12.2018, beide mit Nachfrucht Roggen 42
Abbildung 22: Eindringwiderstand am Standort 1 auf der Fläche 1 (VF Steinklee) sowie der Referenzfläche (VF Winterroggen) in der Nachfrucht Winterroggen im März 2019 44
Abbildung 23: Anbaufläche 2 (Aussaat 24.05.2017) im August (links) und im Oktober (rechts) des ASJ 2017 45
Abbildung 24: Anbaufläche 2 (Aussaat 24.05.2017) im März (links) und im Juni (rechts) des HNJ 2018 45
Abbildung 25: Nmin-Heterogenität auf der 2. Steinklee-Fläche am Standort 1, Beprobung an zehn verschiedenen Stellen auf der Fläche im August 2017 47
Abbildung 26: Nmin-Gehalt auf der 2. Steinklee-Fläche am Standort 1 zu drei verschiedenen Terminen 47
Abbildung 27: Nmin auf den zwei Steinkleeflächen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten (im ASJ 2017 und nach dem HNJ, zur NF 2018) 48
Abbildung 28: Anbaufläche 3 – (Aussaat: 05.05.2019) Steinkleeansaat unter Deckfrucht Roggen (oben), Steinklee nach Ernte der Deckfrucht im Herbst des Ansaatjahres (mitte), Austrieb Steinkleepflanze im Februar des HNJ 2020 (unten) 49

Abbildung 29: Boden-Nmin am Standort 1 auf der 3. Steinkleefläche im ASJ 2019 sowie im HNJ 2020 50
Abbildung 30: Steinklee-Fläche im August 2017 (links) und im Oktober 2017 (rechts) des ASJ am Standort 2 51
Abbildung 31: Steinklee-Fläche im März 2018 (links) und im Mai 2018 (rechts) des HNJ am Standort 2 51
Abbildung 32: Steinklee-Fläche am Standort 2 im August 2018 - gut besucht von Wildbienen und anderen Insekten 52
Abbildung 33: Nmin-Gehalte auf der Steinklee-Fläche am Standort 2 zu zwei verschiedenen Terminen (ASJ und nach HNJ bzw. zur NF) 53
Abbildung 34: Steinklee-Fläche am Standort 3 im Juni (links) und im Juli (rechts) des ASJ 2017 54
Abbildung 35: Steinklee-Fläche am Standort 3 im August des ASJ 2017 54
Abbildung 36: Steinklee-Fläche am Standort 3 im März (links) und im Mai (rechts) des HNJ 2018 55
Abbildung 37: Steinklee mit rotem Stängel 56
Abbildung 38: Steinklee-Fläche am Standort 3 im Juni (links) und im August (rechts) des HNJ 2018 57
Abbildung 39: Nmin auf der Steinklee-Fläche am Standort 3 zu drei verschiedenen Terminen (ASJ, HNJ und zur NF) 58
Abbildung 40: Steinklee-Aussaat und Aufwuchs am Standort 4 im ersten ASJ 2017 und nach Kahlfrost im März des HNJ 2018 59
Abbildung 41: Steinkleefläche am Standort 4 im wiederholten ASJ 2019 60
Abbildung 42: Nmin auf der Steinklee-Fläche am Standort 4 zu drei verschiedenen Terminen 61
Abbildung 43: Fläche am Standort 5 (links: Steinkleefläche (Aussaat 01.04.2016); rechts: Referenzfläche) 62
Abbildung 44: Fläche am Standort 5. (links: neue Steinkleefläche (Aussaat 29.08.2017), ehemals Referenzfläche; rechts: Nachfrucht Roggen auf der ehemaligen Steinkleefläche) 62
Abbildung 45: Anbaufläche am Standort 5, Steinkleefläche (vorne) im HNJ 2018, Roggenfläche als Steinklee-Nachfrucht (hinten) 63
Abbildung 46: Blick auf die beiden Flächen am Standort 5 im Februar 2019 (links: Steinkleefläche (Aussaat 29.08.2017, ehemals Referenzfläche), rechts: Steinkleefläche (Aussaat 31.08.2018, Vorfrucht Roggen) 63
Abbildung 47: Blick auf die 1. Steinkleefläche im Februar 2019 (links) (Aussaat 31.08.2018) und Auflaufen vereinzelter Steinkleepflanzen (rechts) 64
Abbildung 48: Blick auf die 2. Steinkleefläche im Februar 2019 (links) (Aussaat 29.08.2017) und Nahaufnahme des Unkrautbewuchses (rechts) 64
Abbildung 49: Vergleich Nmin-Gehalt der 1. Steinkleefläche unmittelbar nach der Steinklee-Ernte im HNJ und der 2. Steinkleefläche (Referenzfläche) zu verschiedenen Terminen am Standort 5 65
Abbildung 50: Vergleich der Nmin-Gehalte auf der 1. Steinkleefläche am Standort 5 zu verschiedenen Terminen 66
Abbildung 51: Steinkleefläche am Standort 7 an verschiedenen Terminen im Jahr 2018 67
Abbildung 52: Steinkleefläche am Standort 7 im Januar, Juni und September 2019 68
Abbildung 53: Nmin-Gehalt am Standort 7 zu vier verschiedenen Terminen 69
Abbildung 54: Steinkleefläche am Standort 8 zum Zeitpunkt der Begehung im September des ASJ 2018 70
Abbildung 55: Steinkleefläche am Standort 8 im Juli des HNJ 2019 71

Abbildung 56: Steinkleefläche am Standort 9 im September 2018; Sicht auf die Fläche (links oben), Steinkleewurzel mit Wiederaustrieben (links unten), Steinkleepflanzen mit Mehltau (rechts oben), Steinkleereihen (rechts unten) 73
Abbildung 57: Steinkleefläche am Standort 9 im Juni 2019 (links), abblühender, Gelber Steinklee und blühender Weißer Steinklee (rechts) 74
Abbildung 58: Steinkleefläche am Standort 10 im Mai 2018 zur Aussaat sowie nach Auflaufen der Pflanzen 75
Abbildung 59: Steinkleefläche am Standort 10 im Juni und August des ASJ 2018 76
Abbildung 60: Steinklee (oben: Neben Maisfläche; unten: Bienen im Steinklee) am Standort 10 im Juni des HNJ 76
Abbildung 61: Vergleich Methanausbeute zwischen Silomais und Steinklee (verschiedene Schnittregime) 79
Abbildung 62: Durchschnittliche Methanerträge (pro Anbaujahr) von Steinklee bei verschiedenen Schnittregimen 80
Abbildung 63: Differenzen des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ auf der 1. und der 2. Steinkleefläche am Standort 1 102
Abbildung 64: Differenz des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ am Standort 2 103
Abbildung 65: Differenz des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ Standort 3 103

TABELLEN

Tabelle 1: Nationaler Klimaschutzplan 2050: THG-Minderungsziele der in der Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder 14

Tabelle 2: Angaben zur Aussaat 27

Tabelle 3: Maßnahmen zur Wildkrautregulation im Steinklee 28

Tabelle 4: Mögliche Erntetermine (Schnittzeit, Stoppellänge, Technik) 29

Tabelle 5: Ertragspotential von Steinklee in den verschiedenen Nutzungsjahren 29

Tabelle 6: Stickstoffbindende Pflanzen zum Anbau auf ÖVF 31

Tabelle 7: Möglicher Samenertrag in Abhängigkeit vom Schnitt 32

Tabelle 8: Boden-Klima-Räume der Demobetriebe 33

Tabelle 9: Kurzcharakteristik der Standorte 34

Tabelle 10: Übersicht über den Anbau während der Projektlaufzeit auf den Standorten 39

Tabelle 11: N-Test (Blätter) in der Nachfrucht Winterroggen auf zwei nebeneinander gelegenen Flächen mit unterschiedlicher Vorfrucht 43

Tabelle 12: Anzahl der Ähren pro m² in der Nachfrucht Winterroggen auf zwei nebeneinander gelegenen Flächen mit unterschiedlicher Vorfrucht 44

Tabelle 13: Biomasseerträge und Methanausbeute des zweischnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 2 im HNJ 2018 52

Tabelle 14: Boden-pH-Werte der Steinkleefläche am Standort 3 im ASJ (Beprobung in Bereichen von wüchsigem und wenig wüchsigem Steinklee) 56

Tabelle 15: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 3 im HNJ 2018 57

Tabelle 16: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 5 im HNJ 2017 64

Tabelle 17: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 7 im HNJ 2019 70

Tabelle 18: Nmin-Gehalt am Standort 8 auf der Steinkleefläche im HNJ 2019 72

Tabelle 19: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 9 im HNJ 2019 74

Tabelle 20: Biomasseerträge und Methanausbeute des zweischnittigen und einschnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 10 im ASJ 2018 77

Tabelle 21: Biomasseerträge von Steinklee (verschiedene Schnittregime) zu unterschiedlichen Terminen an Demonstrationsstandorten im Zuge des Projektes 78

Tabelle 22: Biomasseertrag, TS-Gehalt und Methanausbeute zu verschiedenen Schnittregimen an vier Demonstrationsflächen 79

Tabelle 23: THG und Energiebilanz von Steinklee (verschiedene Schnittregime) und von Silomais 81

Tabelle 24: Übersicht über den Steinkleeaufwuchs auf Sandböden nach Aussaatmonat und Aussaatjahr 86

Tabelle 25: Anbau- und Ernteempfehlungen Steinklee 87

Tabelle 26: N-Fixierungspotential von Steinklee (Bull, 2013) 88

Tabelle 27: Vergleich der Erträge des Vorprojektes und des Demoprojektes 89

Tabelle 28: Humuswirkung durch den Anbau nach LfL (2014) 91
Tabelle 29: N-Fixierungspotential von Steinklee (außer Sommersaaten) 92
Tabelle 30: Übersicht der genutzten Wetterstationen für die verschiedenen Standorte 99
Tabelle 31: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2017 99
Tabelle 32: Durchschnittliche Temperaturen der einzelnen Standorte 2017 100
Tabelle 33: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2018 100
Tabelle 34: Durchschnittliche Temperaturen der einzelnen Standorte 2018 101
Tabelle 35: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2019 101
Tabelle 36: Durchschnittliche Temperatur der einzelnen Standorte 2019 102

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASJ	Ansaatjahr
Aufw.	Aufwendung/en
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CO_2-Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
Corg	organisch gebundener Kohlenstoff
DB	Deckungsbeitrag
EU	Europäische Union
Em.	Emmission/en
FoTS	fermentierbare organische Trockensubstanz
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
HNJ	Hauptnutzungsjahr
LAVES	Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt GmbH
N	Stickstoff
Eff.	Effizienz
Ertr.	Ertrag
Nmin	mineralischer Stickstoff
ÖVF	Ökologische Vorrangfläche
THG	Treibhausgas(e)
VF	Vorfrucht
XA	Rohasche
XF	Rohfaser

1. Einleitung

Das Projekt „Anbau von Steinklee - Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“ stützt sich auf Feldversuche und Literaturrecherche des vorangegangenen Projektes „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“ und sollte das daraus erworbene Wissen auf Praxistauglichkeit prüfen.

Dazu wurde in Demonstrationsbetrieben im April 2017 mit dem Anbau von Steinklee in der Praxis begonnen. Der Anbau richtete sich nach den betrieblichen Gegebenheiten.

Aufgrund der engen Fruchtfolge und des einseitigen intensiven Anbaus von Bioenergiepflanzen sowie durch die fortlaufend infrastrukturelle Erweiterung und den Städtebau hat die Biodiversität auf den Äckern sowie in der Landschaft große Einbußen zu verzeichnen. Die Biomasse der Fluginsekten ist seit den 80er Jahren in Teilen Deutschlands extrem zurückgegangen. Auch Ackervögel weisen rückläufige Zahlen auf.

Der Anbau von Steinklee sorgt für eine Aufweitung der Fruchtfolge, besitzt sehr gute Vorfruchtwirkungen, reichert Humus auf den Flächen an und kann, je nach Nutzung, als Lebensraum für Insekten und Vögel dienen.

Die Funktion von Humus als ein guter Speicher für das klimarelevante Treibhausgas Kohlenstoffdioxid ist erwiesen. Unter anderem ist es daher notwendig, die Humusanreicherung auf den landwirtschaftlichen Flächen Norddeutschlands durch den Anbau humusmehrender Pflanzen zu fördern.

Zudem kann durch die Luftstickstoff-Fixierung der Knöllchenbakterien an den Wurzeln der Steinkleepflanzen mineralischer Stickstoffdünger in der Nachfrucht eingespart werden. Stickstoff hat unter anderem einen Einfluss auf die THG-Emissionen und sorgt bei zu hohem Aufkommen für Umweltschäden.

Das Projekt sollte den Steinklee wieder in die Köpfe der Landwirte und auf die Flächen bringen. Zudem soll es aufzeigen, dass eine Aufweitung der Fruchtfolge mit positiven ökologischen Folgen einhergeht und somit auch langfristig mit ökonomischen Vorteilen. Letztendlich ist eine intakte Ökologie unersetzlich für die Landwirtschaft und somit für die Produktion von Lebensmitteln und Agrarrohstoffen.

2. Projektziele

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem vorangegangenen Projekt „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“ bezüglich Anbau und Nutzung, sollten auf die Umsetzbarkeit im Betrieb geprüft werden.

Das oberste Ziel des Steinkleeanbaus ist die Aufweitung der Fruchtfolge im Energiepflanzenanbau. Durch den Anbau in den Demonstrationsbetrieben sollte der Steinklee bekannter werden, Landwirte konnten eventuelle Skepsis abbauen. Zudem wurde mit dem Anbau in der Praxis geprüft, ob sich Steinklee auch in die landwirtschaftliche Fruchtfolge etablieren lässt und nicht am Projekt beteiligten Landwirten konnte gezeigt werden, wie der Steinkleeanbau gelingen kann. Vorteile die der Steinklee mit sich bringt für die Flächen, die Biodiversität und somit für den Betrieb wurden mit dem Praxisanbau ebenfalls verdeutlicht.

Gerade Landwirten, die vorrangig leichte Standorte bewirtschaften, galt es zu zeigen, dass auch auf sonst unwirtschaftlichen Flächen die Möglichkeit besteht, Biomasse zu generieren. Betrieben mit betrieblicher oder außerbetrieblicher Biogasanlage sollte somit eine neue Möglichkeit der Biomassegewinnung ermöglicht werden. Neben der Biomassegewinnung können durch das starke Wurzelsystem des zweijährigen Steinklees die Bodenverhältnisse verbessert werden. Mit der Schaffung von Wissen und anschaulichen Anbaubeispielen sollte der Steinklee in der Praxis bekannter werden, um möglichst viele Landwirte von den Vorzügen des Steinklees zu überzeugen und mit dem gesteigerten Anbau, die Vorteile des Steinklees ausspielen zu können.

3. Literaturüberblick

3.1. Anteil der Landwirtschaft am anthropogenen Treibhauseffekt

Der weltweite Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts (CO_2) in der Luft ist Hauptursache für die Erderwärmung (Abbildung 1).

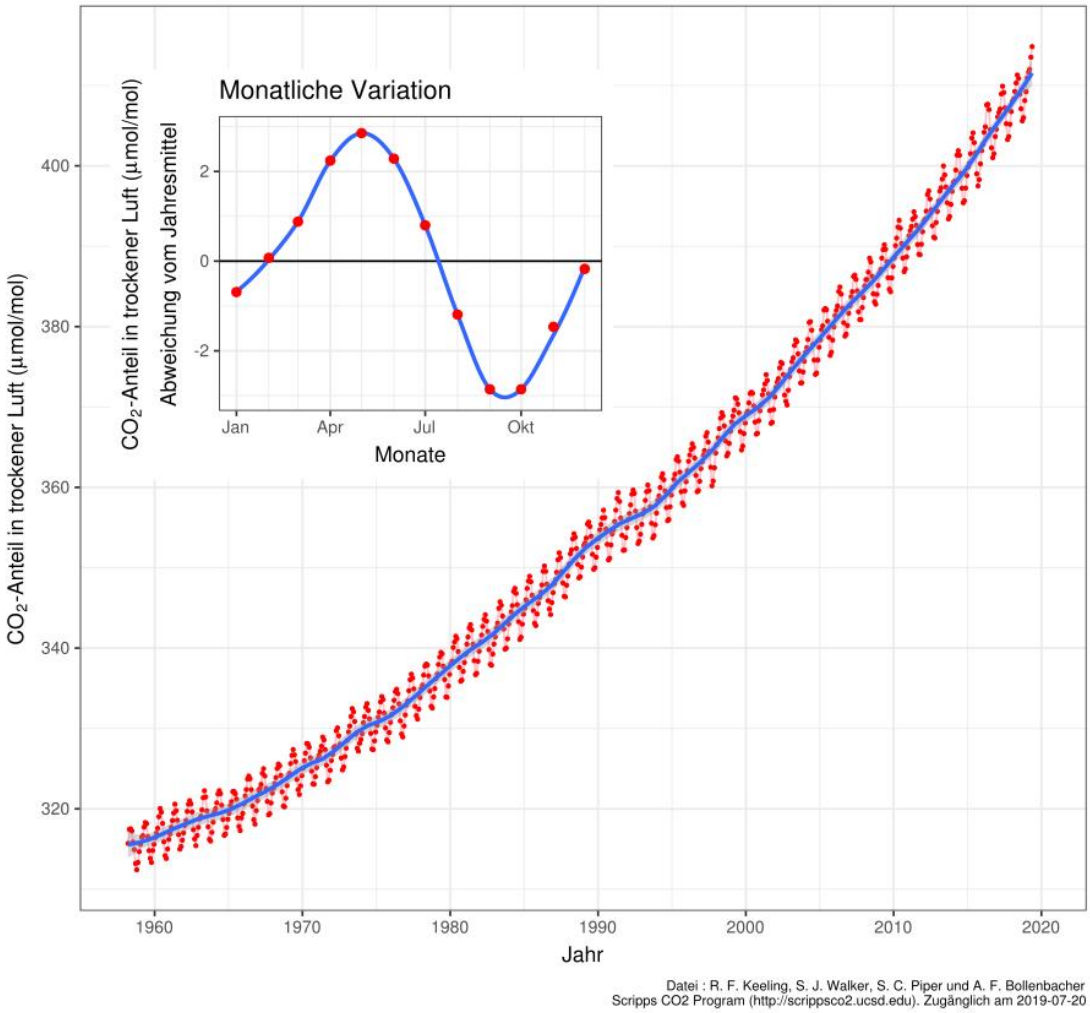


Abbildung 1: Monatliche CO_2-Konzentration in der Luft auf dem Mauna Loa, Hawaii (1958-2019)

Quelle: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration_DE.svg

Die lebenswichtige Wärmeisolierung der Erde gegen die Kälte des Weltraums wird durch die weitgehend vom Menschen verursachte Konzentrationssteigerung der klimarelevanten Gase (CO2, CH4, N2O, SF6 sowie einige andere Spurengase, Aerosole und Wasserdampf) mit zum Teil negativen Folgen verstärkt. Um die unterschiedlichen Treibhausgaseffekte dieser Stoffe zu berücksichtigen, wird das Treibhausgaspotential als CO2-Äquivalent dargestellt. Hierbei wird die Masse des jeweiligen Gases in die hinsichtlich des Treibhauseffekts gleichwertige CO2-Masse umrechnet (LfL Bayern, 2012).

Erkennbar ist ein deutlicher Anstieg der Klimagase seit der Industrialisierung 1750.

Während menschliche Aktivitäten nur einen geringen Einfluss auf das häufigste Treibhausgas Wasserdampf aufweisen, stellt sich, laut Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL Bayern,

2019), als Hauptursache für die anderen Treibhausgase die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) in Kraftwerken, Verkehrsmitteln und Heizungen heraus.

Durch die Entwässerung und Nutzung feuchter Standorte, die Tierhaltung und die Stickstoffdüngung übernimmt die Landwirtschaft hier eine maßgebliche Rolle. Ihr wurden im Jahr 2014 laut Abbildung 2 noch 72 Mio. t CO_2-Äquvivalent zugeschrieben, was ungefähr 8 % der gesamten THG-Emissionen in Deutschland ausmachte. Im Jahr 2017 sank der Wert auf 66,3 Mio. t CO_2-Äquivalent (7,3 % der gesamten THG-Emissionen des Jahres).

Mit Methan-Emissionen aus der Tierhaltung, der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie Lachgas-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden, unter anderem als Folge der hohen Stickstoffüberschüsse, trägt die Landwirtschaft einen erheblichen Anteil an der Anreicherung klimarelevanter Gase.

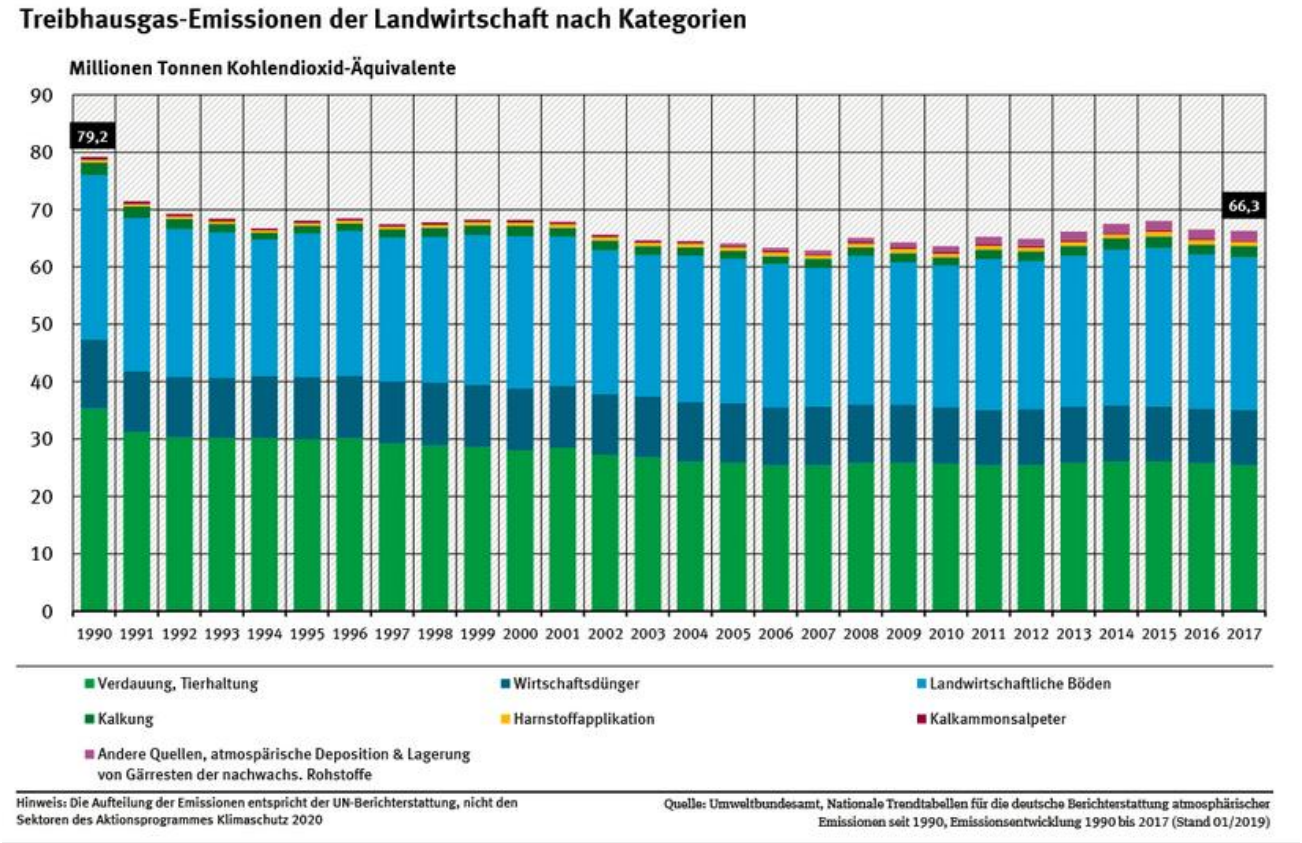


Abbildung 2: Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft nach Kategorien

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#emissionen-aus-der-landwirtschaft-im-jahr-2017, Zugriff am 12.05.2020

Laut Umweltbundesamt (2018) erreichte im Jahr 2007 der landwirtschaftliche Treibhausgasausstoß seinen Tiefststand (Abbildung 2), während im Jahr 2016 65,2 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente aus der Landwirtschaft (3,2 Mio. t mehr als 2007) stammten.

Da technische Neuerungen eine Reduzierung der THG-Emissionen nur begrenzt bewirken können, ist es wichtig, die Stickstoff-Überschüsse durch andere Maßnahmen deutlich zu senken. Hierzu werden eine Reduzierung der Tierbestände und der Schutz von kohlenstoffreichen Böden genannt. Das UBA (2018) weist ebenso darauf hin, dass ohne eine Veränderung der Konsumgewohnheiten die Gefahr besteht, die Emissionen nur ins Ausland zu verlagern, und somit keine globale Reduzierung der THG zu bewirken.

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen werden sich in Zukunft auch in der Landwirtschaft niederschlagen (Umweltbundesamt, 2018).

3.2. THG-Minderungsziele

Zur Reduzierung der THG-Emissionen wurden Minderungsziele definiert. Die Tabelle 1**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** stellt die im Klimaschutzplan 2050 vereinbarten THG-Minderungsziele dar. Aus ihr geht hervor, dass die Landwirtschaft nicht der Hauptverursacher von THG-Emissionen ist, sondern dass in den Bereichen Energie, Gebäude, Verkehr und Industrie im Jahr 2014 noch 109 – 286 Mio. t CO_2-Äquivalente mehr verursacht wurden als in der Landwirtschaft. Insgesamt sollen die THG-Emissionen um ca. 55 % bis zum Jahr 2030 gesenkt werden.

Tabelle 1: Nationaler Klimaschutzplan 2050: THG-Minderungsziele der in der Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder

Handlungsfeld	1990*	2014*	2030*	2030**
Energiewirtschaft	466	358	175-183	62-61 %
Gebäude	209	119	70-72	67-66 %
Verkehr	163	160	95-98	42-40 %
Industrie	283	181	140-143	51-49 %
Landwirtschaft	88	72	58-61	34-31 %
Teilsumme	1209	890	538-557	56-54 %
Sonstige	39	12	5	87 %
Gesamtsumme	1248	902	543-562	56-55 %

*Emissionen in Mio. t CO_2-Äquivalent
**Minderungsziel in % gegenüber 1990

Quelle: Biodiesel 2016/2017 Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht (aus dem Klimaschutzplan 2050 vom 14.11.2016)

3.3. Flächennutzung in Deutschland

Mehr als die Hälfte der Fläche in Deutschland unterliegt der landwirtschaftlichen Nutzung. Die Zahlen sind jedoch rückläufig. Während im Jahr 2000 noch 53,5 % der Fläche in Deutschland landwirtschaftlich genutzt wurden, waren es im Jahr 2018 noch 50,8 % (UBA 2019c und Statistisches Bundesamt 2018, Abbildung 3).

Die Zunahme des Siedlungs- und Wohnungsbaus sowie die Schaffung von Verkehrsflächen waren die wichtigsten Gründe für die Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen (UBA, 2019c). Zudem kann die Rekultivierung von durch Tagebau genutzten Flächen Jahrzehnte dauern und stellt eine große Herausforderung dar. Ein hoher Anteil der landwirtschaftlichen Flächen wird intensiv genutzt. Aus dieser Entwicklung ergeben sich negative Folgen für Umwelt und Natur.

Der Flächenbedarf im Jahr 2017 für den Anbau und die Herstellung der konsumierten Ernährungsgüter im Land betrug 19,1 Mio. ha. In Deutschland stehen für die Produktion von Lebensmitteln 14,0 Mio. ha zur Verfügung. Ein Flächendefizit von ca. 5 Mio. ha muss somit durch Importe gedeckt werden (Importdefizit), so das Statistische Bundesamt (2019).

Laut Statistischem Bundesamt (2019) werden niedrig verarbeitete, flächenintensive Güter, wie z.B. Futtermittel für die Produktion von Fleisch, zu großen Teilen aus dem Ausland importiert, um sie als höherwertige Produkte (Fleisch) wieder zu exportieren.

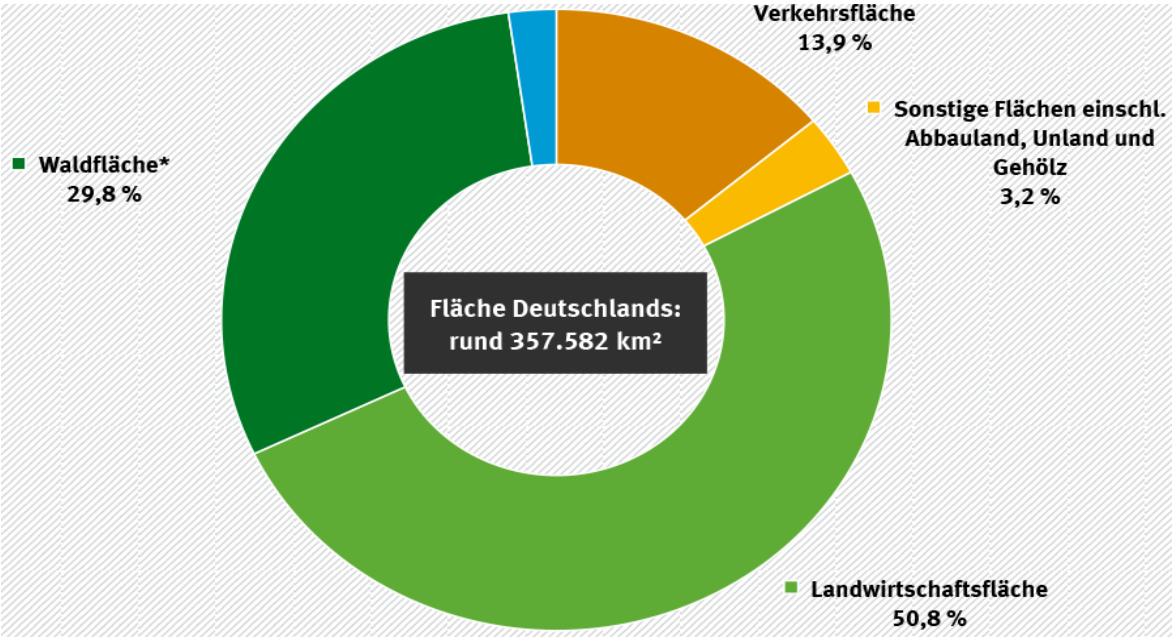


Abbildung 3: Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2018)

Quelle: Struktur der Flächennutzung, Umweltbundesamt, 2019, nach © Statistisches Bundesamt (Destatis), 2018

*Seit 2016 werden Waldflächen in der Statistik ohne Gehölze ausgewiesen. Gehölz wird getrennt unter "sonstige Flächen" erfasst. Inklusive Gehölze läge der Anteil der Waldfläche bei 30,9 %.

3.4. Entwicklung des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland

Die stetige Abnahme im Leguminosenanbau bis 2013 kehrte sich in den letzten Jahren in eine Zunahme um. Wesentlich zu dem Anstieg beigetragen haben laut BMEL (2019) die Forschungsmaßnahmen, die GAP-Reform, in der Leguminosen als ökologische Vorrangfläche ausgewiesen werden können, sowie die Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen. Die Abbildung 4 und die Abbildung 5 zeigen die Entwicklung der Anbaufläche von Körnerleguminosen sowie die Entwicklung der Anbaufläche von Süßlupinen explizit.

Das 2017 verabschiedete Pflanzenschutzmittelverbot auf ökologischen Vorrangflächen mit Leguminosen erwies sich als weniger einflussnehmend auf den Rückgang als erwartet, so das BMEL (2019). Im Jahr 2018 stieg im Vergleich zum Vorjahr die Anbaufläche für Ackerbohnen um 19 % auf 55.300 ha an, während die Flächen bei Erbsen um 17 % und bei Lupinen um fast 20 % auf 23.400 ha zurückgingen (BMEL, 2019).

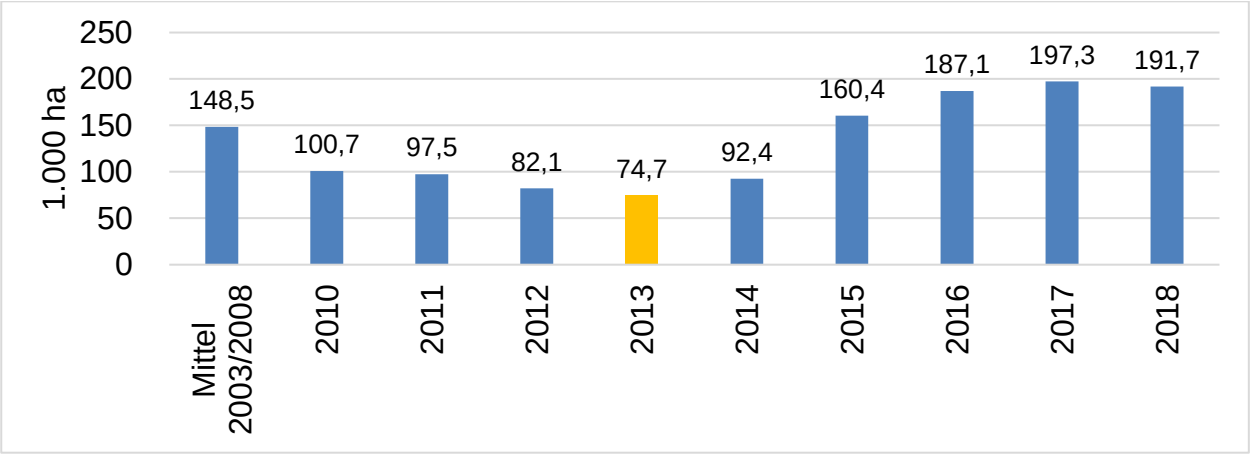


Abbildung 4: Anbau von Leguminosen zur Körnergewinnung in Deutschland

Quelle: Statistisches Bundesamt; nach einer Tabelle des BMEL (2019): Eiweißpflanzenstrategie, Erstellung der Abbildung durch die LFA, Nachwachsende Rohstoffe, https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html, Zugriff am 12.05.2020

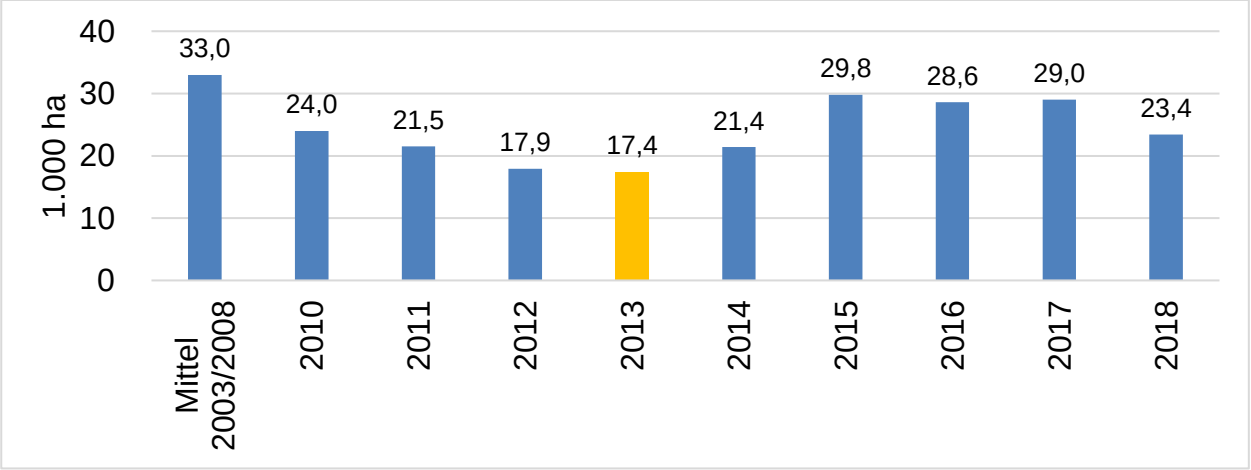


Abbildung 5: Anbau von Süßlupinen zur Körnergewinnung in Deutschland

Quelle: Statistisches Bundesamt; nach einer Tabelle des BMEL (2019): Eiweißpflanzenstrategie, Erstellung der Abbildung durch die LFA, Nachwachsende Rohstoffe, https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html, Zugriff am 12.05.2020

Für die Vielfalt auf den Flächen und für viele weitere Aspekte ist eine Ausweitung bzw. die Förderung des Leguminosenanbaus erstrebenswert.

Vorteile des Leguminosenanbaus sind:

- Auflockerung enger Fruchtfolgen
- Lieferung zusätzlicher Trachten für Honig- und Wildbienen
- Reduzierter Einsatz von Stickstoffdüngemitteln und dadurch CO_2-Einsparung und höhere Energieeffizienz
- Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit
- Positive Humuswirkung
- Positive phytosanitäre Einflüsse im Rahmen der Fruchtfolge

- Besseres Wasserhaltevermögen der Böden
- Zunahme der Regenwurmpopulation
- Tiefe Durchwurzelung, Aufschluss von Bodenschadverdichtungen

Auflistung nach BMEL (2016), Eiweißpflanzenstrategie

3.5. Nachwachsende Rohstoffe und Biogasproduktion in Deutschland

Laut Definition sind Nachwachsende Rohstoffe Produkte, die land- und forstwirtschaftlich erzeugt werden und nicht als Nahrungs- oder Futtermittel verwendet werden. Sie dienen der Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen (Internetseite der FNR, 2019).

Durch die Förderung der Biogasproduktion zur Erzeugung von Energie wurden in den letzten Jahren viele Flächen für den Anbau von Energiepflanzen genutzt. Der Anbau von Mais ist in den letzten Jahren angewachsen, so das Umweltbundesamt (2015), mit entsprechenden Folgen für die Böden in ungünstigen Lagen. Laut FNR (2019) wurden im Jahr 2018 35 % der Maisanbaufläche für die Erzeugung von Biogas genutzt (Abbildung 6).

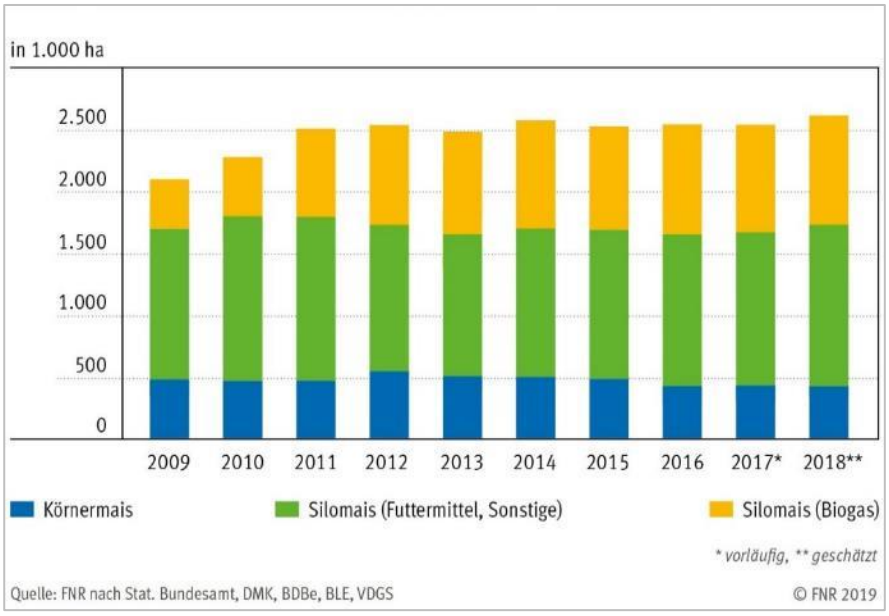


Abbildung 6: Entwicklung der Maisanbaufläche in Deutschland

Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) Stand 2019 https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/entwicklung-der-maisanbauflache-in-deutschland.html

Das EEG 2017 sieht jedoch keine generelle Förderung von Biogasanlagen vor, sondern setzt bei Biogasanlagen mit über 150 kW installierter Leistung auf Ausschreibungsverfahren. Kleinere Anlagen haben weiterhin Anspruch auf EEG-Förderung. Zudem ist die Beschränkung des Einsatzes bestimmter Substrate zur Erzeugung von Energie vorgesehen. Waren laut EEG 2014 noch 60 % Anteil an Getreidekorn oder Mais als Einsatzstoffe erlaubt, so sieht das EEG 2017 eine Senkung ab 2021 auf 44 % vor.

Laut BMEL (2019) wurden im Jahr 2018 22,7 % des gesamten Stroms aus erneuerbaren Energien aus Biomasse gewonnen. Die Verstromung von Biogas und Biomethan lieferte rund 32 Milliarden kWh. Dies macht deutlich, wie wichtig der Bereich der Erneuerbaren Energien für die Bereitstellung von Strom mittlerweile geworden ist. Mit der Herstellung von Biomethan geht hier eine Verantwortung einher, die Gewinnung der genutzten Substrate nicht einseitig zu gestalten, sondern auf Vielfalt, auch in Bezug auf den Anbau von Biogassubstraten zu achten, um die Biodiversität auf den Flächen zu fördern, und einseitigen Anbau zu vermeiden.

Böden dienen zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion, als Standort für Energie- und Industriepflanzen, als Fläche für den Bau von Siedlungen und Infrastruktur, zur Förderung von Rohstoffen sowie als Lagerstätte für Abfälle. Diese Möglichkeiten der Nutzung stehen oft in Konkurrenz, da es sich bei Boden um eine begrenzte Ressource handelt.

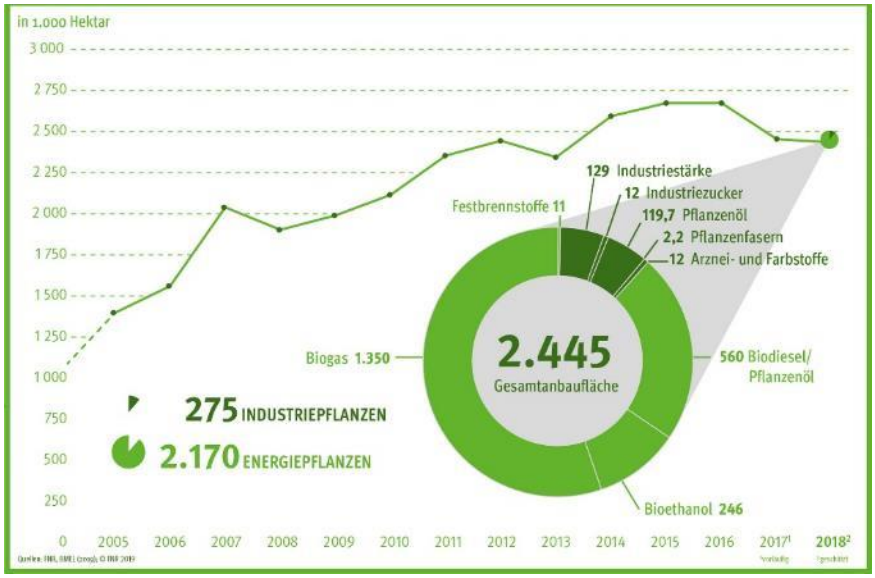


Abbildung 7: Entwicklung der Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe

Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Stand 2019 (https://mediathek.fnr.de/anbauflache-fur-nachwachsende-rohstoffe.html)

Laut FNR (2019) wurden Nachwachsende Rohstoffe im Jahr 2018 in Deutschland auf rund 2,4 Millionen Hektar angebaut (Abbildung 7). 2016 waren es noch rund 2,7 Millionen Hektar.

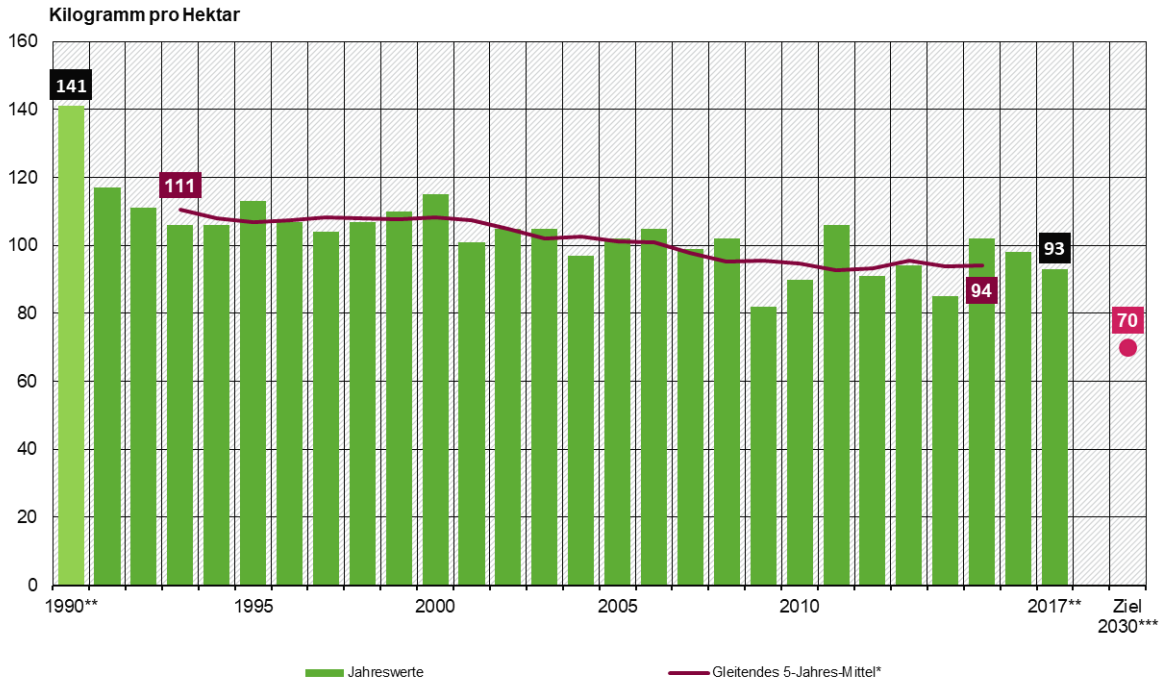
Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen sind Nachwachsende Rohstoffe erneuerbar. Außerdem können sie dazu beitragen dem Klimawandel etwas entgegenzuwirken, da bei ihrer Nutzung weniger Treibhausgase freigesetzt werden als bei der Nutzung fossiler Rohstoffe.

3.6. N-Dünger Einsatz in Deutschland und Reduzierungspotential

Damit die Nutzpflanzen gute Erträge bringen, ist unter anderem das Düngen mit Stickstoff eine wichtige Maßnahme in der Landwirtschaft. Ziel ist es, die Pflanzen bedarfsgerecht zu düngen, um Überdüngung der Flächen zu vermeiden. Dies gelingt aus verschiedenen Gründen nicht immer. Durch das übermäßige Einbringen von Stickstoff in die Umwelt wird Land- und Wasser-Ökosystemen großer Schaden zugefügt. Laut Umweltbundesamt (2019a) wurden die Einträge aus Abwässern in den letzten Jahren zwar deutlich reduziert, jedoch erweisen sich die Stickstoff-Einträge aus der Landwirtschaft noch immer als sehr problematisch. Laut Berechnungen des BMEL (siehe Anhang), reichen die Bemühungen zur Reduzierung des Stickstoffdüngereinsatzes in der Landwirtschaft nicht aus.

Die Abbildung 8 zeigt den Stickstoffüberschuss aus Grundwasser, Oberflächengewässern und Luft, der anhand der Stickstoff-Gesamtbilanz dargestellt wird.

Tendenziell ist zwar ein Rückgang der Überschüsse zu verzeichnen, jedoch entstehen auch heute noch zu hohe Stickstoff-Überschüsse, welche sich aus den in Abbildung 10 aufgezeigten Bereichen ergeben.



jährlicher Überschuss bezogen auf das mittlere Jahr des 5-Jahres-Zeitraums
1990: Daten zum Teil unsicher, nur eingeschränkt vergleichbar mit Folgejahren, 2017: vorläufige Daten

Abbildung 8: Saldo der landwirtschaftlichen Stickstoff-Gesamtbilanz in Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche

Quelle: Stickstoffüberschuss und Landwirtschaft, Umweltbundesamt, Stand 2019 (https://www.umweltbundesamt.de/indikator-stickstoffueberschuss-der-landwirtschaft)

Laut Umweltbundesamt (2017) stammten allein im Jahr 2017 53 % der Stickstoffzufuhr aus Mineraldüngern des deutschen Agrarsektors, wobei der Input aus in- und ausländischen Tierfuttermitteln, Leguminosen sowie aus Saat- und Pflanzgut in diesen Wert noch nicht mit einbezogen wurden. Der eingebrachte Stickstoff-Anteil der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer beläuft sich auf ungefähr 20 % der in Deutschland ausgebrachten mineralischen Stickstoffdünger.

Die im April 2017 verabschiedete überarbeitete Düngeverordnung beinhaltet unter anderem nun auch Obergrenzen für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern pflanzlichen Ursprungs. Es wurden verpflichtende Düngeplanungen nach bestimmten Vorgaben mit eingeführt.

Auch der zulässige Flächenüberschuss soll im Mittel der Jahre ab 2028 bis 2032 auf 70 kg/ha*a gesenkt werden (UBA 2019b, Abbildung 8).

In Gebieten mit besonders stark nitratbelastetem Grundwasser sowie Eutrophierung durch Phosphat sollen des Weiteren zusätzlich zur geltenden Düngeverordnung regional angepasste Maßnahmen durchführt werden.

Das ebenfalls überarbeitete Düngegesetz hat es sich zum Ziel gemacht, die Stoffströme eines jeden Betriebes transparent zu machen, und somit eine bessere Kontrolle über Nährstoffüberschüsse zu gewährleisten. Nach Angaben des Umweltbundesamtes (2019a) wurden im Jahr 2017 ca. 673.000 t der Stickstoff-Verbindung Ammoniak in die Luft eingetragen (Abbildung 10). Ungefähr 95 % davon entstammten der Landwirtschaft. Vor allem der Tierhaltungssektor sorgte für den starken Eintrag. Die Einträge aus der Mineraldüngeranwendung und der Biogasproduktion wiesen einen wesentlich geringeren Beitrag auf.

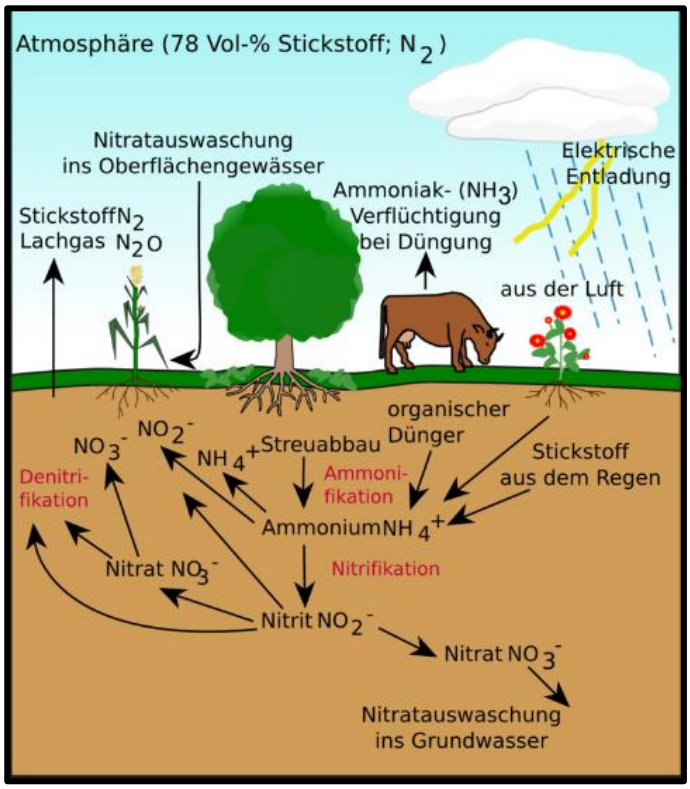


Abbildung 9: Stickstoff-Kreislauf

Quelle: https://www.abiweb.de/biologie-oekologie/oekosysteme/stoffkreis.html

Die düngende und versauernde Wirkung von Ammoniak verändert bei zu hohem Ammoniak-Eintrag in die Umwelt in natürlichen sowie naturnahen Ökosystemen die Artenzusammensetzung und führt zu einem Rückgang der Artenvielfalt (UBA, 2017 und LfU, 2018). In Teilen Norddeutschlands mit intensiver Tierhaltung werden die ökologischen Belastungsgrenzen bereits überschritten. Zudem ist Ammoniak auch wandelbar in andere stickstoffhaltige Verbindungen (Feinstaub, Nitrat in Grundwasser, Lachgas). Die Abbildung 9 verdeutlicht den Stickstoff-Kreislauf.

Mit der NEC-Richtlinie (Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG) des Europäischen Parlamentes und des Rates soll die Umweltverschmutzung durch Luftschadstoffe reduziert werden. Für jeden EU-Mitgliedsstaat gelten andere Höchstmengen, die einzuhalten sind. Laut Artikel 1, Absatz (1) „Ziele und Gegenstand“ legt die Richtlinie die Emissionsreduzierungsverpflichtungen für die anthropogenen Emissionen in den Mitgliedsstaaten fest.

Ab 2010 hat sich Deutschland in diesem Zusammenhang zu einer NH_3-Emissions-Höchstgrenze von 550 Kilotonnen pro Jahr verpflichtet. Bisher wurde diese Höchstgrenze regelmäßig um ca. 20 % überschritten (Thünen-Institut, 2020). Die 2016 verabschiedete Neuerung der Richtlinie sieht keinen fixen Wert mehr bezüglich der NH_3-Senkung vor, sondern eine Reduzierung der NH_3-Emissionen um einen prozentualen Wert. Basisjahr ist das Jahr 2005.

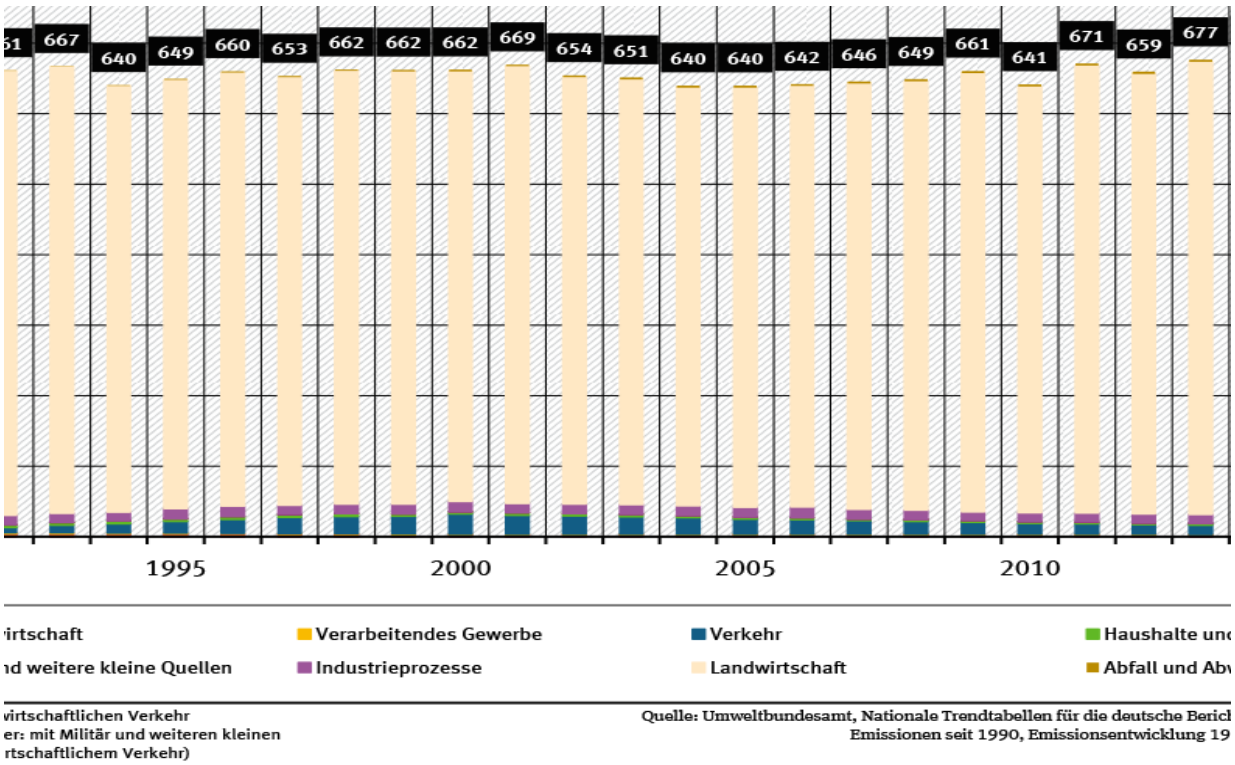


Abbildung 10: Ammoniak-Emissionen nach Quellkategorien

Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#textpart-1

Den aktuellen Emissionsdaten des Basisjahres zufolge gilt dann ab dem Jahr 2030 eine Emissions-Obergrenze von 454 kt. Die deutsche Landwirtschaft verursacht ca. 95 % der nationalen NH_3-Emissionen (Gülle, Mist, Jauche, Gärreste aus Biogasanlagen). Daher ist hier der Handlungsdruck besonders hoch (Thünen-Institut, Internetauftritt 2020). Das neue Düngegesetz von 2017 soll dazu beitragen, dass die gesetzten Ziele in der Reduktion von Ammoniakemissionen in Deutschland gegenüber 2005 schrittweise um fünf Prozent ab 2020 erreicht werden. Für die vorgesehene Reduktion bis 2030 sind voraussichtlich noch Anpassungen in der Umsetzbarkeit notwendig.

3.7. Humus in Deutschland

3.7.1. Bodenstruktur

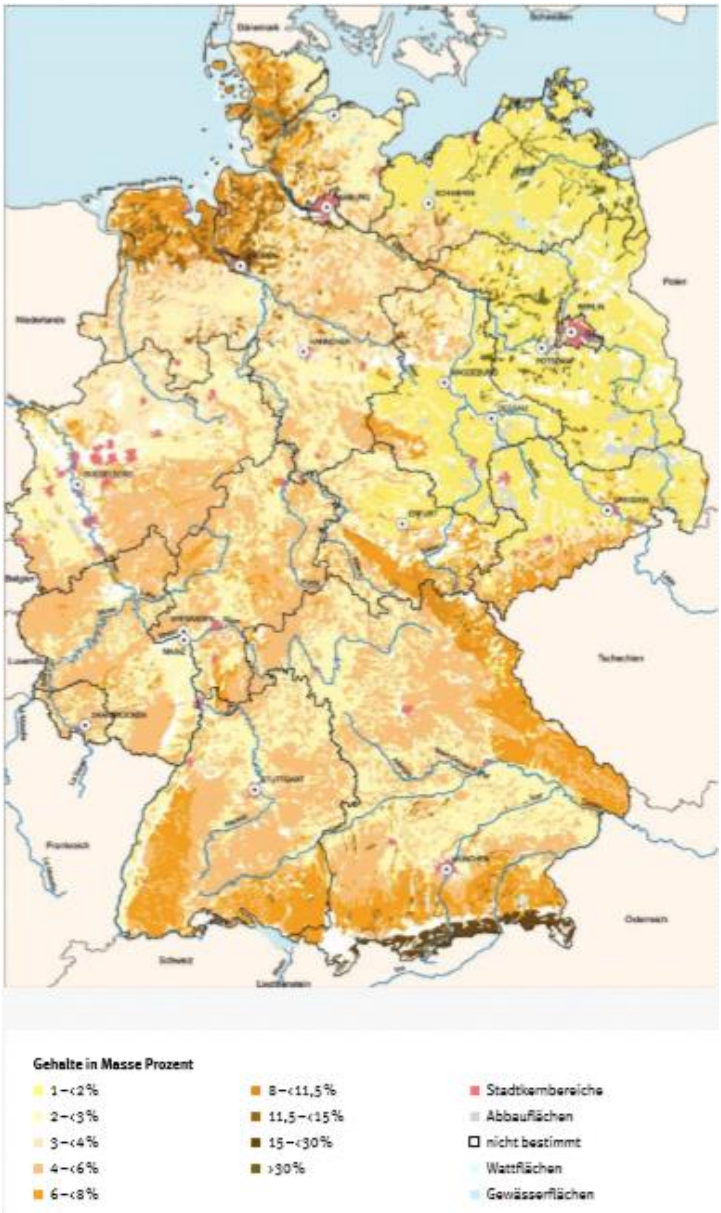


Abbildung 11: Verteilung der organischen Bodensubstanz in den Oberböden Deutschlands

Quelle: *"Bodenzustand in Deutschland zum internationalen Jahr des Bodens 2015", Umweltbundesamt*

Die Einwirkung von Substanzen (z. B. Dünger) verändert den Chemismus der Böden sowie die Bodenstruktur. Bodenerosion jeglicher Art sowie auch die Verdichtung des Bodens können aus der menschlichen Bodenbewirtschaftung resultieren oder werden durch diese um ein Vielfaches beschleunigt und verstärkt (UBA, 2015).

Die Folge der stetigen Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Land-, Forst- und Baumaschinen ist die Erhöhung des Gewichts. Aus dem Befahren der Flächen mit diesen Maschinen resultieren Bodenverdichtungen, welche Versickerung von Regenwasser und die Lebensbedingungen für Bodenorganismen beeinträchtigen. Diese Beeinträchtigungen gehen mit einer Minderung der Funktionsfähigkeit der Böden sowie mit einer Verringerung der landwirtschaftlichen Erträge einher. Da die land-

wirtschaftliche sowie die forstwirtschaftliche Fläche in Deutschland den größten Teil der Flächennutzung ausmachen, gefolgt von Siedlungs- und Wohnflächen, ist es wichtig hier auf die Vorsorge von Bodenverdichtung besonderes Augenmerk zu legen, um den Schutz der Böden zu gewährleisten.

Dem Umweltbundesamt (2015) zufolge liegen keine Messwerte über die Entwicklung von Verdichtungen in Deutschland vor. Aus punktuellen Messungen konnte jedoch geschätzt werden, dass auf 10 – 20 % der Ackerfläche Beeinträchtigungen durch Verdichtungen vorliegen. In Mecklenburg-Vorpommern werden zwei Drittel der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt (UBA, 2010). Die großflächigen Wälder wurden in der Vergangenheit gerodet, was zum Abtrag der Bodenschichten und deren Verlagerung führte. Durch die intensive Landwirtschaft besteht auch heute noch ein Erosionsrisiko durch Wasser und Wind. Deutschlandweit liegen auf ca. 50 % der Ackerfläche Eigenschaften vor, die, falls Verdichtung auftritt, zu einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führen können.

3.7.2. Organische Bodensubstanz

Die Bodenqualität lässt sich unter anderem an der organischen Bodensubstanz messen. Sie übernimmt eine wesentliche Funktion als Speicher- und Puffermedium für Wasser-, Nähr- und Schadstoffe sowie als Steuerglied des Nähr- und Schadstoffrückhaltevermögens der Böden und wirkt strukturbildend. Neben der Funktion als wesentliche Lebensgrundlage für die Bodenorganismen nimmt sie als Speichermedium für Kohlenstoff eine zentrale Funktion im Kohlenstoff-Kreislauf ein (UBA, 2015). Nach Auswertungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007) steigen die Humusgehalte in den Oberböden in folgender Reihenfolge an: Acker – Forst – Grünland (

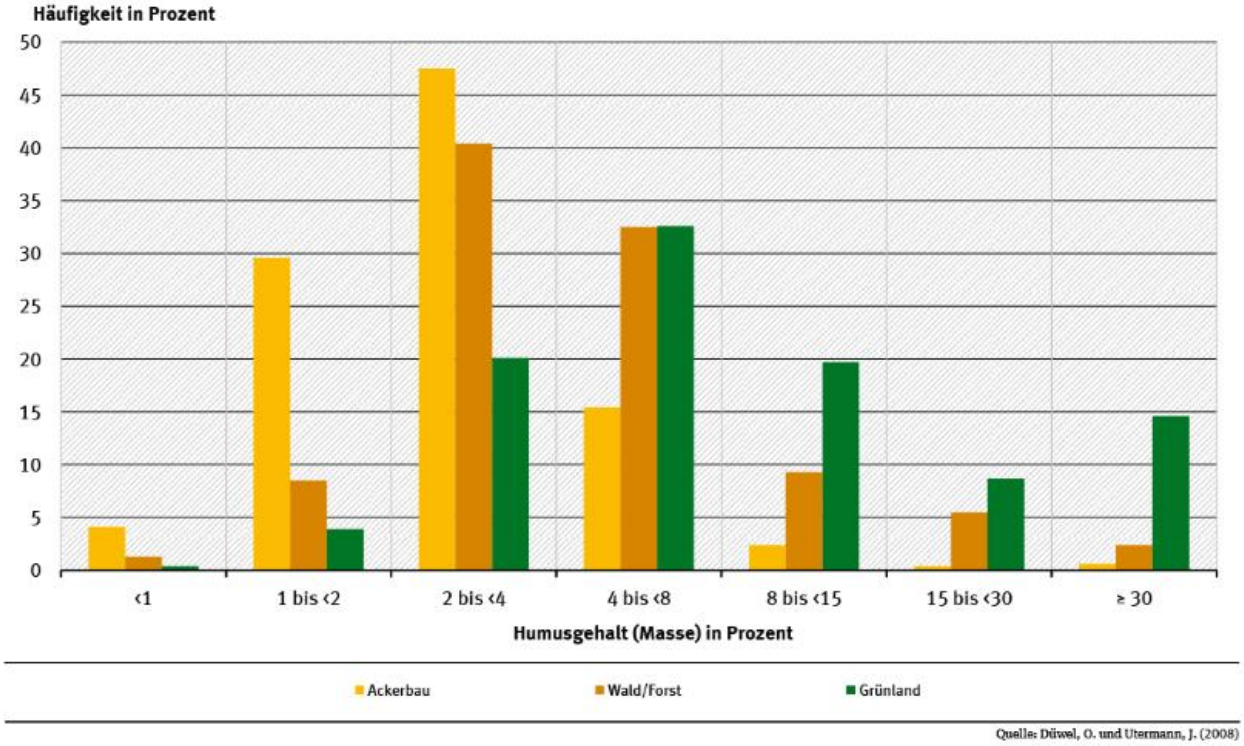


Abbildung 12). Die Abbildung 11 zeigt Medianwerte der Humusgehalte in der Fläche. Hierauf ist zu erkennen, dass die Böden in Nordostdeutschland sehr geringe Humusgehalte aufweisen.

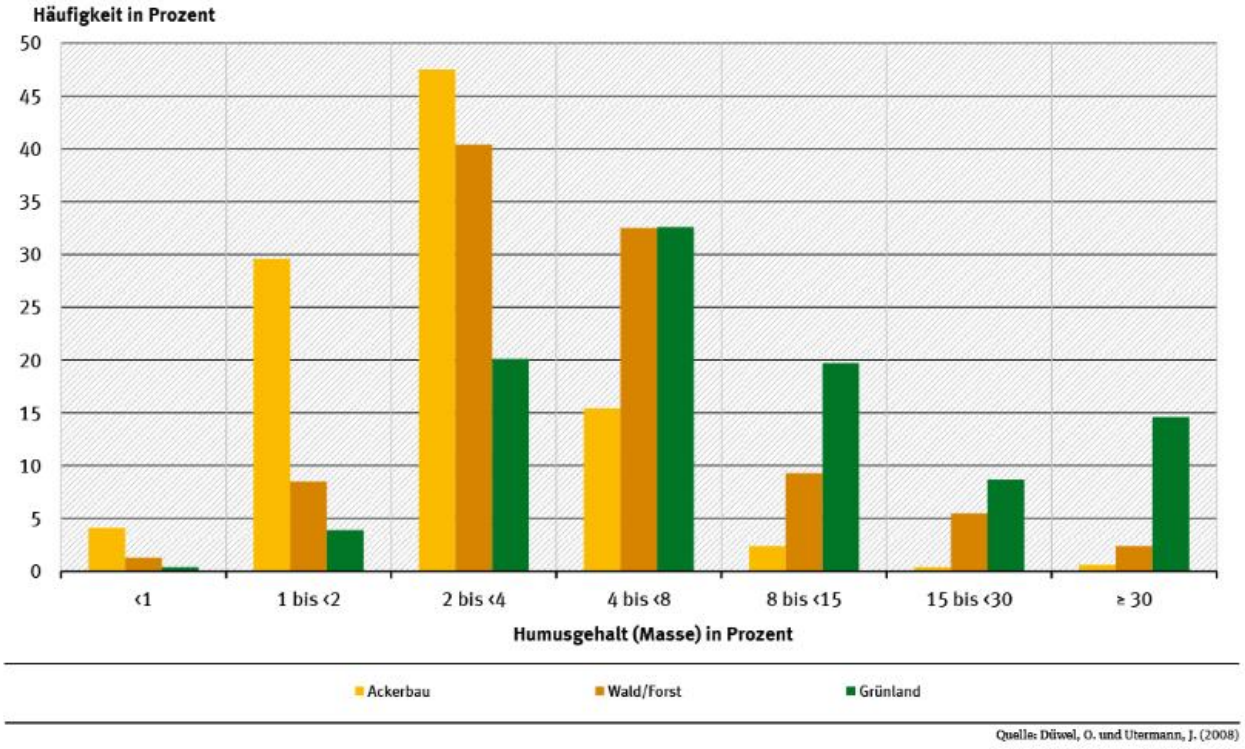


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilungen der Humusgehalte (Klassen nach KA5)

Quelle: Umwelt Bundesamt, 2019, Stand 2008 (https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/humusstatus-der-boeden#textpart-2)

Auswertungen belegen, dass regional unterschiedliche Faktoren die Ausprägung der Humusgehalte bestimmen. Während z.B. im Alpenvorland als dominierender Einfluss die Niederschläge erkennbar sind, sind die trockenheitsgeprägten Sande im Nordosten zu finden, während im humiden Teil Nordwestdeutschlands der Humusgehalt durch die anstehenden Tone bestimmt wird. Veränderungen in der Landnutzung brachten in der Vergangenheit auch immer Veränderungen der Humusgehalte. Der Umbruch von Grünland zur Ackernutzung zieht eine steigende Mineralisierung und damit CO_2-Freisetzung nach sich, womit der Humusgehalt in den Böden sinkt (UBA, 2015). Um Moore und andere stark humose Böden zu schützen, haben einige Bundesländer Umbruchverbote erlassen.

Der Erhalt der Bodenfunktionen und Vermeidung weiterer Bodenqualitätseinbußen durch eine Stärkung des Bodenschutzes sind Wille und Ziel der EU-Kommission. Die Stärkung des Bodenschutzes in Europa könnte durch europarechtliche Vorgaben geschehen, wodurch Europa gleichzeitig seine Vorbildfunktion in Bezug auf den internationalen Bodenschutz unterstreichen würde, so das UBA (2015).

3.8. Biodiversität auf den Flächen

Aufgrund der intensiven Flächennutzung wird der Landwirtschaft in Deutschland in Bezug auf den Erhalt der biologischen Vielfalt eine herausragende Verantwortung zuteil. Nachhaltige Formen der Landnutzung sowie ein schonender Umgang mit der Natur sind die Voraussetzung zum Erhalt bzw. der Herstellung der biologischen Vielfalt. Ein Indikator der Messung der biologischen Vielfalt ist das Vorkommen von Vogelbeständen in unterschiedlichen Landschaftstypen. Hierbei stellte sich die Landwirtschaft als der Landschaftstyp heraus, bei dem der stärkste Rückgang der Vogelbestände zu verzeichnen ist (UBA, 2018).

Dadurch wird besonders deutlich, dass die biologische Vielfalt vor allem in ländlichen Regionen Deutschlands durch intensive Landwirtschaft und den damit verbundenen intensiven Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie engen Fruchtfolgen, zu großen Flächen und zu wenig bis

keinen strukturierenden Landschaftselementen, hohen Viehbesatzdichten und Bodenverdichtungen durch schwere Maschinen stark gefährdet ist.

Laut Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll der Vogelbestands-Wert bis 2030 auf 100 % steigen. Mit den zurzeit geltenden politischen Maßnahmen und Instrumenten kann dieses Ziel nur durch enorme Anstrengungen erreicht werden (UBA, 2018).

3.8.1. Steinklee und Biodiversität am Beispiel der Wildbienen

Dass der Lebensraum für Wildbienen erhalten bleibt bzw. geschaffen wird, ist nicht nur in Bezug auf die Biodiversität in unserer Landschaft wichtig. Wildbienen übernehmen einen großen Teil der Bestäubung unserer Kulturpflanzen. Rund 80 % der 109 wichtigsten Kulturpflanzen der gemäßigten Breiten sind abhängig von tierischer Bestäubung (Ollerton et al., 2011; FiBL, 2016). Es wurde durch sie eine höhere Fruchtqualität und/oder –quantität erreicht (Chagnon et al., 1993). Wild- und Honigbienen tragen gemeinsam mit anderen Bestäuber-Taxa zur Produktion von 35 % der Lebensmittel bei, die weltweit produziert werden. Eine Reduzierung der Bestäubungsleistung könnte die Ernten weltweit um ca. 40 % reduzieren (Klein, 2007; Stein, 2017).

Neben den bodensanitären Einflüssen und den Nutzungsmöglichkeiten des Steinklees kann dieser in der Zeit der Trachtlücke, in der durch die Nahrungsnot Wachstumsstopps bei Bienenvölkern und Wildbienen jeder Lebensweise sowie eine höhere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten bestehen, als Nahrungsgrundlage fungieren.

Das Artenspektrum der Wildbienen an einem Ort ist unterschiedlich, da sich die Ansprüche an den Lebensraum stark unterscheiden können. Der Flugradius von Wildbienen ist sehr begrenzt. Daher sind die unterschiedlichen Wildbienenarten darauf angewiesen, dass sich Nistplatz, Nahrungsquellen und Ressourcen für den Bau des Nestes in ausreichender Menge und artspezifisch in unmittelbarer Nähe befinden (Westrich, 2015). Steinklee wird von ca. 30 Wildbienenarten angeflogen (Westrich, 1989). Somit bietet der Anbau von Steinklee auf armen Standorten in der Nähe von landschaftlichen Strukturen (z.B. Böschungen, Waldrändern, Hängen) eine gute Möglichkeit, Wild- und Honigbienen Nahrung zur Verfügung zu stellen.

Mit dem Anbau von Steinklee und der Förderung von Wildbienen durch die Berücksichtigung der oben genannten Lebensraumansprüche kann dem Verlust der organischen Bodensubstanz und dem Verlust von Fluginsekten entgegengewirkt werden. Gleichzeitig können angrenzende landwirtschaftliche Flächen von der Ansiedlung der Bestäuber durch eine mögliche Erhöhung der Fruchtqualität und der Erträge profitieren. Das Vorhandensein verschiedener Nützlinge wie Schwebfliegen und Raubwanzen, welche bezüglich der Schädlingsregulierung der angrenzenden Kulturen nützlich sein können, ist ein weiterer Vorteil.

Dass zwischen dem Vorkommen und der Artenvielfalt von Wildbienen ein enger Zusammenhang zur Pflanzenvielfalt besteht, wurde bereits nachgewiesen (Ostermaier, 2017). Daher sind Blühmischungen, welche aus für den Naturraum typischen Arten bestehen, ökologisch besonders wertvoll.

Wichtig ist, dass sich der positive Effekt des Anbaus von Blühflächen und Blühstreifen nicht ins Gegenteil verkehrt, wenn dafür Restareale genutzt werden, welche bisher noch nicht landwirtschaftlich erschlossen waren, da diese Flächen als letzte Rückzugsorte für Wildbienen im Agrarraum dienen (Schmid-Egger & Witt, 2014).

Eine Idee von Schmid-Egger & Witt (2014) ist die Anlage von Blühflächenverbundsystemen und somit eine langfristige Integration von Blühflächen bzw. Blühstreifen in die Agrarlandschaft.

Honigbienen und Wildbienen sind wichtig für die Bestäubung unserer Kulturpflanzen. Die Bestäubung von Kulturpflanzen passiert vollständiger, je mehr Bestäuberarten auf der Fläche vorhanden sind. Die verschiedenen Bienenarten fliegen die Pflanzen zu unterschiedlichen Zeiten und auf unterschiedliche Weise an und sorgen so für eine effektive Bestäubung (Steffan-Dewenter, 2014).

3.9. Anbau und Nutzung von Steinklee

3.9.1. Steinklee und Bodenschutz

Der Vorfruchtwert von Steinklee ist außerordentlich hoch. Das starke Pfahlwurzelsystem spielt dabei die wichtigste Rolle, da die Pflanzen in der Lage sind, Bodenverdichtungen zu durchdringen und den Untergrund zu erschließen. Dadurch werden die Wasser- und Nährstoffversorgung auch für die Nachfrucht verbessert, schwerlösliche Phosphate aufgeschlossen und in der Symbiose mit Rhizobien Luftstickstoff gebunden. Bodenlockerung, Humusaufbau und Beförderung der Bodenbiologie sind die Folgen der reichen Wurzelbildung. Die hohe Bodenbeschattung des Steinklees begründet einen guten Garezustand des Oberbodens (Becker-Dillingen, 1929; Blecken, 1948; Remer, 1954; Kutschera, 1960; Simon, 1960a; Kreuz, 1965; Petersen, 1967). Im Gegensatz zu Mais und anderen Gramineen, die in unserer Kulturlandschaft vermehrt angebaut werden, gehört der Steinklee zu einer anderen Pflanzenfamilie. Daher ist der Anbau auch aus phytosanitärer Sicht vorteilhaft. Eine Neutral- bzw. Feindwirkung gegenüber einigen Nematoden wird dem Steinklee ebenfalls nachgesagt (Decker 1963; Reents et al. 2009).

Neben der Verbesserung der Ertragssicherheit und –höhe aufgrund der guten Vorfruchtwirkung bringt die N-Fixierung ökonomische und ökologische Vorteile für die Folgefrüchte. Die Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität durch die Lockerungswirkung der Pfahlwurzeln ist in der Nachfrucht möglich.

Die folgenden Informationen zum Anbau und zur Nutzung von Steinklee stammen größtenteils aus den Literaturrecherchen und den Anbauergebnissen des vorangegangenen Projektes „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“. Im Demonstrationsanbau des Projektes „Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“ konnten vor allem die Angaben zu Standortansprüchen, Aussaat, mechanischer Unkrautbekämpfung, Gründüngung, Ernte, Ertrag und Biogasnutzung bestätigt werden. Nicht alle Angaben zu Anbau und Nutzung von Steinklee konnten in ihrer kompletten Breite im Demonstrationsanbau getestet werden.

3.9.2. Anbau von Steinklee

3.9.2.1. Standortansprüche

Steinklee benötigt einen mindestens schwach sauren Boden, jedoch keinen sauren. Nach Ausbildung der Überwinterungsorgane ist er sehr winterhart. Temperaturen von unter - 30 °C im Winter und Kälteeinbrüche im Frühjahr von - 3 – - 6 °C verträgt er. Außerdem ist er nässetolerant sowie nach der Etablierung sehr dürreverträglich und salztolerant. Auf Böden mit geringer Bodenfruchtbarkeit kann er beachtliche Bestände bilden. Auf reinen Sandböden ist der Anbau allerdings risikoreich.

3.9.2.2. Sortenwahl

Steinkleesorten sind derzeit auf dem deutschen Markt nicht verfügbar. Es gibt einjährigen sowie zweijährigen Steinklee. Der zweijährige Steinklee zeigt eine höhere Ertragsleistung und ist auch für sandige Böden wegen des hohen Maßes an Wurzelbildung vorteilhaft, da so der Humusgehalt des Bodens erhöht werden kann. Durch die Ansiedlung von Rhizobien wird mit dem Anbau von Steinklee Stickstoff im Boden angereichert, was den Einsatz von N-Düngern reduzieren kann. Steinklee ist cumarinhaltig und daher für die Tierernährung ungeeignet. Im Vergleich gilt der Weiße Steinklee als ertragreicher, der Gelbe Steinklee hingegen als trockenheitstoleranter.

3.9.2.3. Bodenbearbeitung/ Aussaat

Steinklee ist kleinsamig. Für ein gleichmäßiges Auflaufen wird ein feines abgesetztes Saatbett empfohlen. Bei Trockenheit während der Aussaat wird ein Anwalzen zur verbesserten Keimung angeraten.

Tabelle 2: Angaben zur Aussaat

Angaben zur Aussaat	
Keimphase	9-12 Tage
Mindestkeimtemperatur	2 °C
Kornablage	1-3 cm*
Boden- oder Saatgutimpfung vor Erstaussaat des Steinklees empfohlen (Rhizobiengruppe 2 , wie Luzerne)	
Mögliche Aussaattermine	
frühe Frühjahrsaussaat (empfohlen)	Februar-März
späte Frühjahrsaussaat (gleichwertig bei ausreichender Bodenfeuchte)	ggf. nach Futter- oder Wickroggen bis Mitte Mai
späte Aussaat (sehr unsicher)	vor Mitte August
*bei sandigen Böden und wenig Feuchte	

Die Drillsaat hat sich bewährt, jedoch ist eine Breitsaat auch möglich.

Große Trockenheit bei der Aussaat kann eine stark verminderte Keimung sowie Hartschaligkeit der Samen zur Folge haben. Zur Nachfrucht wird eine Minimalbodenbearbeitung empfohlen.

3.9.2.4. Düngung

Günstig ist ein Boden-pH-Wert von 5,8. Eine pH-Wert absichernde Kalkung kann zu den Vorfrüchten oder zur Saat stattfinden. Empfohlen wird eine zusätzliche Keimbettkalkung mit 20 dt $CaCO_3$/ha, da Steinklee in der Keimphase bis hin zur Jugendentwicklung empfindlich auf zu niedrige pH-Werte reagieren kann. Zur Förderung der Jugendentwicklung ebenso wie zur Förderung der Bildung von Knöllchenbakterien erfolgt die P-Gabe.

Bei Bodennährstoffgehalten der Gehaltsklasse C ist eine Düngung je nach Nährstoffentzug durchzuführen. Nur bei bekanntem Mangel sind zur Deckung des Mikronährstoffbedarfs Mo, B und gegebenenfalls Co als Saatgutbehandlung, oder als Blattdüngung zu verabreichen. Schwefel sollte zur Vorbeugung von Wachstumsdepressionen gegeben werden.

Bei einer Nutzung des Steinklees für die Biogasanlage werden N, P und K mit den Steinkleepflanzen von der Fläche entnommen. Eine mögliche Nährstoffabfuhr von der Steinkleefläche könnte dann wie folgt aussehen:

N [kg/dt TM]	**P [kg/dt TM]**	**K [kg/dt TM]**
18,62	0,32	2,51

Soll eine Grundnährstoffversorgung über organische Düngung erfolgen, muss beachtet werden, dass der Steinklee als Leguminose keinen oder nur einen sehr geringen Stickstoffbedarf besitzt.

3.9.2.5. Fruchtfolge

Steinklee kann als Hauptfrucht (Frühjahrsblanksaat) sowie als Zweitfrucht nach einer Winterzwischenfrucht angebaut werden. Der Anbau ist eine gute Ergänzung zum Maisanbau. Von Vorteil sind die flexiblen Aussaat- und Erntespannen (Abbildung 13).

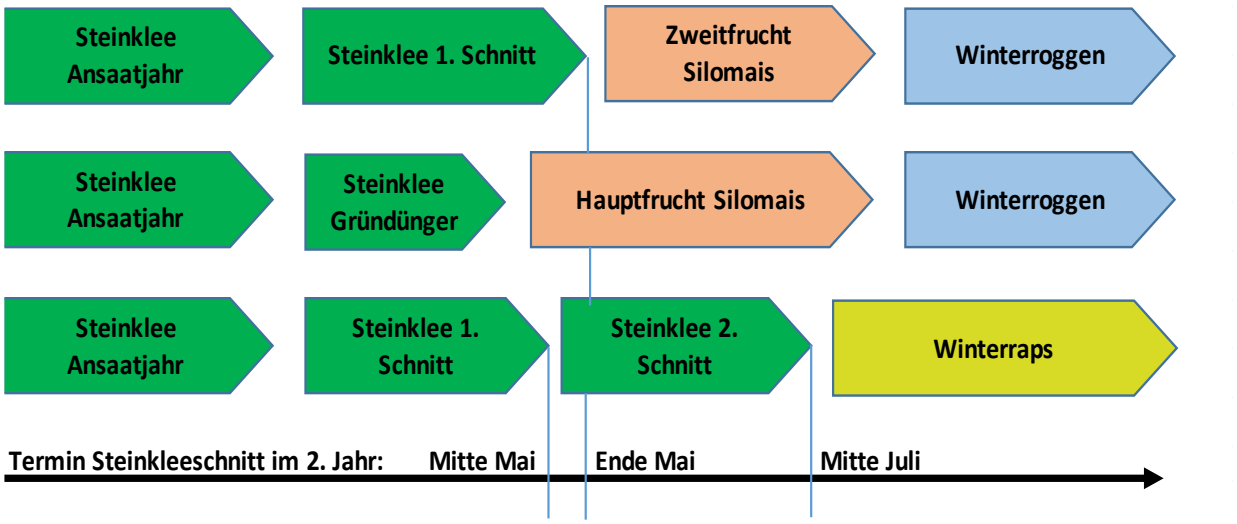


Abbildung 13: Mögliche Einordnung d. Steinklees in die Fruchtfolge

Quelle: I. Bull, verändert durch J. Schneider

3.9.2.6. Unkrautbekämpfung

Unkrautkonkurrenz kann in den ca. 40 - 60 Tagen nach Auflaufen des Steinklees zur Ertragsminderung führen. Im zweiten Vegetationsjahr hingegen hat Steinklee eine beikrautunterdrückende Wirkung. Im Demonstrationsanbau hat sich die mechanische Unkrautbekämpfung bewährt. Möglich sind jedoch generell die in Tabelle 3 dargestellten Maßnahmen.

Tabelle 3: Maßnahmen zur Wildkrautregulation im Steinklee

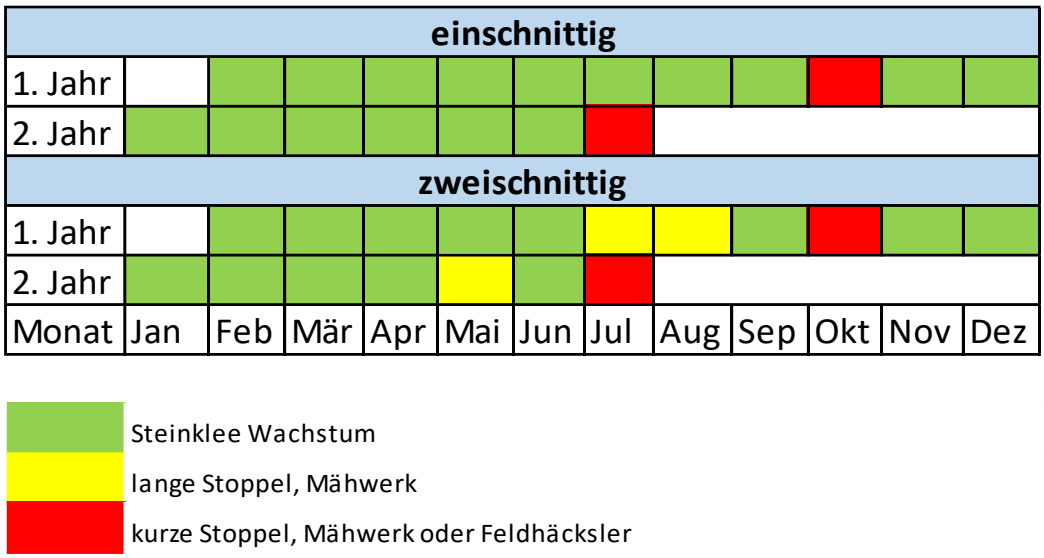
Maßnahme	Wirkung
pflanzenbaulich	Nutzung einer Deckfrucht zur Unterdrückung des Beikrauts
mechanisch	Striegeln (3-4 Tage nach Aussaat), hoher Schröpfschnitt
chemisch	Einsatz leguminosenschonender Herbizide Grundsätzlich wird der Einsatz von Herbiziden nicht empfohlen. Herbizide, die für alle Kleearten zugelassen sind, lassen sich bei Bedarf einsetzen. Für alle anderen chemischen Anwendungen muss immer eine Sondergenehmigung beim zuständigen Pflanzenschutzdienst beantragt werden.

3.9.2.7. Ernte

Aussaattermin und Ernteverfahren beeinflussen, ob der Steinklee in einem Jahr zwei Mal genutzt werden kann. Um eine zweimalige Nutzung innerhalb eines Jahres zu gewährleisten, müssen die vegetativen Stängelknospen erhalten bleiben. Daher ist ein Schnitt mit langen Stoppeln oberhalb der aktiven Achselknospen (11 – 20 cm) von großer Bedeutung. Dieser kann mit dem Mähwerk durchgeführt werden.

Soll die folgende Nutzung jedoch erst nach der Überwinterung erfolgen, so kann der Steinklee nach Anfang Oktober (mit dem Feldhäcksler) auf kurze Stoppeln geschnitten werden. Auch im zweiten Anbaujahr muss ein erster Schnitt, nach dem ein Wiederaustrieb gewünscht wird, mit langen Stoppeln erfolgen. Der abschließende (zweite) Schnitt kann wieder bodennah durchgeführt werden.

Tabelle 4: Mögliche Erntetermine (Schnittzeit, Stoppellänge, Technik)



3.9.2.8. Ertrag

In Abhängigkeit des Standorts, der Nutzungsform sowie des Aussaatverfahrens kann mit folgenden Erträgen kalkuliert werden:

Tabelle 5: Ertragspotential von Steinklee in den verschiedenen Nutzungsjahren

	Ertrag in dt TM/ha
Ansaatjahr	25-90
2. Nutzungsjahr	50-150

Quelle: Bull, 2013

Die Daten der Tabelle 5 stammen aus den Ergebnissen des Vorprojektes. Im Demonstrationsprojekt wichen die Daten im Ansaatjahr und im Hauptnutzungsjahr von denen des Vorprojektes um einige dt/ha TM ab (Tabelle 27). Aussaattermine, Wetterextreme und Flächenvoraussetzungen scheinen dafür der Grund gewesen zu sein.

3.9.3. Nutzung von Steinklee

3.9.3.1. Biogasanlage

Durch die Fütterung einer Labor-Biogasanlage mit Steinklee oder mit Steinkleeanteilen konnten in wissenschaftlichen Versuchen des vorangegangenen Projektes „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“ stabile Fermentationsprozesse erzielt werden.

Prozessstörungen, welche bei der alleinigen Vergärung von Mais auftraten, konnten durch die Substratmischung von Mais und Steinklee vermindert werden.

Es wurden keine Hemmungen im Biogasprozess durch den Cumaringehalt der Biomasse in den Konzentrationen, wie sie in den Pflanzen der cumarinreichen Herkünfte vorkommen (bis 0,6 % TS), beobachtet (Bull, 2013). Auch andere sekundäre Pflanzenstoffe des Steinklees oder hohe Ammonium- oder Schwefelwasserstoff-Gehalte aufgrund eines höheren Eiweißgehaltes im Vergleich zu Mais bewirkten keine Störung des Biogasprozesses. Eine Akkumulation der Hemmstoffe konnte in den Laborversuchen ebenfalls nicht beobachtet werden.

Mit einer Mais-Steinklee-Silage in einem Mischungsverhältnis von 2:1 wurden im Laborfermenter zwischen 87 % und 91 % des theoretischen Methanbildungspotentials bei einer Raumbelastung von 4,5 g oTM_k l^{-1} d^{-1} erzielt. Mit einem Güllezusatz konnte die Raumbelastung auf 5 g oTM_k l^{-1} d^{-1} bei allerdings verringerter Substratausnutzung erhöht werden.

Das Entwicklungsstadium der Pflanzen beeinflusst die Methanausbeute stark. Steinklee enthält im Vergleich zu Silomais mehr Rohfaser. Durch verschiedene Verfahren kann Lignin um die Zellulosefasern aufgebrochen werden. Damit wird erreicht, dass Zellulose für die Mikroorganismen zugänglich und die Gasausbeute gesteigert wird. Der sich ergebende Nutzen solcher Verfahren rechtfertigt bisher jedoch nur selten den Energie- und Apparataufwand.

3.9.3.2. Ökologische Vorrangfläche

Laut „*Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland", Ausgabe 2015 (Seiten 52, 53 und 113)*, fällt Steinklee unter die Rubrik stickstoffbindende Pflanzen (Tabelle 6). Die Pflanzen, welche in dieser Liste verzeichnet sind, können in Reinkultur sowie in Mischungen untereinander als ÖVF ausgewiesen werden. Dazu gelten jedoch bestimmte Auflagen, welche ebenfalls u.a. aus der oben genannten Quelle hervorgehen.

Laut EU-Agrarreform müssen sich die kleinkörnigen Leguminosen im Ansaatjahr mindestens vom 15. Mai bis zum 31. August auf der Fläche befinden. Hierbei ist zu beachten, dass der Zeitraum mit dem Tag der Aussaat beginnt.

Es besteht für den Steinklee und andere kleinkörnige Leguminosen die Möglichkeit der Schnittnutzung und Samengewinnung während dieses Zeitraums.

Nach den stickstoffbindenden Kulturen sind auf den Flächen Winterkulturen bzw. Winterzwischenfrüchte anzubauen, um Auswaschungen des gebundenen Nährstoffes entgegen zu wirken. Die Winterkulturen sind bis zum 15. Februar auf der Fläche zu belassen, wobei eine Verkürzung unter bestimmten Voraussetzungen bis max. 15. Januar beantragt werden kann.

Tabelle 6: Stickstoffbindende Pflanzen zum Anbau auf ÖVF

Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
Glycine max	Sojabohne
Lens spp.	Alle Arten der Gattung Linsen
Lotus corniculatus	Hornschotenklee
Lupinus albus	Weiße Lupine
Lupinus angustifolius	Blaue Lupine, Schmalblättrige Lupine
Lupinus luteus	Gelbe Lupine
Medicago lupulina	Hopfenklee (Gelbklee)
Medicago sativa	Luzerne
Medicago x varia	Bastardluzerne, Sandluzerne
Melilotus spp.	Alle Arten der Gattung Steinklee
Phaseolus vulgaris	Gartenbohne
Pisum sativum	Erbse
Trifolium alexandrinum	Alexandrinerklee
Trifolium hybridum	Schwedenklee (Bastardklee)
Trifolium incarnatum	Inkarnatklee
Trifolium pratense	Rotklee
Trifolium repens	Weißklee
Trifolium resupinatum	Persischer Klee
Trifolium subterraneum	Erdklee (Bodenwüchsiger Klee)
Onobrychis spp.	Alle Arten der Gattung Esparsetten
Ornithopus sativus	Seradella
Vicia faba	Ackerbohne
Vicia pannonica	Pannonische Wicke
Vicia sativa	Saatwicke
Vicia villosa	Zottelwicke
Quelle: Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland, Ausgabe 2015, BMEL; verändert durch J. Schneider, LFA	

3.9.3.3. Bienenweide

Als Bienennahrungs- und Nektarpflanze ist der Steinklee sehr wertvoll (Pätzold, 1961; Pritsch, 1958; Smith & Gorz, 1965; Simon, 1960a). Auch auf den Demonstrationsflächen im Zuge des Projektes wurde beobachtet (visuell und auditiv), dass die Steinkleeblüten hoch frequentiert von Bestäubern (Wild- und Honigbienen) besucht wurden.

Wird der Steinklee als Bienenweide genutzt, so schließt dies die Nutzung als Biogassubstrat weitgehend aus. Die Ernte des Steinklees in der Blüte wäre eine Gefahr für die Bienen. Die Ernte nach der Blüte bietet eingeschränkte Qualitäten als Biogassubstrat, da die Pflanzen holzig werden und die Inhaltsstoffe, wie sie für die Biogasanlage optimal wären, nicht mehr vorliegen.

Durch einen Ernteschnitt vor Blühbeginn kann die Zeit der Blüte gestaffelt werden. In Abhängigkeit von den Anbaubedingungen sowie von der Wüchsigkeit des Steinklees können pro Hektar 100 – 300 kg Honig gewonnen werden (Suvrov, 1950; Scheluto et al. 2007; Slapunov, 2008). Der Steinkleehonig ist hell, fest und qualitativ gut.

Nach Abblühen des Steinklees kann die Pflanze gemulcht und komplett in den Boden eingearbeitet werden und so als Gründünger zur Anreicherung organischer Substanz auf dem Feld genutzt werden.

Gegenwärtig kann der Anbau von Steinklee im Sinne des Greenings als Anbau von „stickstoffbindenden Pflanzen“ ausgewiesen werden. Hierbei ist die Schnittnutzung möglich.

3.9.3.4. Gründüngung

Steinklee ist durch sein starkes Wurzelsystem besonders dazu geeignet, (extreme) Verdichtungen im Boden aufzubrechen, und die Nährstoffaufnahme und Wasserversorgung der Folgekulturen zu verbessern. Die Verdichtungen durchdringende Pfahlwurzel kann den Boden so auflockern, dass die nachfolgende Bearbeitungsintensität reduziert werden kann (Organic Agriculture Centre of Canada 2008). Er kann, wie für Leguminosen typisch, Luftstickstoff mithilfe von Rhizobien binden. Dies kann zu einer Verringerung des N-Düngungsbedarfes in der Nachfrucht führen. Die Anreicherung von organischer Bodensubstanz durch den Verbleib der Wurzeln im Boden nach der Ernte stellt einen weiteren bodensanitären Effekt dar. Mit dem Anbau von Steinklee kann die Humusbilanz deutlich verbessert werden. Auch in viehlosen Betrieben könnte so Biomasse auf Dauer zur Energiegewinnung ohne Beeinträchtigung der Humusbilanz erzeugt werden (Scheluto et al. 2007).

3.9.3.5. Vermehrungsanbau

Beim Steinklee gestaltet sich der Samenbau recht einfach. Eine vorherige Schnittnutzung oder der Anbau auf sandigem Boden verhindert, dass technische Probleme aufgrund der evtl. sehr hohen Bestandeshöhen des Steinklees auftreten.

Tabelle 7: Möglicher Samenertrag in Abhängigkeit vom Schnitt

	Samenertrag [dt/ha]
1. Schnitt	7-12 (max. 20)
2. Schnitt	4 -11

Quelle: Bull (2013) nach Specht (1939); Blecken (1948); Simon (1960a); Specht et al. (1960); Smith & Gorz (1965)

Zwar können eine ungleichmäßigere Abreife und eine geringere Qualität der Samen mit der Gewinnung von Samen aus dem zweiten Schnitt verbunden sein (Skirde, 1957; Baskin & Baskin, 1988). Jedoch birgt eine hohe Wüchsigkeit auch das Potential eines zusätzlichen Ernteschnitts und somit einen höheren Steinkleeertrag. Die Tabelle 7 zeigt den potentiellen Samenertrag. Es sei darauf hingewiesen, dass der Steinklee nach der Blüte abstirbt und daher nur ein einmaliger Samenertrag möglich ist.

3.9.3.6. Silierung

Ergebnisse zur Silagequalität zeigen, dass Steinklee unter Beachtung der allgemeinen Silierregeln erfolgreich konserviert werden kann (Bull, 2013). Die sicherste Variante dabei ist die gemeinsame Konservierung mit einem kohlehydratreichen Material. Es wurde nachgewiesen, dass spezielle sekundäre Inhaltsstoffe im Steinkleesubstrat Fehlgärungen bei ungünstigen Silierbedingungen verhindern, ohne die Milchsäuregärung zu beeinträchtigen (Bull, 2013).

4. Material und Methoden

4.1. Standortcharakteristik

Im Projekt wurde Steinklee auf Demonstrations-Standorten in Deutschland (kühlgemäßigte Klimazone) angebaut (Tabelle 9). Mit den unterschiedlichen Standorteigenschaften wird eine große Breite abgedeckt. Im Anbaujahr 2017/2018 stellten sechs Betriebe Steinkleeflächen für das Projekt zur Verfügung. 2018/2019 nahmen vier weitere Demonstrationsbetriebe an dem Projekt teil (Standorte 7, 8, 9 und 11), der Standort 10 befand sich auf einem Versuchsfeld der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV. Die Abbildung 14 gibt einen Überblick über die Boden-Klima-Räume in Deutschland, von denen nur einige im Projekt abgedeckt wurden (Tabelle 8).

Abbildung 14: Boden-Klima-Räume in Deutschland

Quelle: https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/meta/bkr_herleitung.pdf

Tabelle 8: Boden-Klima-Räume der Demobetriebe

101	**mittlere diluviale Böden MV und Uckermark**
102	sandige diluviale Böden des nordostdeutschen Binnentieflandes
104	trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes
121	Rheinebene und Nebentäler
146	sandige Böden / Lüneburger Heide, nördliches NRW
123	Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslage

Tabelle 9: Kurzcharakteristik der Standorte

Standort	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Bodenklimaraum	102	101	101	104	104	121	101	146	104	101	121/123
Landkreis	Mecklen-burger Seen-platte	Mecklenb.-Strelitz	Rostock	Teltow-Flä-ming		Karls-ruhe	Rostock	Celle	Spree-Neiße	Rostock	Stuttgart
Bewirtschaftung	ökolo-gisch	konventio-nell	konventi-onell	konventionell		konventi-onell	konventi-onell	konventi-onell	konventi-onell	konventi-onell	konventi-onell
Anzahl Stein-kleeflächen	3	1	1	1		2	1	1	1	1	1
Höhe ü. NN	65 m	76 m	70 m	39 m	40 m	112 m	k.A.	40 m	51 m	10 m	427 m
Bodenart	lS4	lS2	SL/sL	S	S	sL	k.A.	lS	k.A.	sL	k.A.
AZ	11	28	42	29	25	40	k.A.	k.A.	k.A.	50	k.A.
pH-Wert	6,65	6,7	6,72	6,3	k.A.	k.A.	6,2	4,9	k.A.	k.A.	k.A.
Jahresmittel-Temperatur (°C) 2017 - 2019	9,9	10,2	10,0	11,1		11,8	10,4	10,9	10,9	10,6	10,9
Jahres-NS-Summe (mm) 2017 - 2019	571	525	571	515		698	460	483	483	473	629

Bodenart

S = Sand	U = Schluff	L = Lehm	T = Ton
s = sandig	u = schluffig	l = lehmig	t = tonig
2 = schwach	3 = mittel	4 = stark	

4.2. Witterungsverlauf

Der Demonstrationsanbau des Projektes wurde in den Jahren 2017 bis 2019 von außergewöhnlichem Wetter geprägt.

Laut DWD war das Jahr 2017 „ein sehr warmes Jahr, unbeständig und oft extrem“. Die Temperatur lag um 1,4 °C über der der international gültigen Referenzperiode und gehört zu den acht wärmsten Jahren seit Beginn der Messungen 1881. Niederschlag war laut DWD im Jahr 2017 ausreichend und übertraf sein Soll um 8 Prozent.

Das Jahr 2018 bezeichnete der DWD als „ein außergewöhnliches Wetterjahr mit vielen Rekorden“. Es übertraf die international gültige Referenzperiode um 2,2 °C und galt als das wärmste und trockenste Jahr seit 1881.

Nach Aussage des DWD galt das Jahr 2019 als das „drittwärmste Jahr seit 1881, niederschlagsarm und sonnenscheinreich“. Unter anderem trug eine Hitzewelle im Juni dazu bei sowie der geringere Niederschlag, der nur 93 % des langjährigen Mittels erreichte.

Der Anbau von Steinklee wurde durch diese besonderen Wetterlagen beeinflusst.

Das Jahr 2017 erwies sich als sehr niederschlagreiches Jahr. An den Standorten wurde das langjährige Mittel im Jahr 2017 überschritten (Abbildung 15). Das Jahr 2018 lag mit den Niederschlagswerten an allen Standorten deutlich unter dem langjährigen Mittel. Somit folgten zwei extreme Anbaujahre, welche in verschiedene Richtungen vom langjährigen Mittel abwichen, direkt aufeinander. Das Jahr 2019 wies einen höheren Niederschlag auf als das Jahr 2018, jedoch war es ebenfalls noch in vielen Monaten wesentlich trockener an den Standorten als im langjährigen Mittel.

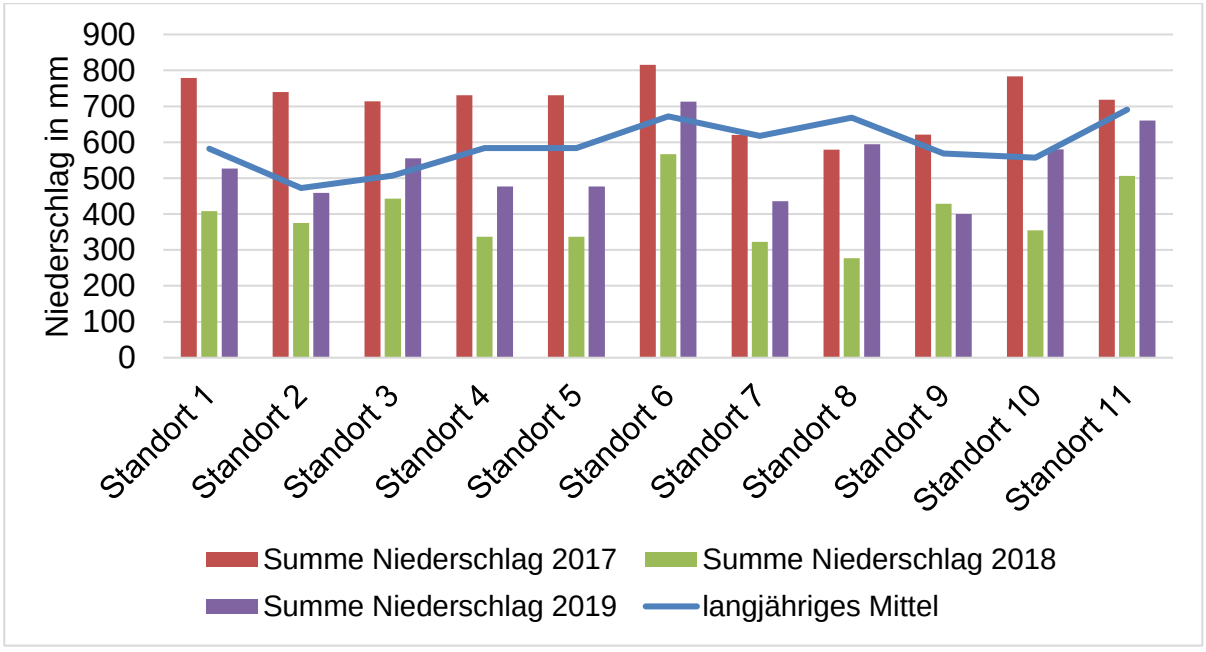


Abbildung 15: Vergleich zwischen dem Niederschlag in mm im langjährigen Mittel und dem Niederschlag 2017, 2018 und 2019 an den verschiedenen Standorten

Die Temperatur lag im Jahr 2018 an allen Standorten mindestens leicht über dem langjährigen Mittel, während im Jahr 2017 nur an einigen Standorten das langjährige Mittel etwas überschritten wurde (Abbildung 16). Das Jahr 2019 verhielt sich bzgl. der Temperatur wie das Jahr 2018, jedoch waren die Temperaturen an den Standorten in den meisten Monaten noch leicht höher als die des Vorjahres.

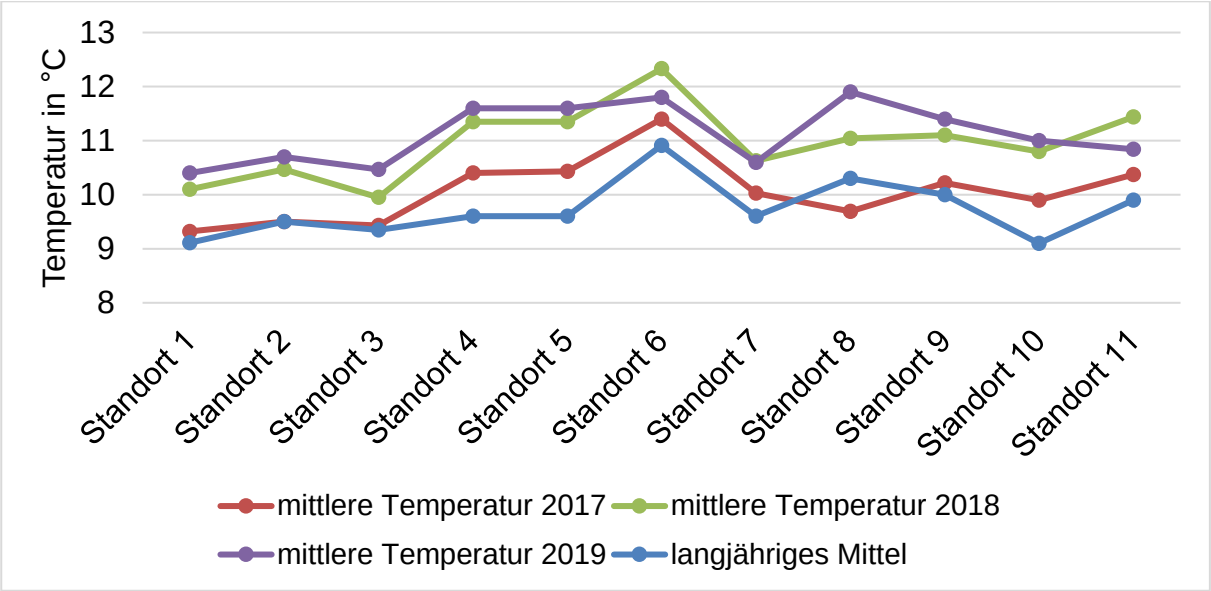


Abbildung 16: Vergleich zwischen der Temperatur im langjährigen Mittel und in den Jahren 2017, 2018 und 2019 an den verschiedenen Standorten

Die Niederschlags- und Temperaturdaten stammen vom Deutschen Wetterdienst oder von den Bewirtschaftern der jeweiligen Standorte (Tabelle 30). Die Daten für den Standort 10 stammen von der LFA.

4.3. Laboranalysen

4.3.1. Nmin

Die Nmin Bestimmung wurde nach der VDLUFA I 6.2.4.2 durchgeführt, die im Methodenbuch *(Quelle: http://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php/de/mb-i-boeden)* wie folgt beschrieben wird:

Zweck und Anwendungsbereich

Bestimmung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden aller Art.

Prinzip

Extraktion der Nitrate und des Ammoniums aus feldfeuchten Proben eines meist dreischichtigen Bodenprofils im Verhältnis 1+4 (m+V) mit 0,0125 molarer Calciumchloridlösung. Bestimmen der Gehalte an Nitrat und Ammonium in den Bodenschichten mittels Analysenautomaten und Berechnung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff (= Summe von Nitrat und Ammonium) im durchwurzelbaren Bodenprofil. Das Ergebnis wird als flächenbezogene Masse an mineralischem Stickstoff in kg/ha angegeben. Die vorliegende Methode entspricht weitgehend der von BASSLER und HOFFMANN (1997) veröffentlichten. Die Beschreibung der Bestimmung von Nitrat und Ammonium wurde dem Fortschritt in der Analysentechnik angepasst.

Da das Jahr 2018 extrem trocken war, war es nicht möglich, Bodenproben im geplanten Umfang zu ziehen. Ein Eindringen in den Boden mit den Probestäben war an vielen Standorten nach dem Frühjahr bis in den Winter nicht möglich. Es mussten Bodenproben anstatt im Herbst 2018 im Winter 2018/2019 gezogen werden.

Im weiteren Verlauf wurden die Nmin-Werte so übernommen, wie sie durch das Labor übermittelt wurden. Wenn die Werte in den verschiedenen Bodentiefen unter der Nachweisgrenze lagen, wurden in der Ergebnisdarstellung folgende Kennzeichnungen vorgenommen:

***A**: unterschrittene Nachweisgrenze Ammonium-N

***N**: unterschrittene Nachweisgrenze Nitrat-N

An den Stellen mit unterschrittenen Nachweisgrenzen ist Ammonium-N bzw. Nitrat-N <= 5 kg/ha.

4.3.2. Corg

Zur Quantifizierung der C-Dynamik sind kontinuierliche Untersuchungen in Dauerversuchen oder Dauerbeobachtungsflächen über mehrere Jahrzehnte nötig (UBA 2008). Die Probenahme zur Humusbestimmung sollte möglichst sorgfältig, im Abstand von 3 – 6 Jahren jeweils zum gleichen Zeitpunkt und, wenn möglich, auch an denselben vorher markierten Stellen der Ackerschläge durchgeführt werden (LfULG 2015).

Daher sollen die Corg-Werte, die im Zuge des Demonstrationsprojektes gewonnen wurden, ausschließlich einen Anhaltspunkt zum Corg-Gehalt der im Demonstrationsanbau genutzten Flächen geben.

Zur Ermittlung des Gehaltes an organischer Substanz wird von der LUFA die DIN ISO 10694 (Elementaranalyse) verwendet.

Wichtig ist, vor der Corg-Analyse, den Kalk zu entfernen, da sonst C aus dem Carbonat mit erfasst werden würde.

Mit Humusgehalten von 0,63 – 1,17 % sind die Böden der untersuchten Anbauflächen sehr schwach bis schwach humos.

4.3.3. Biogasausbeute nach Weißbach

Die Inhaltsstoffe des Steinklees wurden im Labor anhand der Weender Futtermittelanalyse bestimmt. Hierbei wurden die Berechnungen der Nährstoffe laut VDLUFA III 31.2 und die Protein- und Energiebewertung nach GfE durchgeführt.

Aus diesen Angaben wurde dann das Biogaspotential nach Weißbach berechnet. Je nach Substrat unterscheiden sich die Berechnungsformeln und die dafür notwendigen Parameter. Für die Berechnung des Biogaspotentials von Steinklee wurde die Gleichung für Luzerne verwendet (Weißbach, 2009).

Schätzgleichung für FoTS in g je kg TS: $FoTS = 971 – (XA) – 0{,}41\ (XF) – 0{,}00101\ (XF)^2$

Berechnung von Biogaspotential: **0,80 * FoTS**

Berechnung von Methanpotential: **0,42 * FoTS**

Für die Berechnung des Biogaspotentials von Silomais wurden die Daten der Landessortenversuche am Standort Gülzow von 2015 bis 2019 die Siloreifezahlen von 190 - 230 der LFA verwendet (Ergebnisse Landessortenversuche Anbaugebiet „D-Nord / MV-Süd“). Für die Berechnung des Biogaspotentials von Silomais wurde die Gleichung für Mais verwendet (übermittelt von der LUFA Rostock).

Schätzgleichung für FoTS in g je kg TS: $FoTS = 984 – (XA) – 0{,}47\ (XF) – 0{,}00104\ (XF)^2$

Berechnung von Biogaspotential: **0,80 * FoTS**

Berechnung von Methanpotential: **0,42 * FoTS**

4.4. Versuchsdurchführung

Eine Versuchsdurchführung im eigentlichen Sinne gab es im Projekt nicht. Es handelte sich um einen Demonstrationsanbau in verschiedenen Betrieben, der ebenfalls von on-farm-Experimenten abzugrenzen ist. Durch die Anlage als Demonstrationsanbau bietet sich der Vorteil, dass die unterschiedlichen betrieblichen Verhältnisse abgebildet werden und somit das Wachstum des Steinklees unter den verschiedensten Bedingungen beobachtet werden kann. Zielstellung dabei war es, die bereits erzielten Forschungsergebnisse des vorangegangenen Projektes „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“, auf Praxistauglichkeit zu prüfen.

An den verschiedenen Standorten wurden unterschiedliche Beprobungen durchgeführt sowie die Entwicklung des Steinkleebestandes beobachtet und dokumentiert. Hierbei handelte es sich um Nmin-Beprobungen, Biomasse-Beprobungen zur Ermittlung des Ertrages, des TS-Gehaltes sowie des Biogaspotentials.

Zudem wurden Erfahrungen bzw. Aussagen in Bezug auf den Steinklee-Anbau von Bewirtschaftern im Projekt aufgenommen.

5. Ergebnisse

5.1. Überblick über die einzelnen Standorte

Im Jahr 2017 nahmen sechs Betriebe am Projekt teil. Drei Betriebe kamen im Jahr 2018 zum Projekt hinzu. Außerdem konnte die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV eine Fläche für den Anbau von Steinklee zur Verfügung stellen. Von den sechs Betrieben, welche im Jahr 2017 ins Projekt eintraten, schieden zum Anfang des Jahres 2019 drei Betriebe aus. Im Jahr 2019 trat ein weiterer Betrieb zum Projekt hinzu. Dieser wurde durch einen Bodenkundler betreut. Eine Übersicht über die Standorte bietet die Tabelle 9.

Neben einem Anbauüberblick (Tabelle 10) wird die Entwicklung an den einzelnen Standorten in diesem Abschnitt erläutert und Ergebnisse von Probenahmen auf einzelnen Flächen werden dargestellt.

Tabelle 10: Übersicht über den Anbau während der Projektlaufzeit auf den Standorten

Standort	Anbau 2017	Anbau 2018	Anbau 2019	Vertragslaufzeit
1	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	Steinklee ASJ/ HNJ/ Nachfrucht (WR)	Projektbeginn bis 31.12.2019
2	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	Nachfrucht (WR)	Projektbeginn bis 31.12.2018
3	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	Nachfrucht (Grünland)	Projektbeginn bis 31.12.2018
4	Steinklee ASJ	Bestand erfroren (Neuansaat)	Steinklee ASJ	Projektbeginn bis 31.12.2019
5	Steinklee ASJ/ HNJ	Steinklee HNJ/ Nachfrucht	Steinklee ASJ/ 2.HNJ	Projektbeginn bis 31.12.2019
6	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	Nachfrucht (unbekannt)	Projektbeginn bis 31.12.2018
7	---	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	2018 bis 31.12.2019
8	---	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	2018 bis 31.12.2019
9	---	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	2018 bis 31.12.2019
10	---	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	kein Vertrag (LFA)
11	---	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	2018 bis 31.12.2019

Abkürzungen: siehe Abkürzungsverzeichnis

5.1.1. Standort 1 (Fläche 1)

Aussaat: 18.07.2017, Aussaatstärke: 15 kg/ha, Flächengröße: 5,0161 ha, Nutzung: Bienenweide und Gründüngung

Abbildung 17: Anbaufläche 1 (Aussaat 26.08.2016 & 18.07.2017)

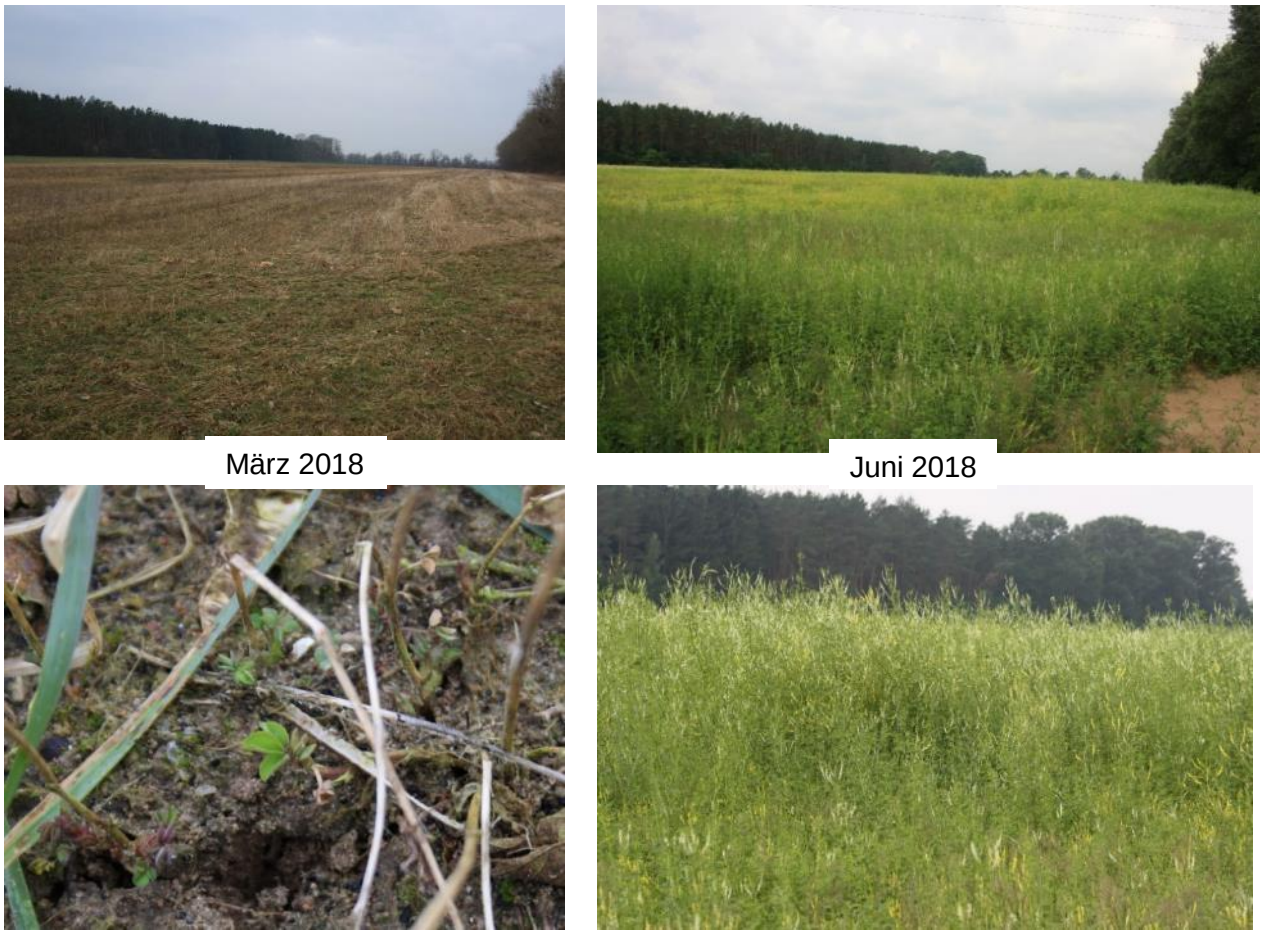


Abbildung 18: Anbaufläche 1 am Standort 1 im März (links) und im Juni (rechts) des HNJ 2018

Abbildung 19: Insekten auf der Steinkleefläche am Standort 1 am 15.06.2018 (HNJ)

Bearbeitung des Bodens

Die Fläche wurde vor der Aussaat gegrubbert und gepflügt. Eine zusätzliche Düngung fand nicht statt.

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Im Juni 2017 fand die erste Begehung der Steinkleefläche statt (Steinkleefläche 1). Die Aussaat erfolgte im August 2016 als Untersaat im Roggen. Zu dem Zeitpunkt der Begehung dominierte das Wicken-Wachstum auf dieser Fläche. Der Steinklee war zwar vorhanden, jedoch sehr rar. Daher wurde auf einer zweiten Fläche Steinklee ausgesät, auf der vorher Topinambur angebaut wurde (Steinkleefläche 2).

Auf der Steinkleefläche 1 wurde nach dem Mulchen der Wicke sowie den Grubber- und Pflüge-Maßnahmen im Juli 2017 eine neue Steinklee-Aussaat durch den Bewirtschafter durchgeführt. Der Steinklee wies kaum Beikraut auf und wuchs sehr dicht. Der Aufwuchs auf der Fläche wies eine Höhe von ca. 40 – 50 cm auf. Ende Oktober 2017 wurde eine Ernte der Biomasse durchgeführt.

Im Hauptnutzungsjahr 2018 zeigten sich im März die ersten Wiederaustriebe an der Bodenoberfläche (Abbildung 18).

Im Juni des Jahres konnte ein dichter, blühender Steinkleebestand beobachtet werden, der neben Honig- und Wildbienen auch von vielen anderen Insekten besucht wurde bzw. als Habitat diente (Abbildung 19). Die Wuchshöhe des Steinklees variierte zwischen 40 und 200 cm. Der Weiße Steinklee erwies sich als eindeutig wüchsiger als der Gelbe Steinklee.

Die Fläche wurde durch den Bewirtschafter nicht gedüngt. Es wurden keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt.

Der Steinklee starb nach der Blüte im HNJ 2018 ab und wurde gemulcht.

Die unmittelbar neben der Steinkleefläche liegende Ackerfläche wurde im Jahr 2018 mit Roggen bestellt.

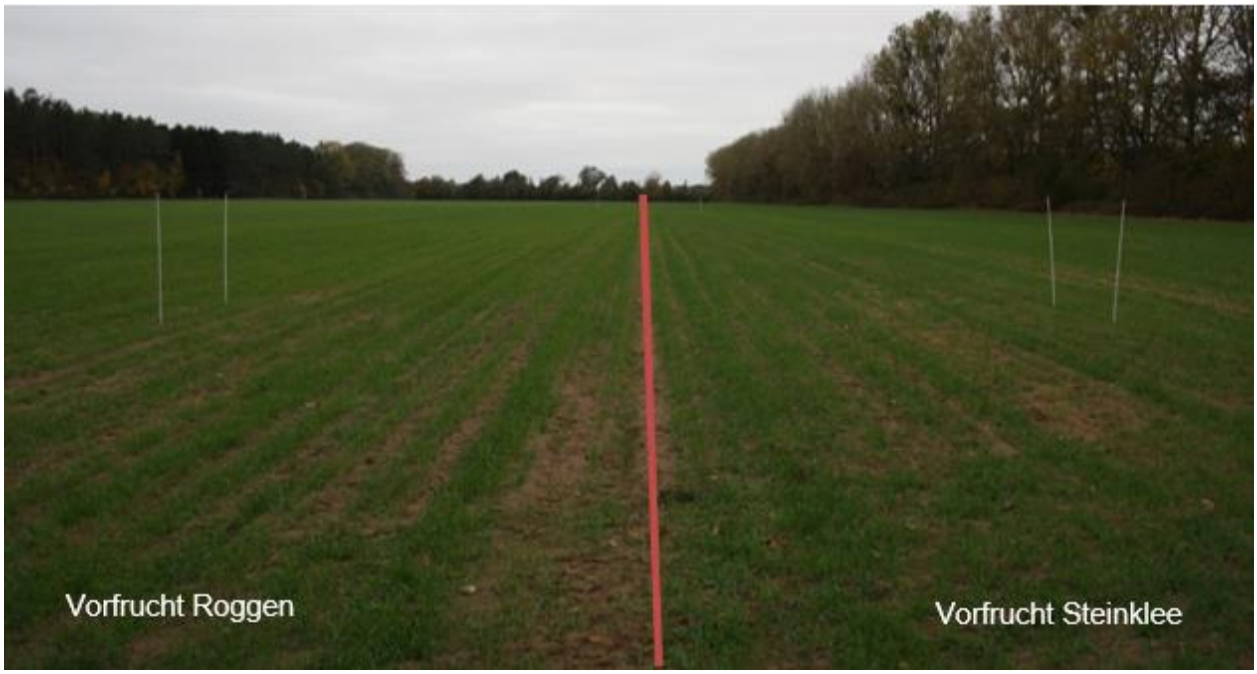


Abbildung 20: Nachfrucht Roggen am Standort 1 (Fläche 1) im Oktober 2018 (links: VF Roggen, rechts: VF Steinklee)

Nach der Steinklee- und Roggenernte 2018 wurden beide Flächen gepflügt (15 cm). Als Nachfrucht auf beiden Flächen wurde Winterroggen ausgebracht (Abbildung 20).

Nmin

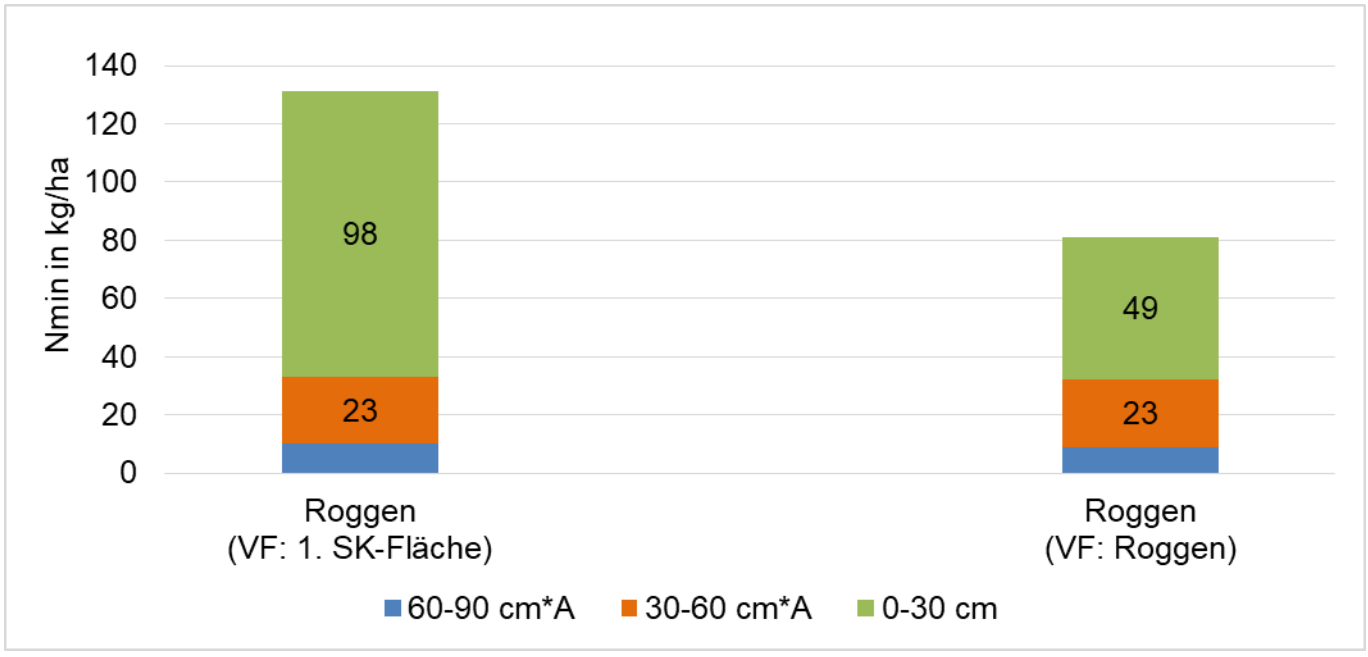


Abbildung 21: Nmin im Dezember 2018 am Standort 1 auf der ehemaligen 1. Steinkleefläche und der benachbarten Referenzfläche am 06.12.2018, beide mit Nachfrucht Roggen

Im März 2018 war die Fläche noch zu feucht, um Bodenproben zu ziehen. Beim Versuch der Probenahme lief das Probematerial aus dem Bohrstock heraus.

Im Verlauf des Frühjahrs hingegen wurde die Beprobung unmöglich aufgrund von starker Trockenheit.

Die Bodenproben konnten erst im Winter 2018/2019 auf der Fläche gezogen werden.

Ein deutlicher Unterschied war im Nmin-Gehalt auf der Roggenfläche zwischen der Teilfläche mit der VF Steinklee und der Teilfläche mit der VF Roggen (Abbildung 21), in der Bodentiefe 0 – 30 cm, zu erkennen. Es ist davon auszugehen, dass dieser Unterschied in der Vorfrucht zu finden ist, und dass hier der Steinklee einen deutlich höheren Nmin-Gehalt hinterlassen hat als die Vorfrucht Roggen.

YARA N-Test

Untersuchungen mit dem YARA N-Tester in der Nachfrucht Winterroggen (Ökobetrieb, keine N-Düngung) zeigten eine gute Vorfruchtwirkung des Steinklees hinsichtlich der N-Fixierung. Verglichen wurden die zwei direkt nebeneinander gelegenen Flächen. Die eine Fläche hatte Winterroggen zur Vorfrucht, die andere Steinklee. Als Nachfrucht wurde Winterroggen angebaut. Der Chlorophyll-Gehalt der WR-Blätter unterschied sich in der Zeit der Bestockung und des Schossens nicht voneinander, jedoch war ein Unterschied während der Blütezeit des WR zwischen den beiden Vorfrüchten zu verzeichnen.

Zur Blüte (BBCH 61-69) sank der Chlorophyll-Gehalt in den Blättern im Vergleich zum BBCH 33-37 ab (Tabelle 11), jedoch zeigte sich ein Unterschied zwischen dem Winterroggen mit der Vorfrucht Winterroggen und dem Winterroggen mit der Vorfrucht Steinklee von 24 % im Chlorophyll-Gehalt der Blätter. Die Werte zum YARA N-Test der verschiedenen Vorfrüchte sind dimensionslos und werden für die Berechnung des Düngebedarfs verwendet.

Tabelle 11: N-Test (Blätter) in der Nachfrucht Winterroggen auf zwei nebeneinander gelegenen Flächen mit unterschiedlicher Vorfrucht

BBCH	VF Winterroggen	VF Steinklee	Differenz	Unterschied zwischen den beiden Varianten in %
33-37	488	487	1	0
61-69	321	424	103	24

Ebenso konnte eine um 32 % höhere Ährendichte des Roggenbestandes mit der Vorfrucht Steinklee im Gegensatz zum Roggenbestand mit der Vorfrucht Winterroggen festgestellt werden (Tabelle 12).

Die Ährendichten auf der Fläche mit Steinklee als Vorfrucht lagen deutlich über denen der Fläche mit Roggenvorfrucht. Die bessere Stickstoffversorgung aus der Vorfrucht Steinklee dürfte dafür die wesentliche Ursache sein.

Vorgesehen war am Standort eine Beprobung der Roggenkörner. Hiermit sollte festgestellt werden, ob zwischen dem Roggen mit der VF Roggen und dem mit der VF Steinklee ein Unterschied im Proteingehalt gegeben war. Diese Beprobung konnte aufgrund von fehlenden Rückstellproben jedoch nicht durchgeführt werden.

Tabelle 12: Anzahl der Ähren pro m² in der Nachfrucht Winterroggen auf zwei nebeneinander gelegenen Flächen mit unterschiedlicher Vorfrucht

Bereich	VF Winterroggen	VF Steinklee	Differenz (%)	Differenz
	Ähren pro m²	Ähren pro m²	Ähren pro m²	Ähren pro m²
1	29	54	46	25
2	146	229	36	83
3	204	271	25	67
MW	126	185	36	58

Eindringwiderstandsmessung mit dem Penetrologger

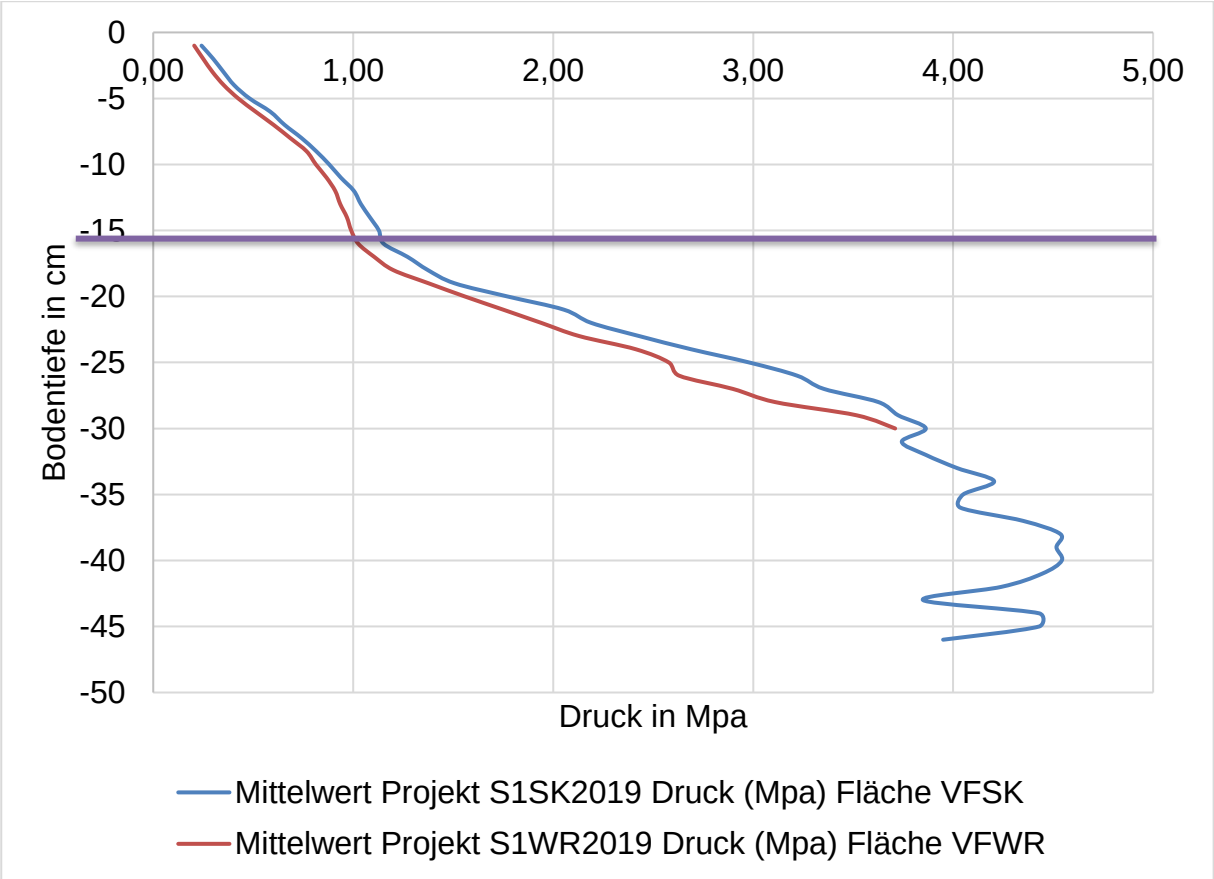


Abbildung 22: Eindringwiderstand am Standort 1 auf der Fläche 1 (VF Steinklee) sowie der Referenzfläche (VF Winterroggen) in der Nachfrucht Winterroggen im März 2019

Der Eindringwiderstand wurde im März 2019 auf den nebeneinander liegenden Flächen, welche beide zu einer Winterroggenfläche zusammengeführt wurden, mit einem Penetrologger gemessen (je VF-Seite 6 Plots mit je 10 Penetrationen). Auf der Fläche mit der VF Winterroggen ist bis in die Tiefe von 30 cm ein vernachlässigend geringerer Eindringwiderstand erkennbar im Vergleich mit der Flächenseite mit der VF Steinklee (Abbildung 22). Jedoch ist ebenfalls zu erkennen, dass unter den Bedingungen der außerordentlichen Trockenheit auf der Seite mit der VF Steinklee, im Gegensatz zu der Seite mit der VF Winterroggen, ca. 15 cm tiefer in den Boden eingedrungen werden konnte, nämlich bis in eine Tiefe von etwa 45 cm. Möglicherweise ist dies ein Indiz für die gute Bodenlockerungswirkung der Steinkleewurzeln.

Es müssten noch mehrere vergleichbare Messungen durchgeführt werden, um eindeutig einen Zusammenhang zwischen Eindringwiderstand und Steinkleeanbau ziehen zu können. Derartige Sachverhalte sollten vor allem auch längerfristig beobachtet werden.

5.1.2. Standort 1 (Fläche 2)

Aussaat: 24.05.2017, Aussaatstärke: 15 kg/ha, Flächengröße: 4,6659 ha, Nutzung: Bienenweide und Gründüngung

Bearbeitung des Bodens

Die Fläche wurde mit dem Pflug und dem Grubber bearbeitet. Zur Vorfrucht Topinambur erfuhr die Fläche eine Düngung von 3 t/ha Hühnerkot.

Abbildung 23: Anbaufläche 2 (Aussaat 24.05.2017) im August (links) und im Oktober (rechts) des ASJ 2017

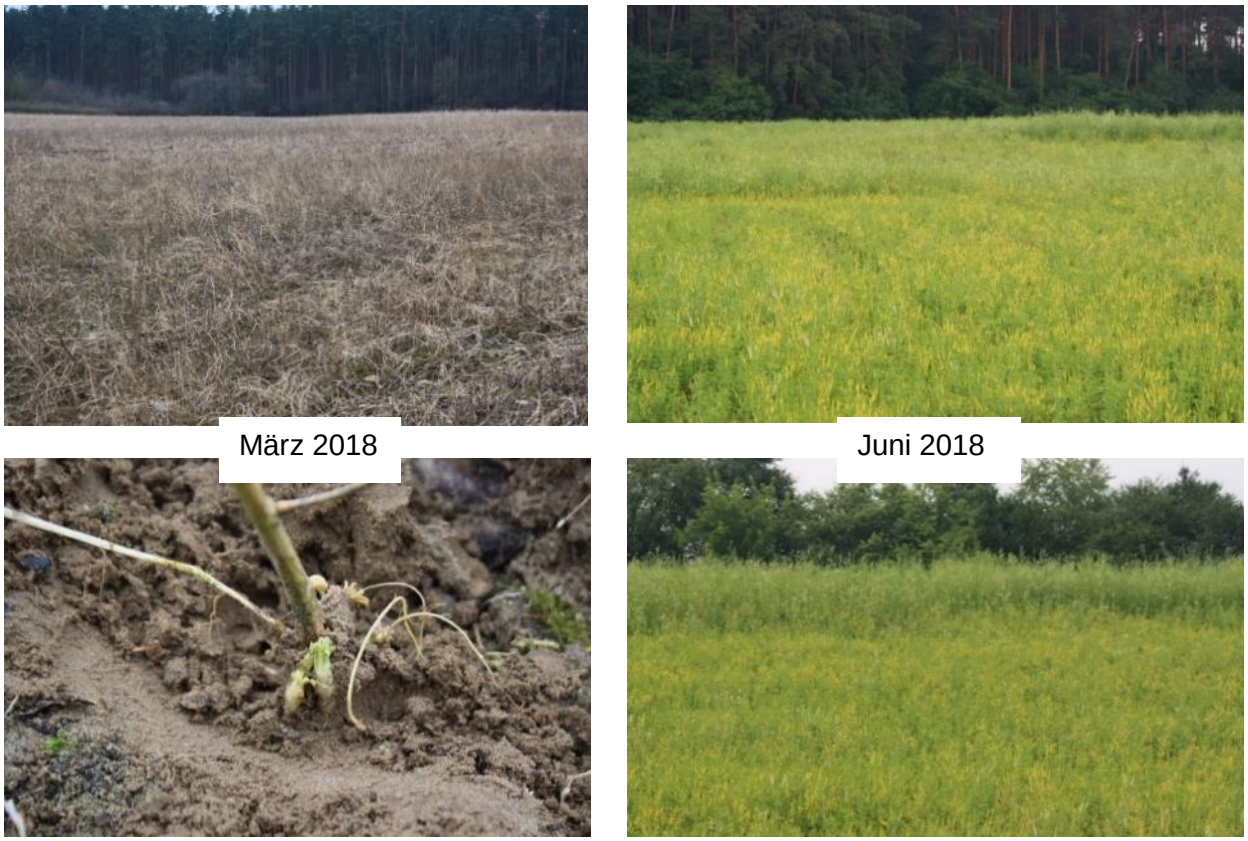


Abbildung 24: Anbaufläche 2 (Aussaat 24.05.2017) im März (links) und im Juni (rechts) des HNJ 2018

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Die Entwicklung des Steinklees auf der Fläche war im ASJ sehr gut. Jedoch wies hier der Steinkleebestand viele Beikräuter auf. Vor allem die Vorfrucht Topinambur, welche aufgrund eines zu geringen Ertrages und eines zu hohen Steinanteils nicht geerntet wurde, zeigte ein besonders starkes Wachstum im Steinklee (Abbildung 23). Zur Bekämpfung der Beikräuter wurde im Juni 2017 ein hoher Schröpfschnitt durchgeführt (11 – 20 cm), um die Wiederaustriebsknospen nicht zu schädigen.

Bei der Begehung im Oktober wies der Steinklee sehr unterschiedliche Höhen auf der Fläche auf (40 – 130 cm). Zusätzlich fiel auf, dass Beikräuter wie der Weiße Gänsefuß rückläufig waren, der Topinambur jedoch gedieh vor allem in einigen Bereichen der Fläche und überwuchs dort den Steinklee. Ende Oktober 2017 wurde die Biomasse gemulcht.

Wie auch auf der Fläche 1 zeigten sich im März des HNJ die ersten Wiederaustriebe an der Bodenoberfläche (Abbildung 24). Im Juni 2018 stand der Steinklee in voller Blüte. Die Steinkleepflanzen wiesen auch hier unterschiedliche Wachstumshöhen auf (40 – 200 cm). Topinambur war ebenfalls zwischen den Steinklee-Pflanzen zu entdecken. Jedoch lag die Wuchshöhe des Topinamburs bei ca. 40 cm und wurde somit weitgehend vom Steinklee überwachsen.

An einigen Stellen wuchs der Steinklee lückig und mit geringer Wuchshöhe. In den Bereichen, in denen der Steinklee wüchsiger war, konnte ein sehr guter Bestandsschluss beobachtet werden. Die Ursache für die stellenweise niedrige Wuchshöhe könnten Sandlinsen sein in Kombination mit dem trockenen Wetter 2018.

Nmin

Im August des Ansaatjahres wurden für die einzelnen Tiefen keine Mischproben erstellt, sondern die an den einzelnen Stellen gezogenen Proben wurden separat analysiert. Mit den Ergebnissen konnte die Flächenheterogenität bzgl. des Nmin-Gehaltes zu dem Zeitpunkt der Entnahme abgebildet werden (Abbildung 25).

Hierbei wird zunächst deutlich, dass eine Fläche unterschiedliche Nmin-Gehalte an den unterschiedlichen Beprobungspunkten aufweisen kann. Eine Mischprobe spiegelt daher nur den mittleren Nmin-Gehalt der Fläche wider. Zudem handelt es sich bei Nmin immer um Momentaufnahmen, die starken zeitlichen Schwankungen unterliegen. Der Streubereich der untersuchten 10 Beprobungspunkte lag mit 7 – 13 kg/ha N jedoch in einem durchaus praxisüblichen Bereich.

Im März 2018 war die Fläche noch zu feucht, um Bodenproben zu ziehen. Im Verlauf des Frühjahrs hingegen wurde die Beprobung unmöglich aufgrund von starker Trockenheit. Die Bodenproben konnten erst im Winter 2018/2019 auf der Fläche gezogen werden.

Zu den drei verschiedenen Entnahmeterminen zeigten sich unterschiedliche Nmin-Gehalte (Abbildung 26**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im August 2017 befand sich der Steinklee bereits drei Monate auf der Fläche. Im Oktober des ASJ bildeten sich die Überwinterungsorgane für das HNJ aus. Zu beiden Terminen zeigte sich ein geringer Nmin-Gehalt. Zum Beprobungstermin im Dezember 2018 war das HNJ bereits vorbei, die nach der Blüte abgestorbenen Steinkleepflanzen wurden gemulcht. Der Nmin-Gehalt unterschied sich zu diesem Zeitpunkt deutlich von denen der vorherigen Termine.

Die Fläche wurde im Frühjahr 2019 nicht neu bestellt. Der Bewirtschafter beließ den Steinklee auf der Fläche. Es sollte beobachtet werden, inwieweit sich der Steinklee selbst neu aussät und wie sich dies auf den Steinkleebestand auswirkt. Ein vollwertiger Bestand konnte sich durch Selbstaussaat auf der Fläche jedoch nicht etablieren.

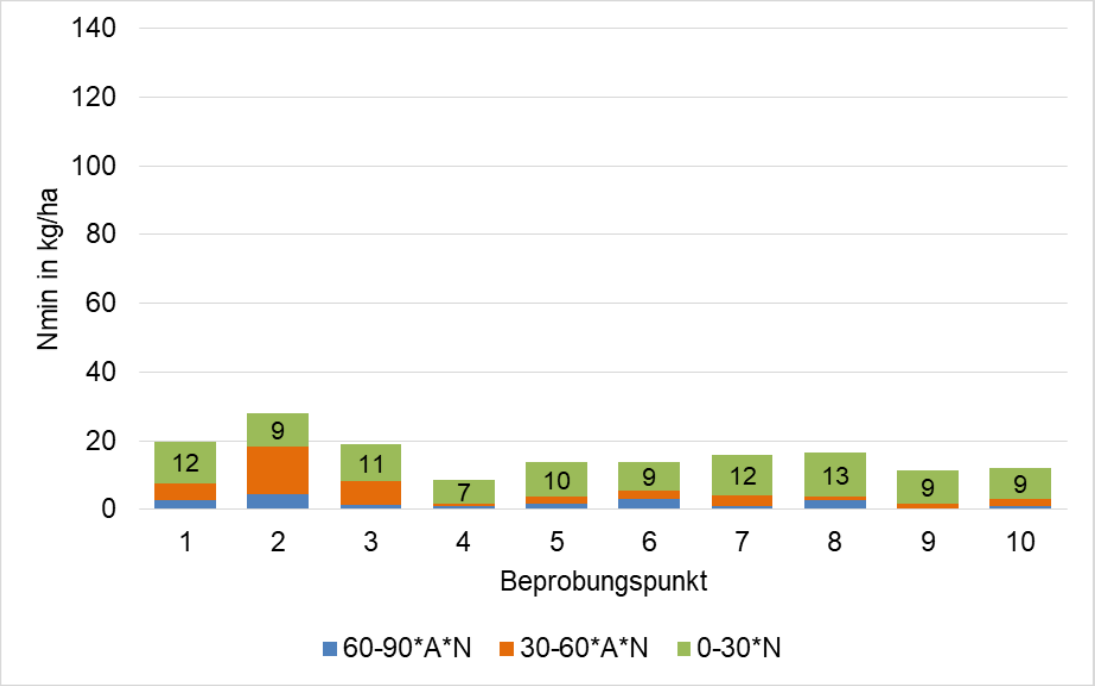


Abbildung 25: Nmin-Heterogenität auf der 2. Steinklee-Fläche am Standort 1, Beprobung an zehn verschiedenen Stellen auf der Fläche im August 2017

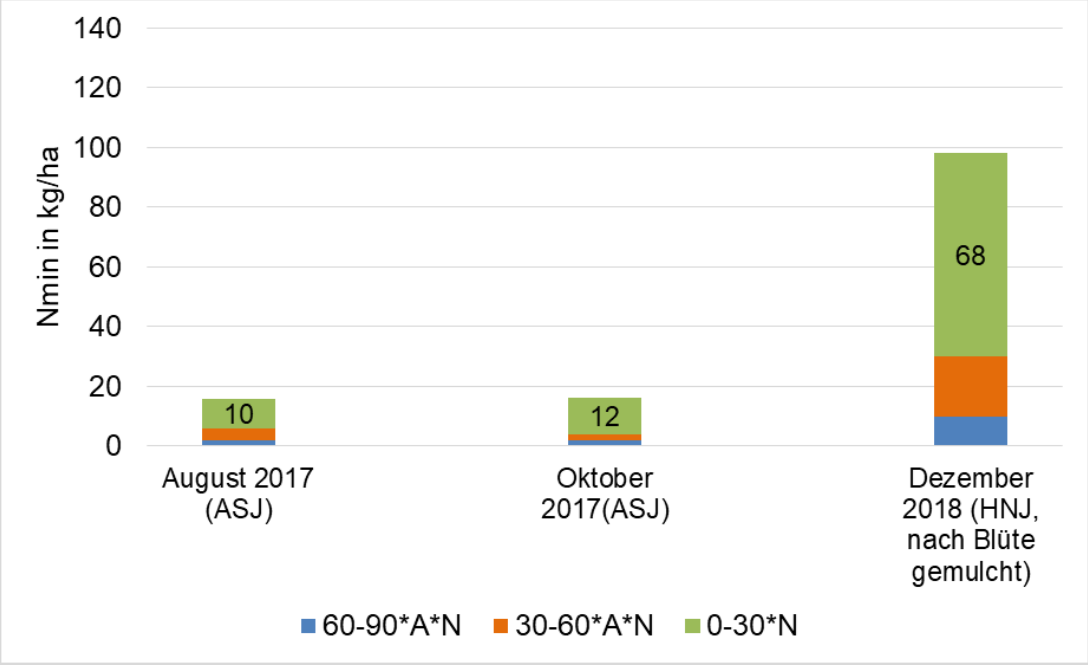


Abbildung 26: Nmin-Gehalt auf der 2. Steinklee-Fläche am Standort 1 zu drei verschiedenen Terminen

Ein Risiko für Krankheiten wegen fehlender Anbaupause ist bei einer solchen Vorgehensweise gegeben. Die Anbaupause sollte wie für Rotklee, Inkarnatklee, Luzerne und Esparsette auch beim Steinklee 4 – 7 Jahre betragen (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, 2008).

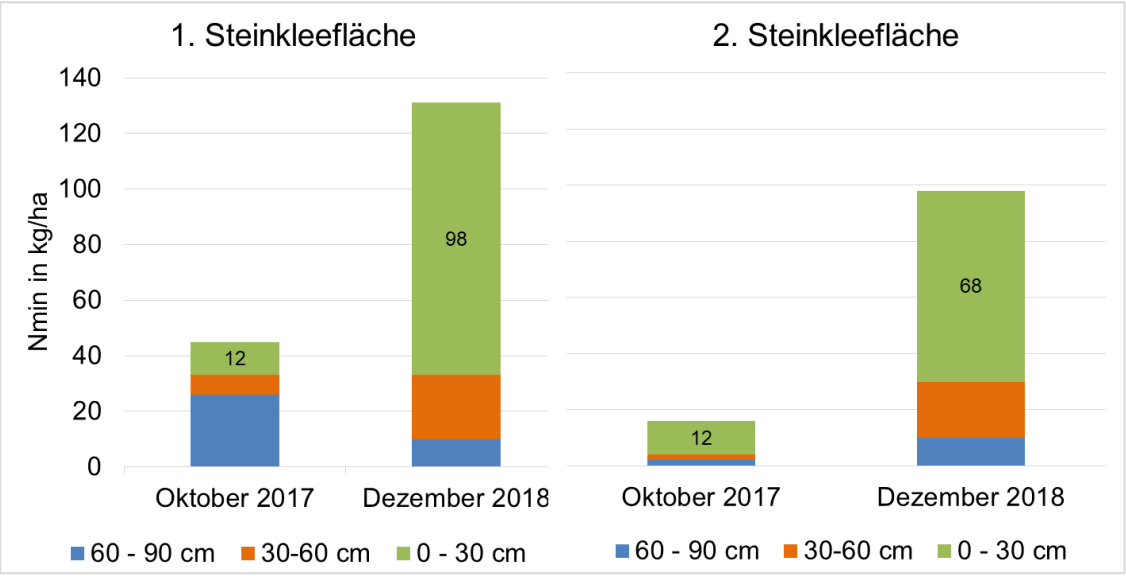


Abbildung 27: Nmin auf den zwei Steinkleeflächen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten (im ASJ 2017 und nach dem HNJ, zur NF 2018)

Im Vergleich der beiden Steinkleeflächen ist eine eindeutige Zunahme des Nmin-Gehaltes im HNJ im Gegensatz zum ASJ zu erkennen (Abbildung 27). Zum Zeitpunkt der Beprobung im Dezember 2018 befand sich auf der 1. Steinkleefläche bereits die Nachfrucht Roggen, während auf der 2. Steinkleefläche noch der abgestorbene Steinklee stand. In beiden Fällen ist die sehr auffällige Erhöhung des Nmin-Gehaltes vermutlich dem Umstand der Mineralisierung nach dem Absterben der Steinkleepflanzen und der Zersetzung der Wurzeln bzw. der organischen Substanz zuzuschreiben.

5.1.3. Standort 1 (Fläche 3)

Aussaat: 05.05.2019, Aussaatstärke: 35 kg/ha, Flächengröße: 9,9074 ha, Nutzung: Bienenweide und Gründüngung

Bearbeitung des Bodens

Zur Steinkleeaussaat fand keinerlei Bodenbearbeitung statt. Das Steinkleesaatgut wurde unter die Deckfrucht Roggen gedrillt und mit dem Striegel auf der Fläche verteilt.

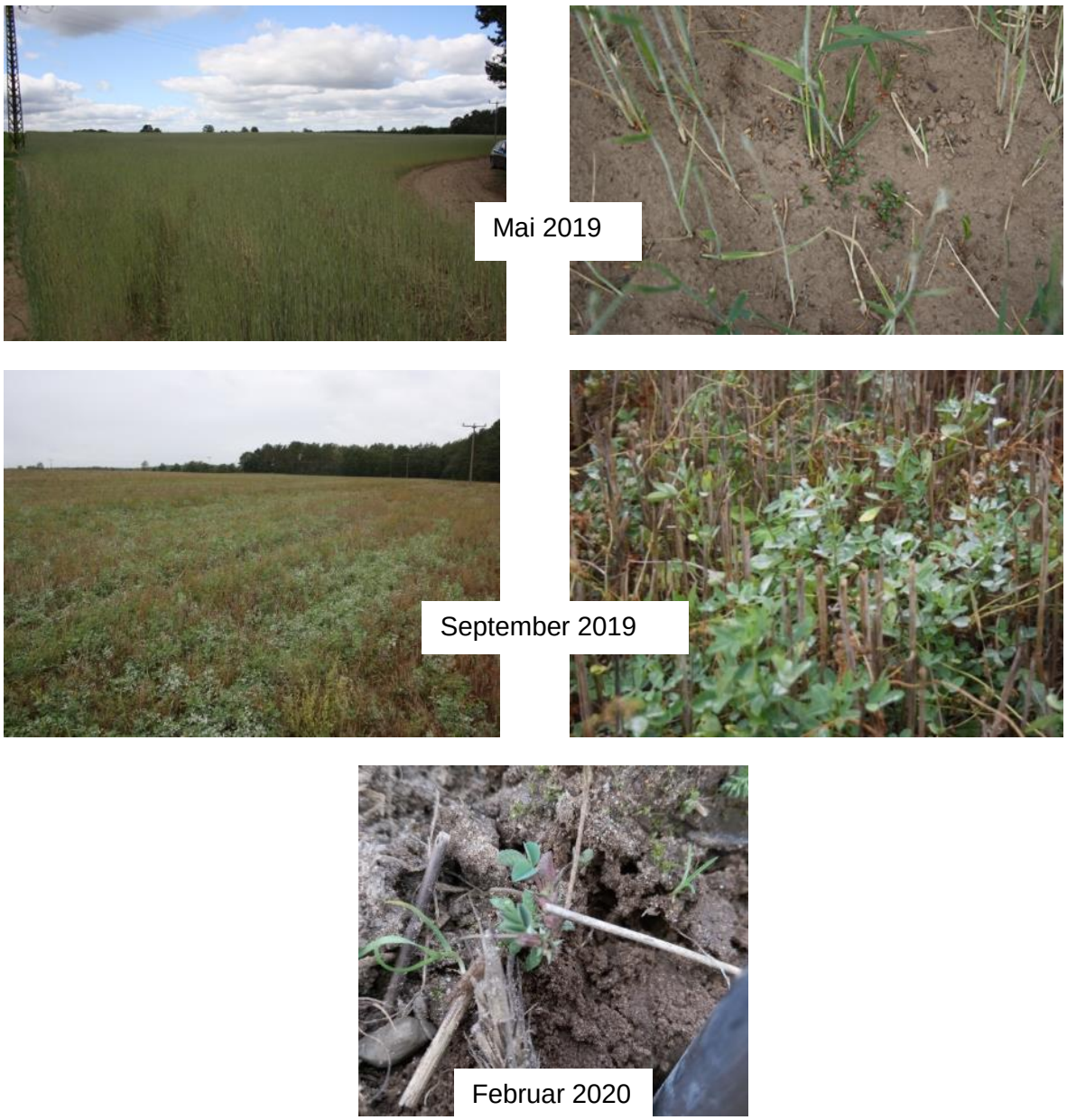


Abbildung 28: Anbaufläche 3 – (Aussaat: 05.05.2019) Steinkleeansaat unter Deckfrucht Roggen (oben), Steinklee nach Ernte der Deckfrucht im Herbst des Ansaatjahres (mitte), Austrieb Steinkleepflanze im Februar des HNJ 2020 (unten)

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Es wurden im Frühjahr 2019 vor der Steinkleeaussaat sowie im Herbst/Winter 2019 nach der Roggenernte Bodenproben gezogen, um die Veränderungen des Nmin-Gehaltes zu dokumentieren (Abbildung 29).

Der Boden war sehr trocken und fein sandig und wies nur in einiger Tiefe etwas Feuchtigkeit auf. Die Entnahme der Proben gestaltete sich dementsprechend schwierig.

Im Herbst/Winter 2019 war neben den 5 – 10 cm hohen Steinkleepflanzen viel Unkraut zu erkennen. Jedoch war die gesamte Fläche mit Steinkleepflanzen bestückt, die im HNJ 2020 erfahrungsgemäß das Unkraut überwachsen werden.

Zur Bodenbeprobung im Februar 2020 waren hingegen keine Steinkleepflanzen sichtbar. Bei genauerem Hinschauen konnten kleinere Steinkleepflanzen entdeckt werden, die gerade erst aus dem

Boden heraustraten. Ob es sich dabei um Wiederaustriebe der Pflanzen aus dem ASJ 2019 handelt, oder um gerade erst auflaufende Saat, die im ASJ 2019 nicht unter der Deckfrucht keimte oder um eine Mischung aus beidem ist unklar. Diesem Sachverhalt kann jedoch aufgrund des auslaufenden Projektes nicht mehr nachgegangen werden.

In diesem sowie in mindestens einem weiteren Demonstrationsbetrieb wird Steinklee auch über das Projekt hinaus weiter angebaut und in die Fruchtfolgeplanung mit einbezogen.

Nmin

Bodenbeprobungen im Frühjahr sowie im Herbst des ASJ 2019 wurden durchgeführt (Abbildung 29).

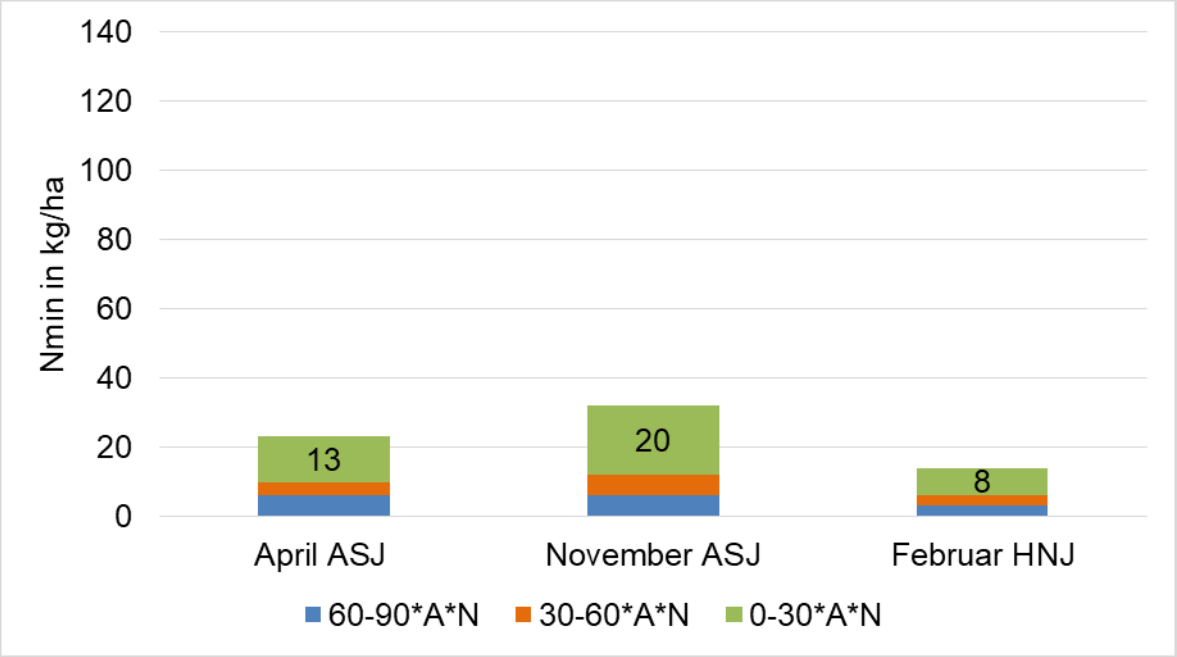


Abbildung 29: Boden-Nmin am Standort 1 auf der 3. Steinkleefläche im ASJ 2019 sowie im HNJ 2020

Die Gegenüberstellung der Nmin-Gehalte in Abbildung 29 zeigt, dass die Werte in der Bodentiefe 0 – 30 cm im Herbst/Winter des ASJ sichtbar höher sind als die des Frühjahres. Ebenso sind die Werte in der Bodentiefe 30 – 60 cm im Herbst/Winter des ASJ leicht höher im Vergleich zu denen der Frühjahrsbeprobung. Dieser Sachverhalt ist dadurch zu erklären, dass die nach der Ernte Ende Juli 2019 auf der Fläche verbliebenen Wurzelreste und Halme der Deckfrucht Roggen zu dieser Erhöhung des Nmin-Gehaltes geführt haben. Der Abfall im Nmin-Gehalt im Februar des HNJ 2020 lässt klar erkennen, dass durch die gerade erst auflaufenden Steinkleepflanzen entweder Nmin aufgenommen wurde und/oder aber, dass das durch die Deckfrucht zur Verfügung gestellte Nmin ausgewaschen wurde und nun nicht mehr zur Verfügung steht.

Die Nmin-Werte werden im HNJ in der Bodentiefe 0 – 30 cm voraussichtlich wieder ansteigen, vor allem nach der Ernte bzw. nach dem Absterben des Steinklees.

5.1.4. Standort 2

Aussaat: 07.06.2017, Aussaatstärke: 20 kg/ha, Flächengröße: 4,9939 ha, Gründünger, Biogas-substrat

Abbildung 30: Steinklee-Fläche im August 2017 (links) und im Oktober 2017 (rechts) des ASJ am Standort 2

Abbildung 31: Steinklee-Fläche im März 2018 (links) und im Mai 2018 (rechts) des HNJ am Standort 2

Bearbeitung des Bodens

Die Bodenbearbeitung erfolgte mit einem Grubber einen Monat vor Aussaat sowie direkt zum Aussaattermin.

Abbildung 32: Steinklee-Fläche am Standort 2 im August 2018 - gut besucht von Wildbienen und anderen Insekten

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Die Bestellung erfolgte am 07.06.2017 an einem trockenen Tag in 1 – 3 cm Tiefe. In der Nacht darauf fielen 5 mm Niederschlag. Bei der Begehung im Juli waren bereits kräftige niedrige Steinkleepflanzen auf der Fläche zu sehen.

Tabelle 13: Biomasseerträge und Methanausbeute des zweischnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 2 im HNJ 2018

Schnittzeitpunkt	Biomasse-ertrag (dt/ha FM)	Biomasse-ertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methan-ausbeute (m^3/dt TM)
HNJ 1. Schnitt (Mai 2018, vor Vollblüte)	160	37	23	28,2
HNJ 2. Schnitt (August 2018, während Blüte/ nach Blüte)	57	25	43	26,1

Die Fläche zeigte einen guten Steinkleeaufwuchs. Zur Begehung im August wurde der Steinklee stellenweise vom Weißen Gänsefuß überragt. Es befanden sich Windenknöterich, Wicke, Kamille und andere Beikräuter auf der Fläche. Es wurde ein Schröpfschnitt zur Beikrauteindämmung durchgeführt. Der Steinkleewuchs war weiterhin sehr gut, wies an einigen Stellen ein höheres Wachstum auf als an anderen. Zur Begehung im Oktober war an einigen Pflanzen Echter Mehltau zu entdecken, was für die Jahreszeit nicht ungewöhnlich ist. Der Weiße Gänsefuß stand braun zwischen dem grünen, dichten Steinklee. Laut Landwirt wurden im Oktober des ASJ 36,6 dt/ha TM geerntet. Bis in den März des HNJ hinein war der Boden wassergesättigt. An manchen Stellen waren Wasseransammlungen zu finden, die für den Steinkleewuchs im weiteren Vegetationsjahr keine Nachteile verursachten. Reste der Steinkleepflanzen des Vorjahres standen braun auf der Fläche. Der Wiederaustrieb aus dem Wurzelkopf hatte jedoch bereits begonnen (Abbildung 31). Zur Ernte im Mai 2018 war ein dichter Steinkleebestand sichtbar und beim Gelben Steinklee begann die Blüte, während beim Weißen Steinklee noch keine Blüte wahrzunehmen war. Aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 und der geringen Biomassebildung nach dem 1. Schnitt konnte der Bestand nur einmal beerntet werden. Trotz der geringen Biomasseneubildung war im August ein relativ dichter Steinkleebestand vorhanden, der von vielen Wild- und Honigbienen besucht wurde (Abbildung 32). Die Toleranz gegenüber Trockenheit wurde somit an diesem Standort bestätigt. Vor der Ernte im Mai sowie im August wurden Pflanzenproben genommen, die zur Analyse des Biogaspotentials zur LUFA gesandt und bei denen

zusätzlich Ertragswerte und TS-Gehalte ermittelt wurden (Tabelle 13). Laut Angaben des Bewirtschafters war die Steinklee-Roggen-Gasausbeute 2018 ebenbürtig mit der Mais-Gasausbeute 2017.

Nmin

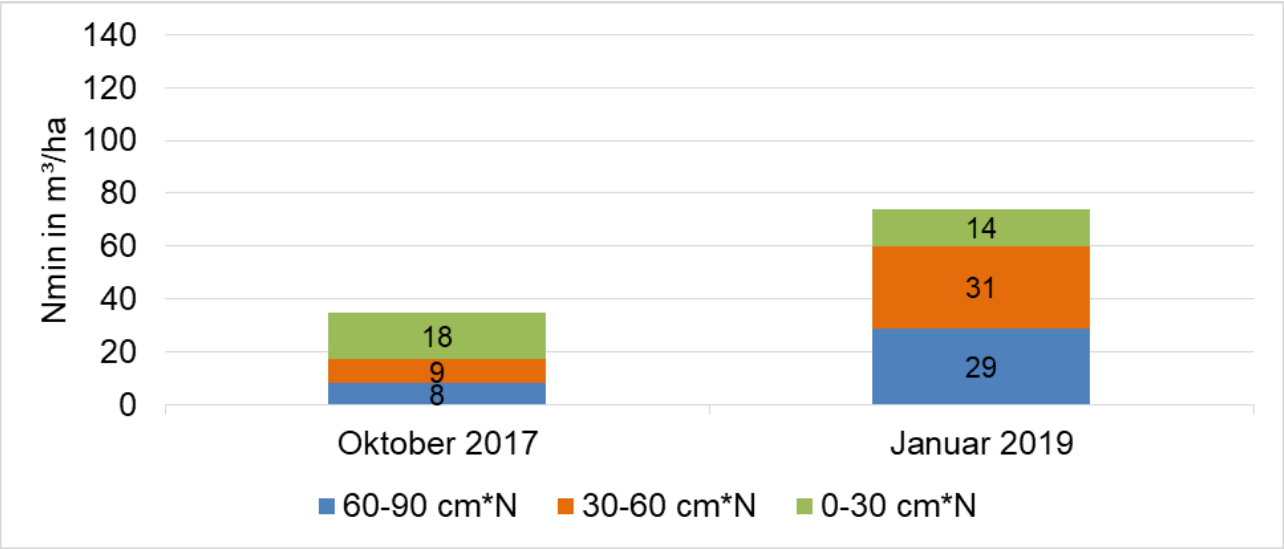


Abbildung 33: Nmin-Gehalte auf der Steinklee-Fläche am Standort 2 zu zwei verschiedenen Terminen (ASJ und nach HNJ bzw. zur NF)

Bodenproben wurden im August sowie im Oktober des ASJ 2017 gezogen.

Die Beprobungen fanden an 12 Stellen auf der Fläche statt, wobei bei der Beprobung im August die Tiefen 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm für jede einzelne Probestelle entnommen und analysiert wurden.

Im März des HNJ war die Fläche noch zu feucht, um Bodenproben zu ziehen. Im Verlauf des Frühjahrs 2018 hingegen wurde die Beprobung unmöglich aufgrund von starker Trockenheit. Die Bodenproben konnten erst im Winter 2018/2019 auf der Fläche gezogen werden. Vier Monate nach der Steinkleeaussaat 2017 und ca. vier Monate nach der Aussaat der Nachfrucht (Roggen) 2018 auf der Fläche wurden Bodenproben zur Nmin-Gehaltsbestimmung gezogen (Abbildung 33).

Die Nmin-Gehalte der Bodentiefen 30 – 60 cm und 60 – 90 cm waren im Gegensatz zum ersten Beprobungstermin im ASJ 2017 nach dem HNJ zur Nachfrucht 2019 wesentlich höher, während der Nmin-Gehalt in der Tiefe 0 – 30 cm etwas reduziert war. Zur Aussaat der Nachfrucht (Roggen) Ende September 2018 erfolgte keine Düngung.

Die generell höheren Nmin-Werte im Januar 2019 (nach HNJ, zur NF) sind vermutlich der VF Steinklee zuzuschreiben, deren organische Substanz (Wurzeln und Pflanzenreste) mineralisiert wurde/wird. Dass der Nmin-Gehalt in den Bodentiefen 30 – 60 cm und 60 – 90 cm im Januar 2019 höher war als im Oktober des ASJ, kann verschiedene Ursachen haben. Möglicherweise war der Nmin-Gehalt schon vor der Roggenaussaat in der Bodentiefe 0 – 30 cm geringer als in den anderen Bodenschichten. Falls der Nmin-Gehalt in der Bodenschicht 0 – 30 cm vor der Roggenaussaat höher oder ähnlich der tieferen Bodenschichten war, kann durch Niederschlag im oder vor Januar eine Versickerung in die tieferliegenden Bodenschichten stattgefunden haben. Möglich ist jedoch auch eine Aufnahme des Stickstoffs in dieser Tiefe durch die Nachfrucht.

Der Landwirt gab zu bedenken, dass die Steinkleeernte im HNJ leichter mit dem Trommelmähwerk als mit dem Maisgebiss zu bewältigen sei. Durch den hohen Faseranteil des Stängels zu diesem Zeitpunkt besteht die Gefahr, bei der Ernte mit dem Maisgebiss, die Steinkleepflanzen aus dem Boden zu reißen und damit Boden mit in die Biogasanlage zu geben. In diesem Betrieb wurde mit einem Rotationsmähwerk erfolgreich geerntet.

Nachfrucht

Winterroggen, Ertrag: 190 dt GPS (31 % TS)

5.1.5. Standort 3

Aussaat 22.05.2017, Aussaatstärke: 22,65 kg/ha, Flächengröße: 4,4154 ha, Nutzung: Gründünger, Bienenweide

Abbildung 34: Steinklee-Fläche am Standort 3 im Juni (links) und im Juli (rechts) des ASJ 2017

Abbildung 35: Steinklee-Fläche am Standort 3 im August des ASJ 2017

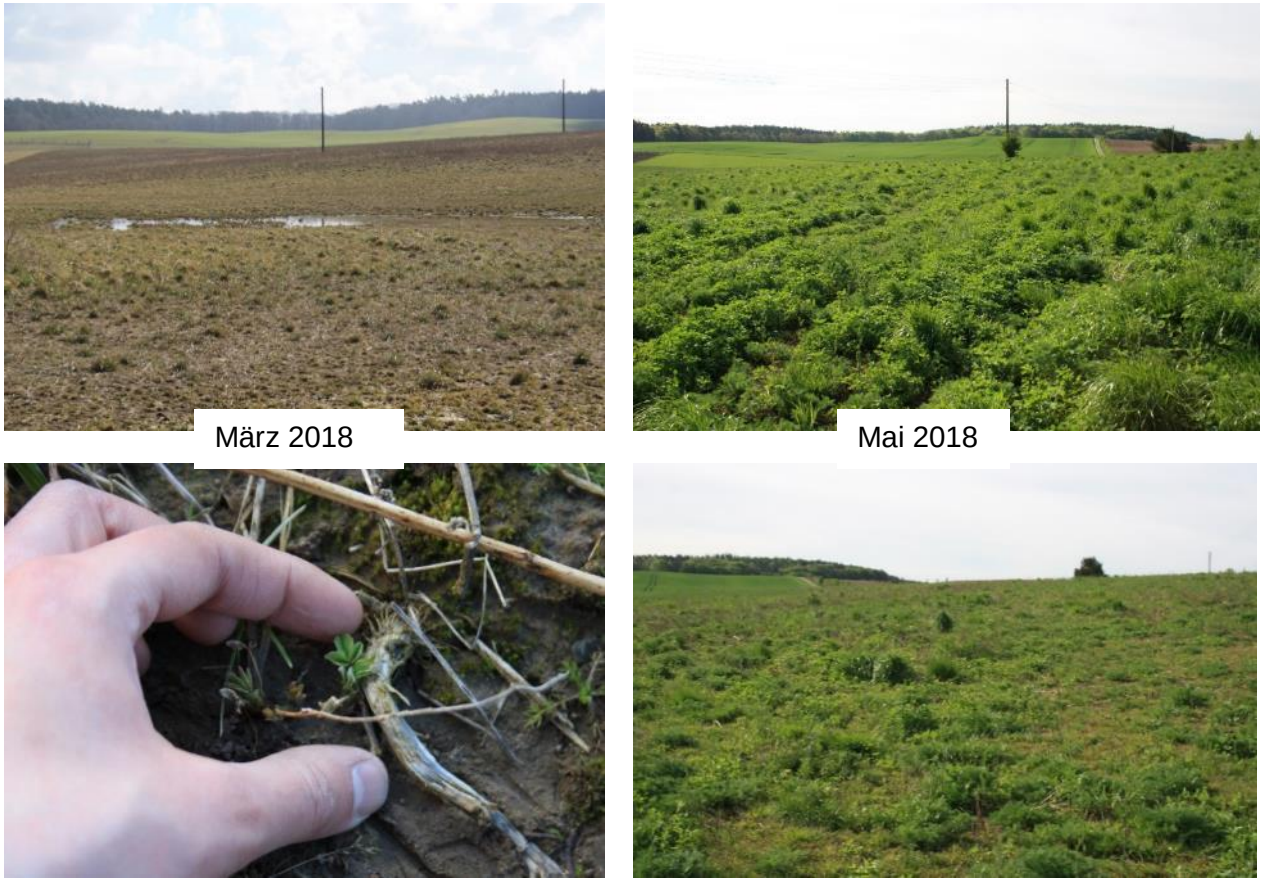


Abbildung 36: Steinklee-Fläche am Standort 3 im März (links) und im Mai (rechts) des HNJ 2018

Bearbeitung des Bodens

Der Boden wurde im August 2016 sowie im April und Mai 2017 mit der Scheibenegge bearbeitet. Eine Behandlung mit einem Breitbandherbizid wurde ebenfalls im April 2017 durchgeführt.

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Die Aussaat fand am 22.05.2017 statt. Die Abbildung 34 sowie die Abbildung 35 zeigen die Fläche im ASJ, während die Abbildung 36 das Frühjahr des HNJ abbildet. Die Fläche erwies sich als sehr heterogen in den Bodenverhältnissen und auch im Aufwuchs des Steinklees. An den Rändern des Feldes schien das Wachstum des Steinklees sehr gut zu sein. In einigen Bereichen wurde der Aufwuchs durch die Blätter von Rapsdurchwuchs im Wachstum behindert. Stellenweise waren die Steinkleepflanzen kaum sichtbar bzw. nur sehr sporadisch. An anderen Stellen wiederum wuchs der Steinklee gut, jedoch wurde er durch sehr wüchsiges Beikraut überwachsen. An den Stellen, an denen das Wachstum sehr eingeschränkt war, wies der Steinklee rote Stiele auf (Abbildung 37). Untersuchungen wiesen darauf hin, dass der pH-Wert hierbei ausschlaggebend gewesen sein könnte (Tabelle 14). Da aber im vorangegangenen Projekt ein pH-Wert von 5,8 als günstig für den Steinkleeanbau angesehen wurde, ist zu vermuten, dass es noch eine andere Ursache für diesen Wachstumsunterschied gegeben haben muss. Bei Bull (2013) traten ebenfalls vergleichbare Entwicklungsunterschiede auf, bei denen aber kein Zusammenhang zum pH-Wert des Bodens festgestellt werden konnte.

Der tiefer gelegene Teil der Steinkleefläche wies einen sehr nassen Boden auf. Hier bildete sich ein kleines Standgewässer, welches sich im Winter 2017/2018 weiter ausbreitete. Im Umkreis dieses kleinen Gewässers fiel den Pflanzen das Wachstum schwer.

Abbildung 37: Steinklee mit rotem Stängel

Tabelle 14: Boden-pH-Werte der Steinkleefläche am Standort 3 im ASJ (Beprobung in Bereichen von wüchsigem und wenig wüchsigem Steinklee)

pH-Wert (Bereiche mit geringem, auffälligem Steinkleewuchs)	**pH-Wert (Bereiche mit gutem Steinkleewuchs)**
5,9	7,2

Im Juli des ASJ wurde eine Beikrautbonitur durchgeführt. Neben Weißem Gänsefuß waren auch Kamille, Hirse, Ackerstiefmütterchen, Hirtentäschel, Ackerschachtelhalm, Knöterich und Raps auf der Fläche zu finden. Besonders hervor traten Weißer Gänsefuß, Knöterich, Ackerstiefmütterchen und Raps, welcher als Vorfrucht des Steinklees diente. Bemerkenswert war, dass der Raps vor allem in bestimmten Teilen des Feldes auftrat, während der Knöterich sich eher in anderen Teilen der Fläche angesiedelt hatte. Das Ackerstiefmütterchen fand sich nahezu flächendeckend wieder. Zur Eindämmung des Beikrautes wurden Schröpfschnitte durchgeführt.

Im HNJ war auch am Standort 3 der Boden zum Zeitpunkt der Begehung (Ende März 2018) wassergesättigt.

Im März 2018 waren an wenigen Stellen auf der Fläche Wiederaustriebe zu erkennen. Es bestand der Verdacht, dass sich auf der Fläche kein bzw. kein dichter Steinkleebestand etablieren würde, da die Fläche schon im ASJ von einer starken Heterogenität im Pflanzenartenbestand geprägt war. Zudem lag die Vermutung nahe, dass der letzte Schröpfschnitt im August 2017 zu tief angesetzt worden war und deswegen ein Wiederaustrieb gegebenenfalls ausbleiben würde.

Im Mai/Juni des HNJ konnte der Steinklee auf der Fläche bereits deutlich wahrgenommen werden, jedoch war die Wüchsigkeit auf der Fläche sehr unterschiedlich und das Unkrautaufkommen sehr hoch.

Bei der Begehung im August 2018 überraschte der Standort mit dem Blick auf einen reinen Steinkleebestand (Abbildung 38). Zwischen den Steinkleepflanzen befanden sich zwar Unkräuter, diese waren jedoch entweder niedriger als der Steinklee oder abgestorben. Die Höhe der Steinkleepflanzen lag zwischen 45 und 165 cm. Die Pflanzen wiesen wenig Blattmasse auf. Steinklee hat an diesem Standort, an dem der Unkrautdruck wesentlich höher war als an den anderen Demonstrationsstandorten im Projekt, die Unkrautunterdrückung sehr gut erfüllt.

Pflanzenproben wurden genommen, um den Biomasseertrag sowie den Biogasertrag zu ermitteln (Tabelle 15).

Abbildung 38: Steinklee-Fläche am Standort 3 im Juni (links) und im August (rechts) des HNJ 2018

Tabelle 15: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 3 im HNJ 2018

Schnittzeitpunkt	Biomasseertrag (dt/ha FM)	Biomasseertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methanausbeute (m^3/dt TM)
HNJ einschnittig (August 2018, während / nach Blüte)	**88**	**31**	**35**	**28,1**

Nmin

Bodenproben wurden im ASJ am 16.08.2017 sowie am 11.10.2017 genommen. Die Beprobung im August war detailliert (12 Stellen x 3 Tiefen), während die Beprobung im Oktober pro Tiefe eine Mischprobe ergab. Die Bodenprobepunkte waren ungefähr die gleichen wie bei der Beprobung im August.

Eine Beprobung zur Analyse des Nmin-Gehaltes am Standort konnte im Herbst des HNJ 2018 aufgrund der Trockenheit nicht durchgeführt werden. Die Beprobung erfolgte im Winter 2018/2019.

Der Vergleich des Nmin-Gehaltes zu den verschiedenen Zeitpunkten im ASJ, HNJ und zur Nachfrucht (Abbildung 39) zeigt, dass die Werte im ASJ und im HNJ wesentlich geringer ausfielen als die zur Beprobung in der Nachfrucht.

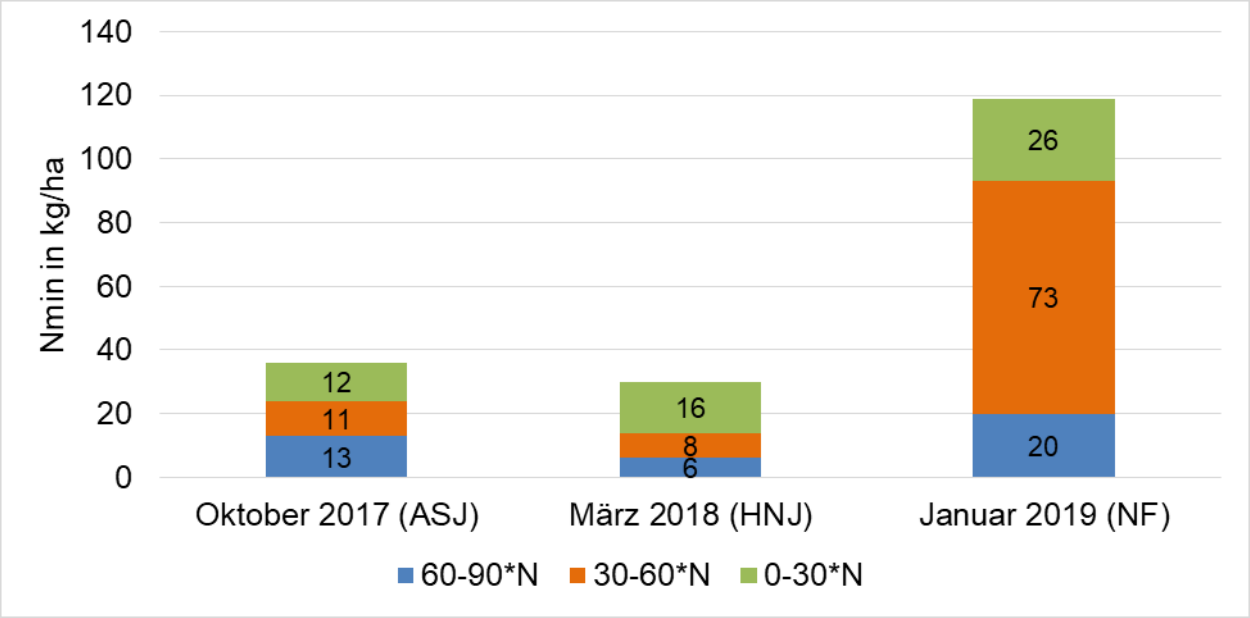


Abbildung 39: Nmin auf der Steinklee-Fläche am Standort 3 zu drei verschiedenen Terminen (ASJ, HNJ und zur NF)

Im Januar 2019 war vor allem in der Bodentiefe 30 – 60 cm der Nmin-Gehalt höher als in den anderen Bodentiefen. Die im Vergleich zum ASJ und HNJ erhöhten Nmin-Werte zur Nachfrucht lassen sich auch am Standort 3 mit einer Mineralisierung der organischen Substanz und der Wurzeln des Steinklees erklären. Der im Vergleich zur Bodentiefe 0 – 30 cm erhöhte Nmin-Gehalt in der Bodentiefe 30 – 60 cm könnte daher stammen, dass die Nachfrucht mit ihren Wurzeln noch nicht in die tieferen Bodenschichten gelangt war und somit bei Niederschlägen eine Versickerung des Stickstoffs in die tieferen Schichten stattfand.

Nachfrucht

Grünland

5.1.6. Standort 4

Aussaat: 05.09.2017 bzw. 10.04.2019, Aussaatstärke: 25 kg/ha, Flächengröße: 2,1 ha, Nutzung: Bienenweide

Bearbeitung des Bodens

Nach der Glyphosatapplikation (Leitbeikräuter: Quecke und Ampfer) im August 2017 wurde der Boden vor der Saat gescheibt und im September mit Packer gepflügt.

Vor der wiederholten Aussaat 2019 wurde der Boden mit der Scheibenegge bearbeitet und gegrubbert.

Entwicklung und Bewirtschaftung der Fläche

Im Jahr 2017 wurde auf der Fläche auf dem Standort in Brandenburg Steinklee aufgrund der Nässe erst im September ausgesät.

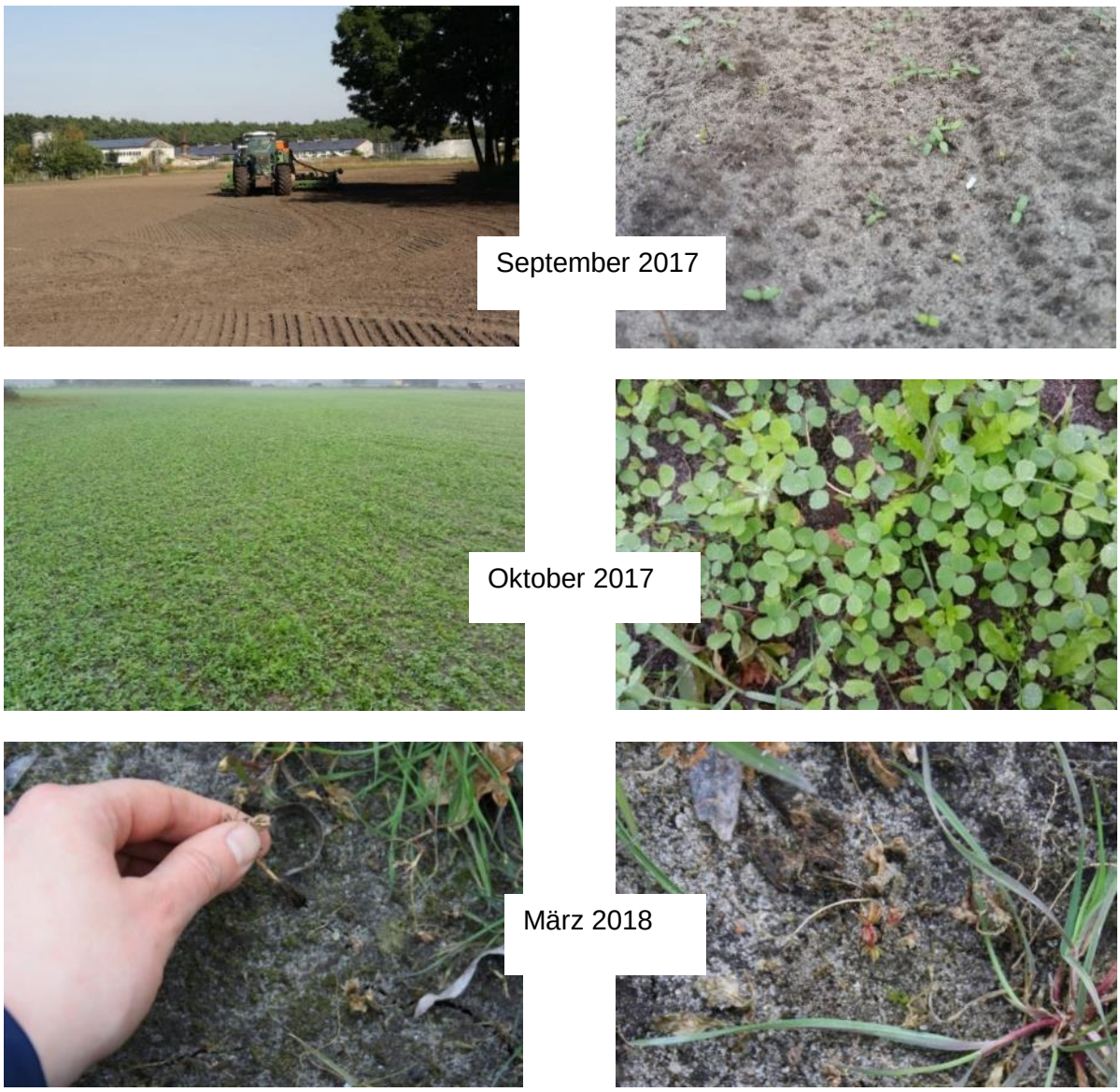


Abbildung 40: Steinklee-Aussaat und Aufwuchs am Standort 4 im ersten ASJ 2017 und nach Kahlfrost im März des HNJ 2018

Dieser Aussaattermin ist sehr spät und wird nicht empfohlen, da die Überwinterungsorgane zu wenig Zeit haben, um sich auszubilden. Die Pflanzen liefen jedoch sehr gut auf (Abbildung 40). Im Frühjahr 2018 schadete Kahlfrost dem Bestand enorm. Die meisten Pflanzen starben ab. Eine Neuaussaat war im Mai 2018 geplant, konnte jedoch aufgrund der Trockenheit in dem Jahr nicht durchgeführt werden.

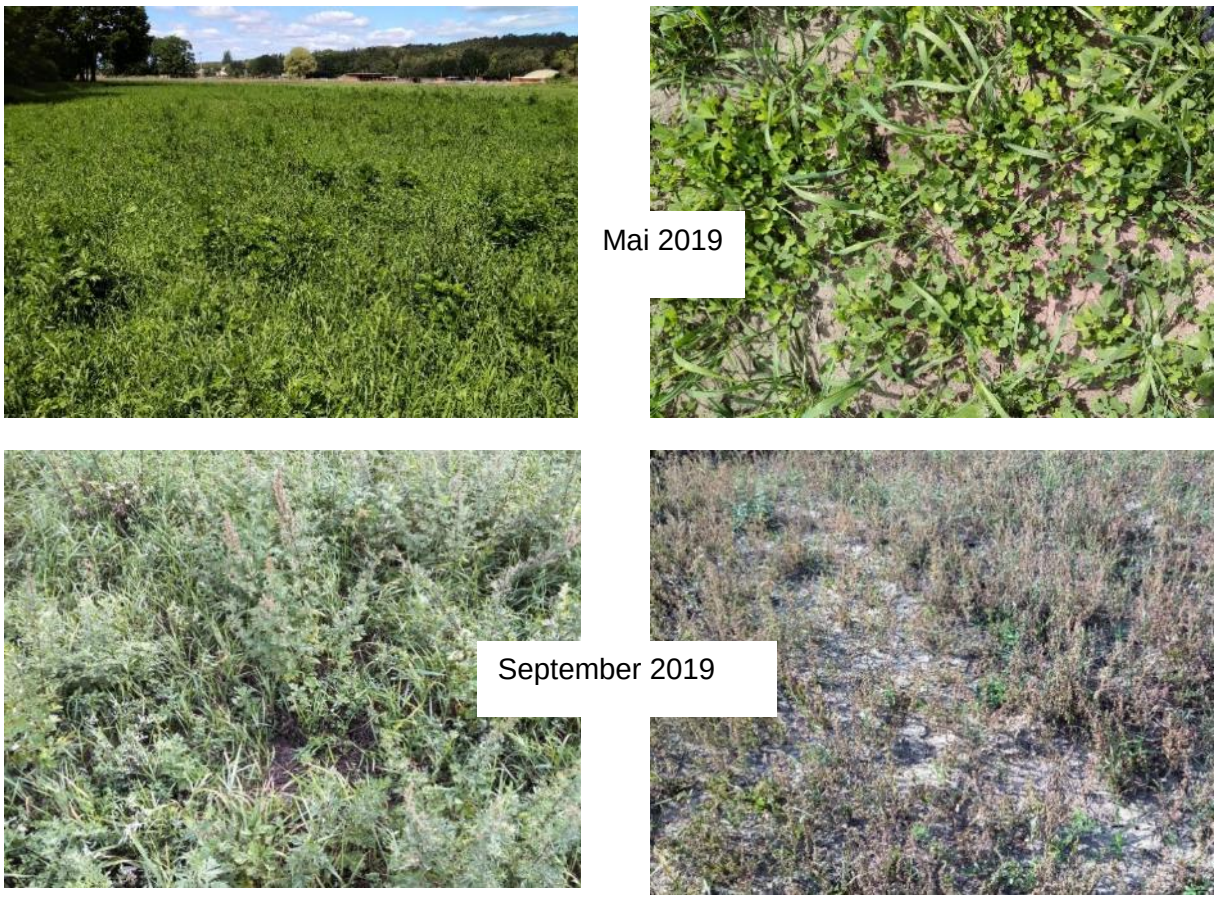


Abbildung 41: Steinkleefläche am Standort 4 im wiederholten ASJ 2019

Im Frühjahr 2019 wurde daher eine neue Steinkleeaussaat auf der Fläche durchgeführt. Es wurden 50 % Weißer Steinklee und 50 % Gelber Steinklee gedrillt. Ursprünglich sollten jeweils 25 % des weißen bzw. des gelben Saatgutes einjährig und 25 % des weißen bzw. des gelben Saatgutes zweijährig sein. Da nicht genug einjähriges Saatgut verfügbar war und eine Frühjahrsaussaat durchgeführt werden sollte, wurde wieder rein zweijähriges Saatgut verwendet.

Mit der Aussaat von Saatgut mit verschiedener Jährigkeit sollte schon im Ansaatjahr eine blühende Fläche für die Nektar- und Pollenfressenden Insekten zur Verfügung stehen. Im Hauptnutzungsjahr sollten die Pflanzen des zweijährigen Steinklees die Lücken schließen, die durch das Fehlen der einjährigen Pflanzen entstanden sind.

Mit der Mischung aus einjährigem und zweijährigem Steinklee hätte so eine Nutzung als Bienenweide in beiden Jahren erzielt werden und das starke Pfahlwurzelsystem des zweijährigen Steinklees zur Auflockerung des Bodens bzw. zur verbesserten Nährstoff- und Wasseraufnahme in der Nachfrucht genutzt werden können.

Nmin

Die Abbildung 42 zeigt den Nmin-Gehalt auf der Steinkleefläche zu verschiedenen Beprobungsterminen am Standort 4. Möglicherweise besteht der Unterschied im Nmin-Gehalt zwischen Oktober 2017 und März 2018, da nach der Ernte der Vorfrucht Winterroggen noch Wurzel- und Stoppelreste auf der Fläche mineralisiert wurden und durch die Feuchtigkeit bzw. den hohen Niederschlag Nmin schnell in tiefere Bodenbereiche gelangen konnte bzw. im März 2018 ausgewaschen war.

Im Jahr 2018 war es wie bereits dargestellt sehr trocken. Daher konnte keine Ansaat von Steinklee in dem Jahr stattfinden und dementsprechend wenige Biomasserückstände, die den Nmin-Gehalt

hätten erhöhen können, auf der Fläche angereichert werden. Die Bodenbeprobung im Jahr 2019 fand vor der Aussaat des Steinklees statt und nach dem Eggen im November 2018. Hier ist eine leichte Erhöhung des Nmin-Gehaltes auf der Fläche zu verzeichnen, jedoch auch eine Verlagerung in die unteren Bodenschichten. Auch hier scheint die Bodenbearbeitung eine Mineralisation in Gang gesetzt zu haben. Durch die fehlende Biomasse auf der Fläche wurde Stickstoff jedoch in die tieferen Bodenschichten verlagert. Weitere Untersuchungen sind wegen der Beendigung des Projektes nicht mehr möglich.

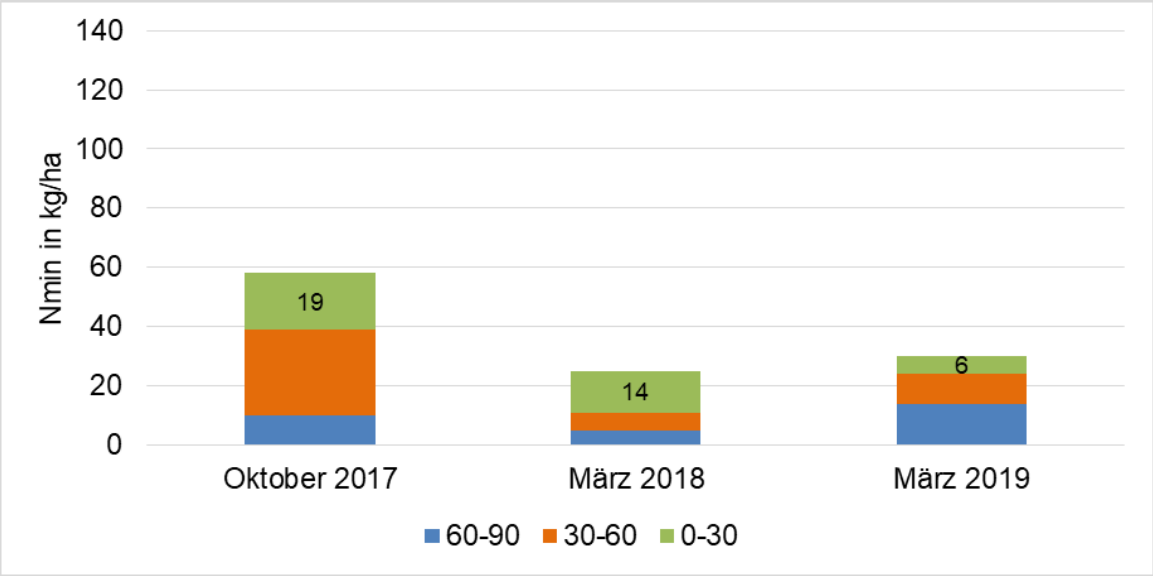


Abbildung 42: Nmin auf der Steinklee-Fläche am Standort 4 zu drei verschiedenen Terminen

5.1.7. Standort 5

Aussaat: 01.04.2016 / 31.08.2018 und Ref. / 29.08.2017, Aussaatstärke: 15 – 25 kg/ha, Flächengröße: ca. 0,1 ha, Nutzung: Gründünger und Bienenweide

Bearbeitung des Bodens

1. Steinkleefläche:

Vor der Aussaat am 01.04.2016 fand eine Bodenbearbeitung mit der Scheibenegge statt. Zudem wurde das Saatgut mit RhizoFix Luzerne angeimpft. Auf derselben Fläche wurde die Nachfrucht Winterroggen ausgebracht und daraufhin wieder Steinklee am 31.08.2018 gedrillt. Vor der Aussaat wurde gepflügt.

2. Steinkleefläche:

Eine weitere Fläche wurde am 29.08.2017 mit Steinklee bestellt. Vor der Aussaat wurde mit RoundUp gearbeitet und gepflügt.

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

Am Standort befanden sich zwei Steinkleeflächen. Die erste Steinkleefläche wurde im Jahr 2016 ausgesät und im Sommer 2017 geerntet (Abbildung 43, links).

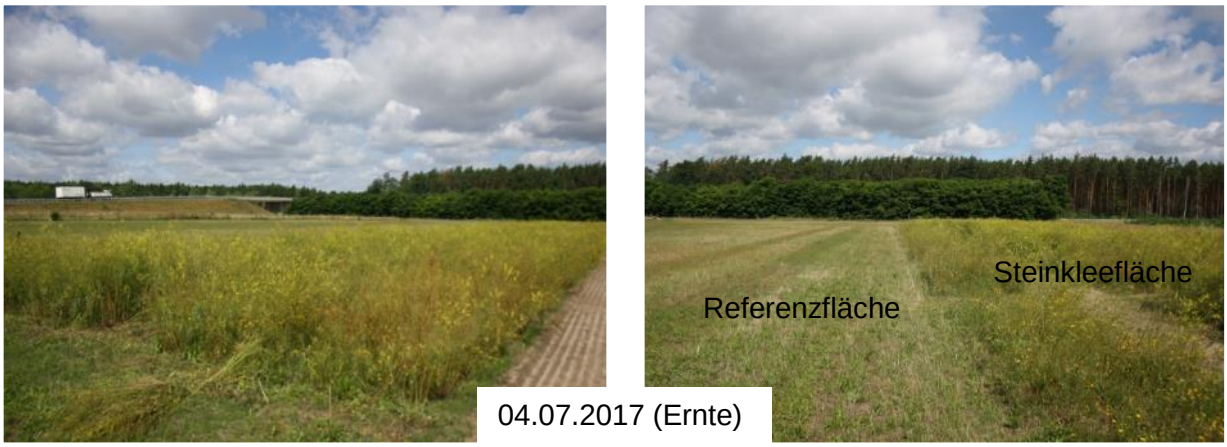


Abbildung 43: Fläche am Standort 5 (links: Steinkleefläche (Aussaat 01.04.2016); rechts: Referenzfläche)

Abbildung 44: Fläche am Standort 5. (links: neue Steinkleefläche (Aussaat 29.08.2017), ehemals Referenzfläche; rechts: Nachfrucht Roggen auf der ehemaligen Steinkleefläche)

Als Nachfrucht wurde hier Roggen ausgebracht (Abbildung 44, rechts und Abbildung 45, hinten im Bild), der aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 auf der Fläche vertrocknet ist, daher nicht geerntet werden konnte und somit auch kein Ertrag zu ermitteln war.

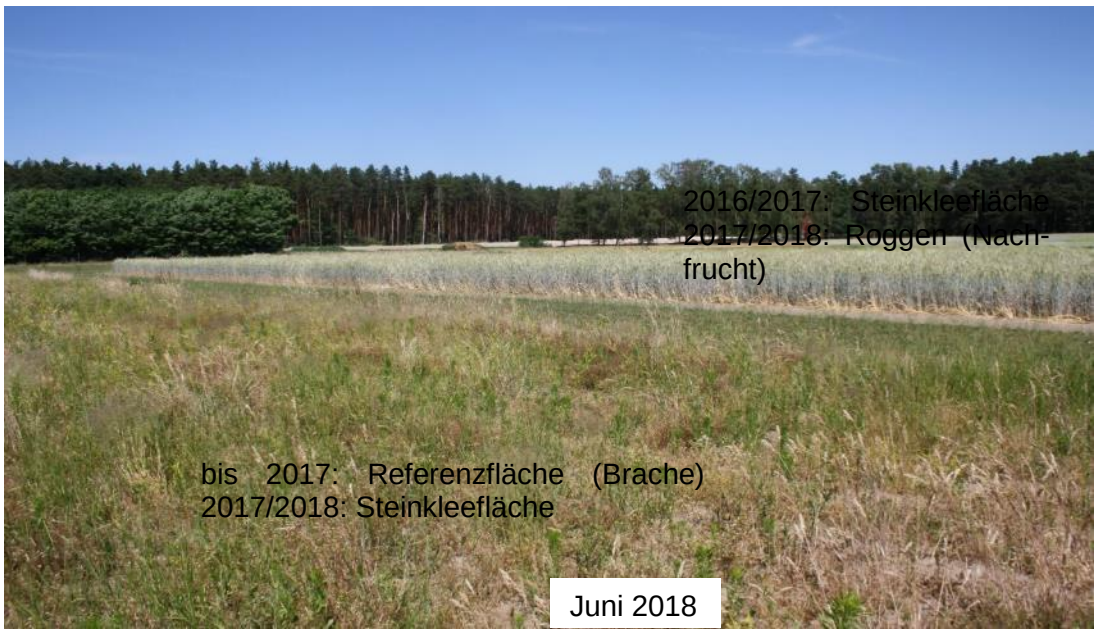


Abbildung 45: Anbaufläche am Standort 5, Steinkleefläche (vorne) im HNJ 2018, Roggenfläche als Steinklee-Nachfrucht (hinten)

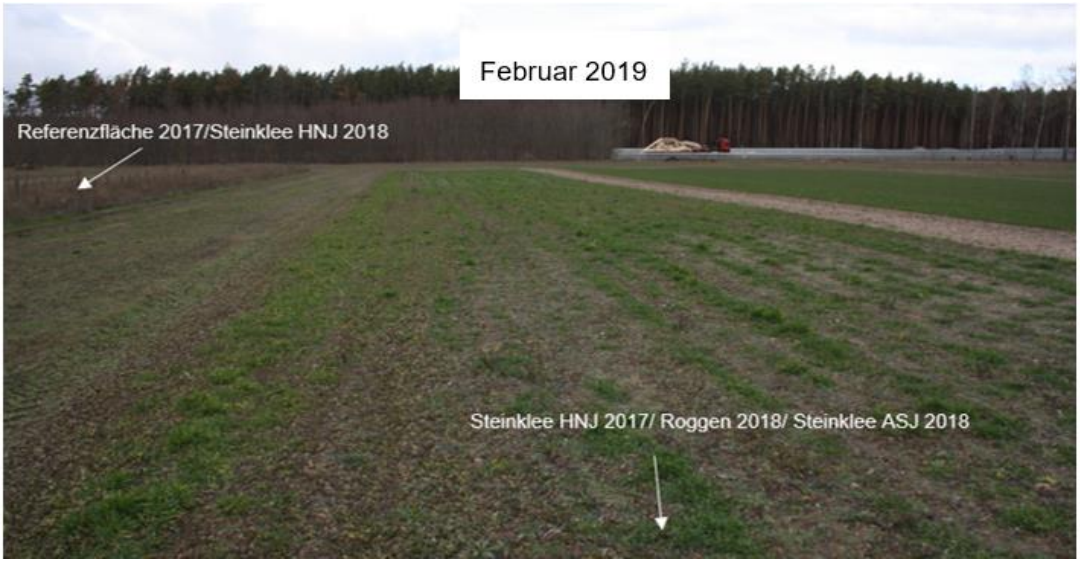


Abbildung 46: Blick auf die beiden Flächen am Standort 5 im Februar 2019 (links: Steinkleefläche (Aussaat 29.08.2017, ehemals Referenzfläche), rechts: Steinkleefläche (Aussaat 31.08.2018, Vorfrucht Roggen)

Nachdem der Roggen von der Fläche genommen war, wurde 2018 erneut Steinklee ausgebracht (Abbildung 46). Im Februar 2019 war zwischen dem Unkraut auf der Fläche nur vereinzelt das Auflaufen von Steinkleepflanzen erkennbar (Abbildung 47).

Die zweite Steinkleefläche lag bis zum Jahr 2017 brach (Abbildung 44). Im Jahr 2017 wurde auf der Fläche Steinklee ausgedrillt (Abbildung 45, vorne im Bild). Da die Aussaat sehr spät stattfand, konnte keine Ernte im ASJ 2017 erfolgen. Zudem war das HNJ 2018 von Trockenheit geprägt, beide Faktoren (späte Aussaat und Trockenheit) führten dazu, dass keine Bestandesetablierung stattfinden konnte. Ein Auflaufen des Steinklees war nur stellenweise feststellbar.

Weil sich die Fläche seit der Aussaat nicht richtig entwickelte, beließ der Bewirtschafter den Steinklee vorerst auf der Fläche, um zu schauen, ob die Aussaat 2017 nach der Trockenheit in 2018 doch noch im Jahr 2019 auflaufen würde. Im Februar 2019 waren keine Steinkleepflanzen auf der Fläche zu erkennen. Die ersten Steinkleepflanzen zeigten sich hier Mitte März. Es befand sich relativ viel Unkraut auf der Fläche (Abbildung 48).

Abbildung 47: Blick auf die 1. Steinkleefläche im Februar 2019 (links) (Aussaat 31.08.2018) und Auflaufen vereinzelter Steinkleepflanzen (rechts)

Abbildung 48: Blick auf die 2. Steinkleefläche im Februar 2019 (links) (Aussaat 29.08.2017) und Nahaufnahme des Unkrautbewuchses (rechts)

Im Juli 2017 fand die Steinkleeernte der Steinkleefläche statt, die 2016 angelegt wurde. Zur Ermittlung der Biogasausbeute wurden Pflanzenproben zur LUFA geschickt. Die Ergebnisse sind der Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 5 im HNJ 2017

Schnittzeitpunkt	Biomasse-ertrag (dt/ha FM)	Biomasse-ertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methan-ausbeute (m^3/dt TM)
HNJ einschnittig (Juli 2017, während / nach Blüte)	**130**	**36**	**28**	**25,5**

Nmin

Nach der Steinkleeernte auf der 1. Steinkleefläche im Hauptnutzungsjahr 2017 wurde im Oktober 2017 Roggen als Nachfrucht ausgedrillt. Zum Zeitpunkt der Ernte wurden Bodenproben auf dieser Fläche genommen sowie auf einer benachbarten Referenzfläche (2. Steinkleefläche). Der Unterschied im Nmin-Gehalt zwischen den beiden Flächen ist deutlich erkennbar (Abbildung 49, roter Rahmen).

Im August 2017 wurde auf der Referenzfläche Steinklee angesät. Die Abbildung 49 (gelber Rahmen) zeigt den Nmin-Gehalt im Boden auf dieser Fläche zu vier verschiedenen Terminen. Sichtbar wird, dass der Nmin-Gehalt auf der Fläche mit dem Anbau von Steinklee angestiegen ist. Im niederschlagsreichen Jahr 2017 sind nach Steinkleeansaat, im Gegensatz zur vorherigen Brache, höhere Nmin-Gehalte in den Bodenschichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm zu beobachten.

Im Gegensatz zu den anderen Standorten war am Standort 5 eine sehr schlechte Etablierung des Steinklees gegeben. Auf der 2. Steinkleefläche wurde der Steinklee im August 2017 ausgesät. Dieser Termin war zu spät im Jahr, als dass sich ein Steinkleebestand hätte etablieren können. Zusätzlich war das Hauptnutzungsjahr 2018 ein extrem trockenes Jahr, was ebenfalls nicht förderlich für die Bildung eines Steinkleebestandes war. Dennoch lässt sich in der Abbildung 53 ein Anstieg im Nmin-Gehalt auf der Referenzfläche (2. Steinkleefläche) im Laufe der Anbauzeit erkennen. Dieser lässt sich jedoch nicht dem Steinklee zuordnen, da es keinen Bestand gegeben hat, der durch Wurzel- und Pflanzenbiomasse hätte Stickstoff auf die Fläche bringen können.

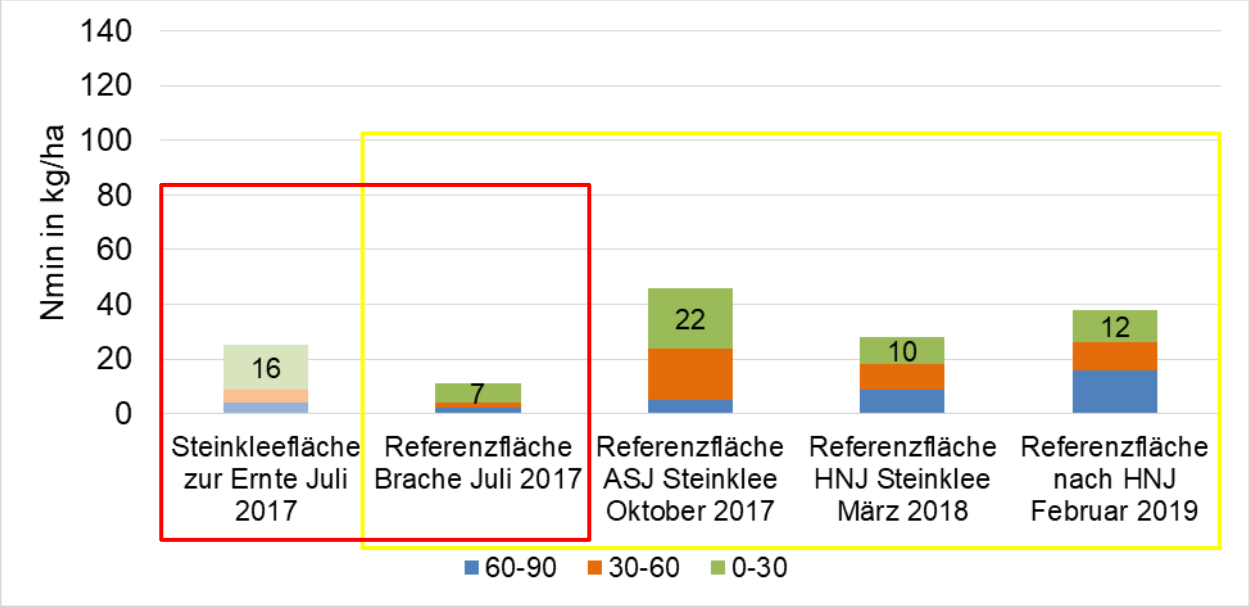


Abbildung 49: Vergleich Nmin-Gehalt der 1. Steinkleefläche unmittelbar nach der Steinklee-Ernte im HNJ und der 2. Steinkleefläche (Referenzfläche) zu verschiedenen Terminen am Standort 5

Vielmehr lässt sich der Anstieg im Oktober des ASJ 2017 so erklären, dass durch den Umbruch der Vorfrucht (Brache) eine Mineralisierung im Boden in Gang gesetzt wurde.

Im März des HNJ ist ein Rückgang des Nmin-Gehaltes im Vergleich zum Oktober des ASJ zu beobachten. Möglicherweise konnte sich der mineralisierte Stickstoff im Boden durch den extrem geringen Steinkleebewuchs im warmen und niederschlagreichen Herbst 2017 im Sandboden nicht halten. Nmin aus den oberen Bodenschichten kann in die unteren Bodenschichten gelangt sein, während die sich bildende Vegetation Nmin auch aus dem Oberboden aufgenommen haben könnte. Die Abbildung 50 zeigt die Entwicklung des Nmin-Gehaltes auf der 1. Steinkleefläche. Der als Nachfrucht

angebaute Roggen hatte der starken Trockenheit im Jahr 2018 nichts entgegen zu setzen. Er wurde daher nicht geerntet. Die Pflanzenreste des Roggens auf der Fläche sorgten vermutlich für den im Vergleich zum Juli 2017 starken Nmin-Anstieg. Als Nachfrucht des Roggens wurde im August 2018 wieder Steinklee ausgedrillt. Auch hier war der Aussaatzeitpunkt sehr spät gewählt. Zudem blieb die Trockenheit in 2018 bestehen. Bis Ende November lief auch auf dieser Fläche kein Steinklee auf. Bei einer erneuten Bonitur im Frühjahr 2019 konnte aufgelaufener Steinklee ermittelt werden, jedoch war die Anzahl der Pflanzen vernachlässigend gering. Der geringe Nmin-Gehalt im Februar 2019 (Abbildung 50) kann so erklärt werden, dass auch hier der Stickstoff in tiefere Bodenschichten ausgewaschen wurde.

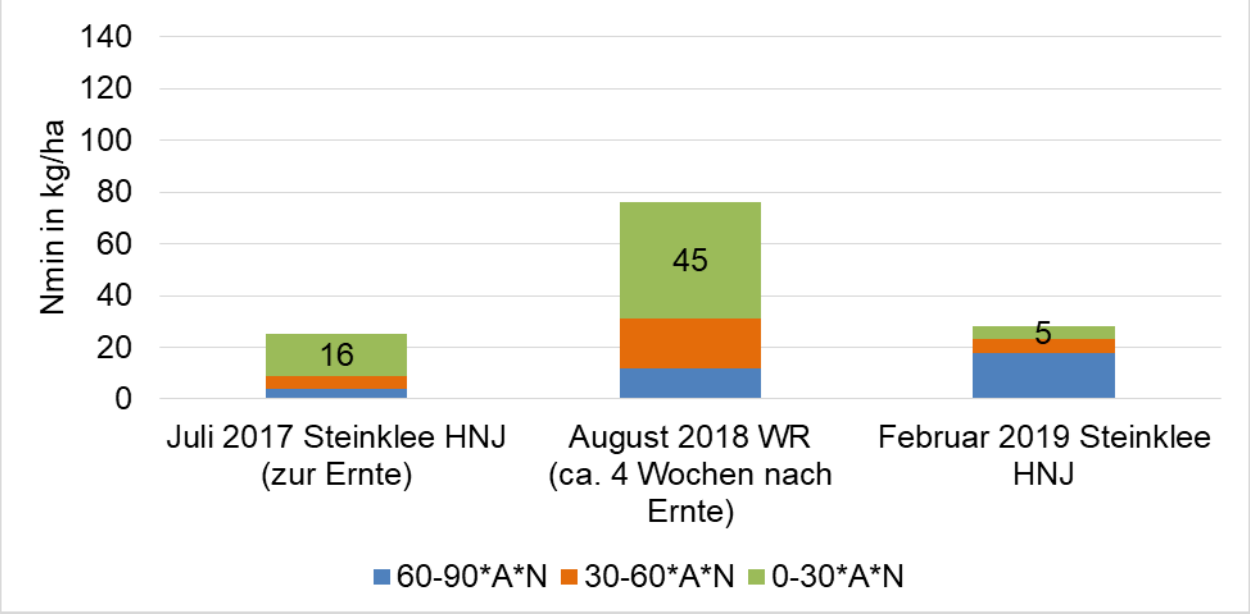


Abbildung 50: Vergleich der Nmin-Gehalte auf der 1. Steinkleefläche am Standort 5 zu verschiedenen Terminen

Weiteres Vorgehen

Der Vertrag mit dem Demonstrationsbetrieb endete am 31.12.2019. Es werden keine weiteren Proben entnommen oder Begehungen durchgeführt.

5.1.8. Standort 6

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

Siehe Bericht im Anhang.

Weiteres Vorgehen

Der Betrieb schied zum Jahresbeginn 2019 aus dem Projekt aus. Es werden keine weiteren Aktivitäten auf der Fläche durchgeführt. Der begleitende Bodenkundler nahm die Arbeit am Standort 11 auf.

5.1.9. Standort 7

Aussaat: 09.04.2018, Aussaatstärke: 20 kg/ha, Flächengröße: 4,2 ha, Nutzung: Bienenweide, Biogas, Gründünger

Bearbeitung des Bodens

Vor der Aussaat wurde nicht gepflügt. Vorfrucht war Mais (sichtbar an den Ernteresten). 3 Tage vor der Aussaat wurde eine Gärrestgabe durch einen Lohnunternehmer durchgeführt.

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

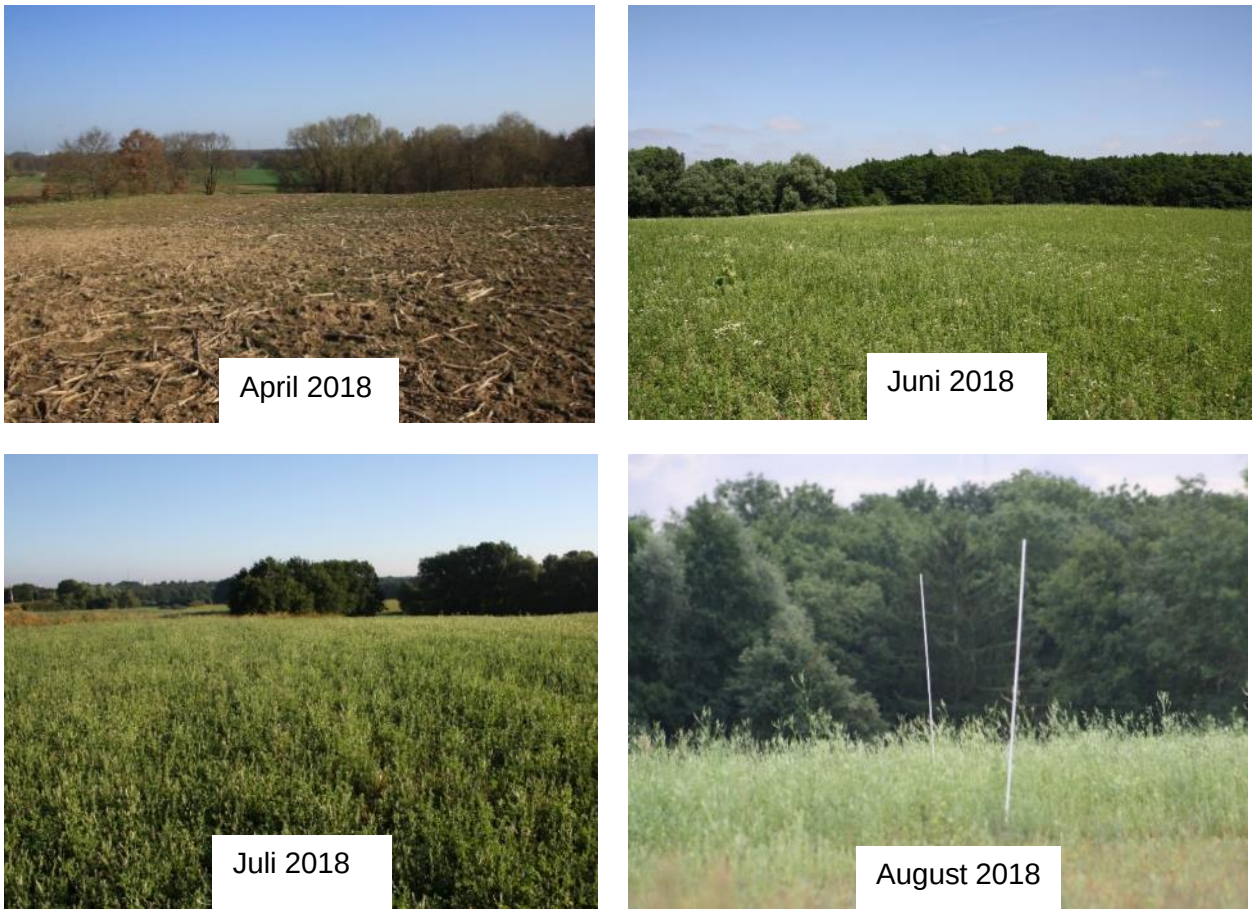


Abbildung 51: Steinkleefläche am Standort 7 an verschiedenen Terminen im Jahr 2018

Die Aussaat wurde am 09.04.2018 durchgeführt. Im Juni konnte ein lückiger Steinkleebestand beobachtet werden.

Zwischen den Steinkleepflanzen war viel Unkraut vorhanden. Im Juli war die Fläche eindeutig als Steinkleefläche zu erkennen. Kamille und Weißer Gänsefuß waren neben anderen Unkräutern jedoch immer noch in hoher Zahl auf der Fläche vorhanden.

Bei der Begehung im August 2018 konnten eindeutige Unterschiede im Steinkleeaufwuchs festgestellt werden. Auf den Sandlinsen der sehr heterogenen Fläche war der Bewuchs nur spärlich, wohingegen an anderen Stellen auf der Fläche ein sehr guter Aufwuchs festzustellen war.

Besonders war, dass der Weiße Steinklee im ASJ 2018 bereits flächendeckend blühte. Da zweijähriger Steinklee normalerweise erst im Hauptnutzungsjahr zur Blüte kommt, lag der Verdacht nahe, dass es sich beim Weißen Steinklee um eine einjährige Form handelte. Auf Nachfrage beim Saatguthändler wurde mitgeteilt, dass es definitiv zweijähriger Steinklee sei.

Um diese Aussage zu überprüfen, wurden einige Pflanzen des Weißen Steinklees mit Stäben gekennzeichnet, um diese nach der Blüte noch auf der Fläche ausfindig machen zu können und festzustellen, ob sich an den Wurzelköpfen zu gegebenem Zeitpunkt Wiederaustriebe für das Hauptnutzungsjahr gebildet hatten. Wiederaustriebe konnten bei den gekennzeichneten Pflanzen des Weißen Steinklees weder im Herbst 2018 (ASJ) noch im Frühjahr 2019 (HNJ) gefunden werden. Es wäre möglich, dass ein Teil oder das komplette Saatgut des Weißen Steinklees einjährig war. Diesem Aspekt wurde im Hauptnutzungsjahr 2019 weiter nachgegangen.

Januar 2019

Juni 2019

September 2019

Abbildung 52: Steinkleefläche am Standort 7 im Januar, Juni und September 2019

Die Abbildung 52 (Januar 2019) zeigt, dass keine Wiederaustriebe an der gekennzeichneten Pflanze (Weißer Steinklee) angelegt waren. Das gleiche Bild bot sich bei allen anderen gekennzeichneten Pflanzen ebenso. Normalerweise werden die Wiederaustriebe beim zweijährigen Steinklee im September/Oktober des ASJ angelegt. Dies hätte also im Jahr 2018 schon der Fall sein müssen.

Im Hauptnutzungsjahr 2019 blühte ausschließlich der Gelbe Steinklee (Abbildung 52, Juni 2019). Die gesamte Fläche war, wie bereits im ASJ durch die Weiße Steinkleeblüte, sehr stark von Bienen besucht. Im September des HNJ waren, neben den vermehrt braunen Steinkleestängeln, auch sehr viele abgestorbene Pflanzen des Beifuß zu erkennen (Abbildung 52, September 2019).

Nmin

Auf der Fläche konnte ein tendenzieller Rückgang des Nmin-Gehaltes vom Frühjahr des Ansaatjahres 2018 zum Winter 2018/2019 des HNJ festgestellt werden.

An beiden Beprobungsterminen war die Fläche ohne (sichtbaren) Bewuchs. Der erste Termin lag 9 Tage nach der Aussaat und der zweite vorm Wiederaustrieb des Steinklees aus dem Wurzelkopf. Im Frühjahr des HNJ erreichte der ohnehin schon niedrige Nmin-Gehalt seinen Tiefpunkt. Nach dem Absterben der Steinkleepflanzen wurden diese im Februar vor der Bodenprobenahme gemulcht. Wie zu erwarten war, stieg der Nmin-Gehalt nach dem Absterben der Pflanzen und durch die damit verbundene Mineralisierung an (Abbildung 53). Jedoch ist auch dieser Anstieg wesentlich geringer als zu erwarten war und geringer als vor der Aussaat im April 2018, als noch Maispflanzenreste auf der Fläche lagen.

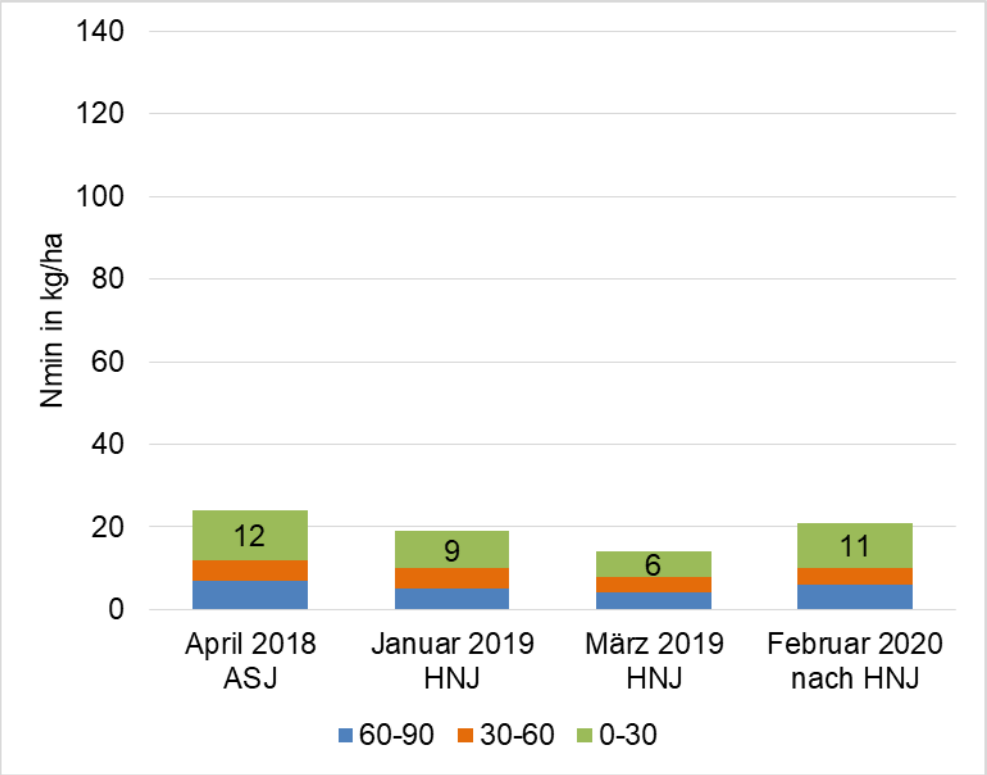


Abbildung 53: Nmin-Gehalt am Standort 7 zu vier verschiedenen Terminen

Möglicherweise hätte sich der Nmin-Gehalt auf der Fläche anders entwickelt, wenn sich der Weiße und der Gelbe Steinklee nicht in der Jährigkeit unterschieden hätten und somit mehr Biomasse zur Mineralisierung auf der Fläche vorhanden gewesen wäre.

Corg

	Corg-Gehalt in % (Bodentiefe 0 – 30 cm)
Jan 2019	0,70
Feb 2020	0,92

Der Boden am Standort 7 ist sehr schwach humos (h1). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist im Laufe des Steinkleeanbaus leicht angestiegen, hier werden aufgrund der Heterogenität des Standortes Abweichungen in der Probenahme unterstellt. Eine nennenswerte Veränderung des Gehaltes konnte im Anbauzeitraum nicht erzielt werden. Für die Anreicherung von organischem Kohlenstoff ist generell ein Zeitraum über Jahre bzw. Jahrzehnte notwendig.

Biogaspotential

Im Juni des HNJ wurden Pflanzenproben genommen und zur Analyse zur LUFA geschickt. Der Biomasseertrag pro ha ist sehr gering (Tabelle 17). Grund dafür ist, dass durch das Wegfallen der Biomasse des vermeintlich einjährigen Weißen Steinklees im HNJ ausschließlich der Gelbe Steinklee für die Biomassebildung zur Verfügung stand. Von den 100 % Steinkleepflanzen waren also höchsten noch 50 % auf der Fläche verfügbar.

Tabelle 17: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 7 im HNJ 2019

Schnittzeitpunkt	Biomasse-ertrag (dt/ha FM)	Biomasse-ertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methan-ausbeute (m³/dt TM)
HNJ einschnittig (Juni 2019)	**78**	**16**	**21**	**29,4**

5.1.10. Standort 8

Aussaat: 02.06.2018, Aussaatstärke: 25 kg/ha, Flächengröße: 1,9933 ha, Nutzung: Bienenweide

Abbildung 54: Steinkleefläche am Standort 8 zum Zeitpunkt der Begehung im September des ASJ 2018

Abbildung 55: Steinkleefläche am Standort 8 im Juli des HNJ 2019

Bearbeitung des Bodens

Der Boden wurde vor der Aussaat gegrubbert (nicht gepflügt).

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

Es wurde im Juni 2018 gedrillt. Trotz Trockenheit lief der Steinklee gut und gleichmäßig auf, bildete im ASJ aber keinen hohen Bestand aus und wurde von diversen Beikräutern begleitet.

Im HNJ 2019 bildete sich ein lückiger Bestand aus. Dies kann daran gelegen haben, dass der Steinklee schon im ASJ starker Trockenheit ausgesetzt war und möglicherweise Pflanzen schon in der Keim- und Jugendphase vertrocknet sind. Die Pflanzenhöhe betrug bis zu 120 cm (Abbildung 55).

Am Standort wurde ein hohes Schmetterlingsaufkommen zur Blüte beobachtet (vor allem Kohlweißling) sowie eine hohe Anzahl an Bienen. Da die Fläche weit außerhalb von Ortschaften gelegen ist und keine Bienenkörbe aufgestellt waren, geht der Bewirtschafter davon aus, dass es sich bei dem hohen Bienenaufkommen vorrangig um Wildbienen gehandelt hat.

Im August des HNJ 2019 wurde der Steinklee hoch gemulcht und soll auf der Fläche stehen bleiben. Der Bewirtschafter hofft, dass der Steinklee durch Selbstaussaat in 2020 einen neuen Bestand bildet. Alternativ wird Raps oder Roggen angebaut bzw. die Fläche bleibt als Brache liegen.

Nmin

Nmin- und Corg - Analysen wurden durch die Projektmitarbeiter an diesem Standort nicht durchgeführt. Jedoch sind der Schlagdokumentation des Bewirtschafters die Nmin-Gehalte im Erntejahr 2019 auf der Fläche der Tabelle 18 zu entnehmen:

Tabelle 18: Nmin-Gehalt am Standort 8 auf der Steinkleefläche im HNJ 2019

Bodentiefe	N in kg/ha
0 – 30 cm	8
30 – 60 cm	6
60 – 90 cm	2

Nmin-Gehalte vor der Aussaat des Steinklees sind nicht ermittelt worden. Es ist davon auszugehen, dass sich der Nmin-Gehalt im Boden durch die Mineralisierung von Pflanzen- und Wurzelresten noch erhöht.

Weiteres Vorgehen

Es handelte sich um eine reine Demonstrationsfläche zur Beobachtung des Steinkleeaufwuchses und dessen Entwicklung. Die Fläche am Standort diente vor allem zur Besichtigung für interessierte Spaziergänger. Geplant war eine kostenneutrale Bereitstellung von Ergebnissen aus der Pollenanalyse auf der Fläche durch das LAVES (Institut für Bienenkunde in Celle), welche in Kooperation mit dem Landwirt gewonnen werden sollten. Die Daten sollten als Orientierung für Imker dienen und zudem den Wert des Steinklees als Bienennahrungsquelle bestätigen. Leider kam die Untersuchung nicht zustande, da das LAVES einen anderen Auftrag vorgezogen hatte.

5.1.11. Standort 9

Aussaat 25.05.2018, Aussaatstärke: 20-25 kg/ha, Flächengröße: 1,0 ha, Nutzung: Bodenverbesserung nach Tagebau (Jagdschneise)

Bearbeitung des Bodens

Vor der Steinkleeaussaat im Jahr 2018 wurde die Fläche gegrubbert und gepflügt. Vorfrucht war Winterroggen.

Abbildung 56: Steinkleefläche am Standort 9 im September 2018; Sicht auf die Fläche (links oben), Steinkleewurzel mit Wiederaustrieben (links unten), Steinkleepflanzen mit Mehltau (rechts oben), Steinkleereihen (rechts unten)

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

Der Standort befindet sich in Brandenburg. Es handelt sich hierbei um eine ehemalige Tagebaufläche, die laut Bewirtschafter einen Humusgehalt von 0,1 % aufweist. Die Aufgabe des Betriebes ist es nun Humus aufzubauen und gleichzeitig ökonomischen Nutzen aus der Fläche zu ziehen. Die Aussaat fand am 25.05.2018 mit statt. Hierbei ist zu erwähnen, dass im Jahr 2018 vom Aussaattermin bis zur Begehung im September kaum Niederschlag gefallen ist. Im Ansaatjahr konnte der Steinklee deswegen wenig Biomasse aufbauen. Eine Nutzung unterblieb daher im ASJ. Dennoch hat sich der Steinklee gut auf der Fläche etabliert und bereits im September stellenweise Wiederaustriebe am Wurzelkopf gebildet. Dominierendes Unkraut war der Weiße Gänsefuß (Abbildung 56).

Der Steinklee wurde im Herbst des ASJ gemulcht (Schröpfschnitt) und verblieb auf der Fläche.

Abbildung 57: Steinkleefläche am Standort 9 im Juni 2019 (links), abblühender, Gelber Steinklee und blühender Weißer Steinklee (rechts)

Im Hauptnutzungsjahr fanden keine Flächenbearbeitung bzw. Schröpfschnitte statt. Es war eine reine Steinkleefläche mit allerdings geringer Bestandsdichte vorhanden (Abbildung 57). Zudem war zu beobachten, dass der Gelbe Steinklee bereits abblühte, während der Weiße Steinklee noch in voller Blüte stand. Diese Beobachtung ist nicht ungewöhnlich, da der Gelbe Steinklee etwas eher in die Blühphase geht als der Weiße Steinklee und daher auch eher abblüht als der Gelbe Steinklee.

Auch hier besteht die Möglichkeit, dass das heiße und trockene Ansaatjahr 2018 und das heiße trockene Hauptnutzungsjahr 2019 besondere Herausforderungen für die Pflanzen darstellten. Hinzu kommen die speziellen Bodenverhältnisse (Tagebaufläche).

Als Nachfrucht soll laut Bewirtschafter Linse angebaut werden.

Biogaspotential

Es wurden 6 m² Pflanzenmaterial-Proben genommen, welche dann gehäckselt, bei 55 °C im Trockenschrank getrocknet wurden und zur Biogas-Analyse nach Weißbach zur LUFA geschickt wurden. TS - Gehalt und Biomasseertrag wurden ebenso ermittelt (Tabelle 19).

Tabelle 19: Biomasseerträge und Methanausbeute des einschnitten Steinklee-Schnittregimes für den Standort 9 im HNJ 2019

Schnittzeitpunkt	Biomasse-ertrag (dt/ha FM)	Biomasse-ertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methan-ausbeute (m^3/dt TM)
HNJ einschnittig (Juni 2019)	**89**	**37**	**42**	**25,9**

5.1.12. Standort 10

Aussaat: 04.05.2018, Aussaatstärke: 25 kg/ha, Flächengröße: 0,32 ha, Nutzung: Anschauungs- und Beprobungsfläche

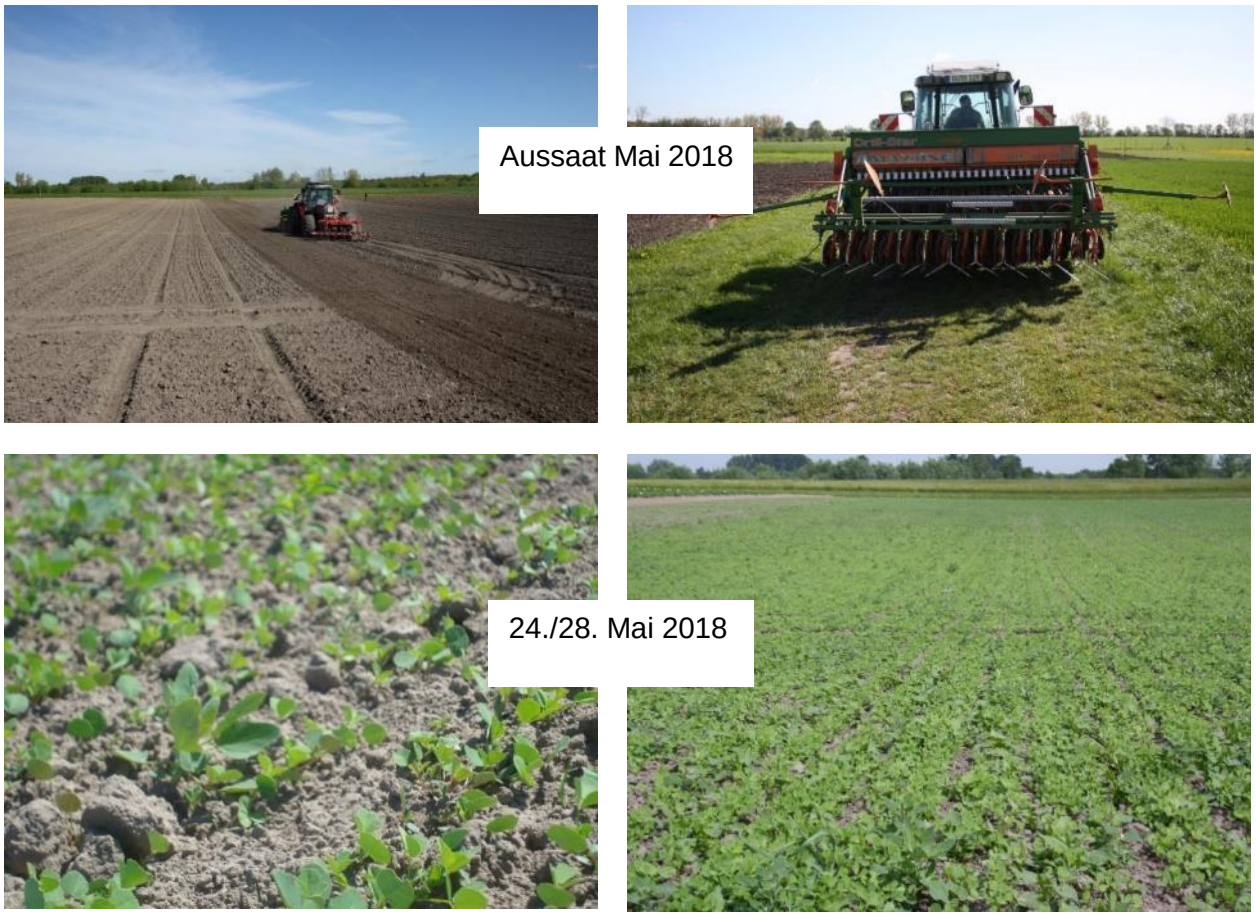


Abbildung 58: Steinkleefläche am Standort 10 im Mai 2018 zur Aussaat sowie nach Auflaufen der Pflanzen

Bearbeitung des Bodens

Im November 2017 wurde eine Herbstfurche mit dem Drehpflug gezogen. Die Saatbettbereitung fand im April 2018 statt. Der Steinklee wurde im Mai 2018 gedrillt (Amazone Drillkombination KG 301/AD302).

Entwicklung und Bewirtschaftung der Flächen

Bei diesem Standort handelt es sich um eine Fläche der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV in Gülzow-Prüzen (Abbildung 58 bis Abbildung 60).

Die Steinkleefläche diente bei Feldtagen als Demonstrationsfläche für Besucher und gleichzeitig für Probenahmen vor Ort.

Im Juni des ASJ musste aufgrund des Unkrautdrucks ein Schröpfschnitt durchgeführt werden.

Im Ansaatjahr wurden Biomasseproben unter verschiedenen Schnittregimen genommen und auf das Biogaspotential untersucht (Tabelle 20). Die Probenahme erfolgte mit einem m²-Rahmen auf sechs m² der Fläche. Die Stellen, an denen die Beprobung des 1. Schnittes des ASJ durchgeführt

wurden, wurden jeweils mit Stäben gekennzeichnet, damit genau an diesen Stellen im Oktober der 2. Schnitt des ASJ durchgeführt werden konnte. Die Probenahme für die einschnittige Nutzung wurde unmittelbar neben den Probeflächen der zweischnittigen Nutzung durchgeführt.

Abbildung 59: Steinkleefläche am Standort 10 im Juni und August des ASJ 2018

Abbildung 60: Steinklee (oben: Neben Maisfläche; unten: Bienen im Steinklee) am Standort 10 im Juni des HNJ

Die Etablierung gelang in einer Zeit mit geringem Niederschlag. Der Bestand entwickelte sich gleichmäßig und sehr dicht. Auffällig war, dass ein Streifen, der sich in der Mitte der Fläche befand eine geringere Wuchshöhe des Steinklees im Vergleich zum restlichen Bestand aufwies. Die mögliche Erklärung dafür ist, dass sich genau auf dem Steifen in der Vergangenheit ein Weg befand. Daher ist davon auszugehen, dass der Boden an dieser Stelle einen höheren Verdichtungsgrad aufwies als die restliche Fläche. Sehr auffällig war, dass es im Bestand von Bienen wimmelte, was sichtbar und vor allem hörbar wahrzunehmen war. Probenahmen mussten aufgrund des hohen Bienenaufkommens in die frühen Morgenstunden verlegt werden.

Um die Biomasseerträge und Methanausbeuten der einzelnen Schnittvarianten (einschnittig ASJ, 1. Schnitt ASJ, 2. Schnitt ASJ, einschnittig HNJ, 1. Schnitt HNJ und 2. Schnitt HNJ) zu ermitteln, sollten mit dem m²-Rahmen zu den unterschiedlichen Schnittzeitpunkten Pflanzenproben entnommen werden.

Im Juli des HNJ sollten der 2. Schnitt sowie die einschnittige Variante des HNJ geerntet werden. Da an den gekennzeichneten Beprobungsstellen, an denen zuvor der 1. Schnitt des HNJ bereits entnommen wurde keine neue Biomasse nachgewachsen war (vermutlich aufgrund der langanhaltenden Trockenheit), wurde nur die Beprobung der einschnittigen Variante des HNJ durchgeführt. Die Pflanzenmasse wurde dann für Ertragsermittlung, TS-Ermittlung und zur Analyse über die Biogasqualität des Steinklees genutzt (Tabelle 20).

Im August 2019 wurde der gesamte Bestand gemulcht und auf der Fläche belassen. Zu dem Zeitpunkt zeigte sich ein komplett abgeblühter Bestand. Keine Nahrung für Bienen war also mehr vorhanden. Die Pflanzen waren vorrangig braun und holzig.

Es wurden Winterroggen und Raps zu je 50 % Flächenanteil als Nachfrüchte ausgesät.

Tabelle 20: Biomasseerträge und Methanausbeute des zweischnittigen und einschnittigen Steinklee-Schnittregimes für den Standort 10 im ASJ 2018

Schnittzeitpunkt	Biomasse-ertrag (dt/ha FM)	Biomasse-ertrag (dt/ha TM)	TS (%)	Methan-ausbeute (m³/dt TM)
ASJ 1. Schnitt (August 2018)	**94**	**27**	**28,7**	**29,6**
ASJ 2. Schnitt (Oktober 2018)	**91**	**31**	**33,6**	**28,2**
ASJ einschnittig (Oktober 2018)	**136**	**43**	**31,7**	**28,3**
HNJ 1. Schnitt (Juni 2019)	**305**	**63**	**21,0**	**26,5**
HNJ einschnittig (Juli 2019)	**298**	**95**	**32,0**	**26,9**

5.1.13. Standort 11

Im Januar 2019 wurde dieser Standort zu einem der Demonstrationsstandorte. Die Aussaat fand bereits im Jahr 2018 unabhängig vom Projekt statt.

Der Standort 6, der seit dem Jahr 2017 durch einen Bodenkundler betreut wurde, schied Anfang des Jahres 2019 aus dem Projekt aus, da die vertragliche Laufzeit abgelaufen war.

Der Bodenkundler blieb dem Projekt erhalten und übernahm die bodenkundliche Betreuung am Standort 11. Die Berichterstattung wurde für diesen Standort vom Bodenkundler übernommen (siehe Anhang).

5.2. Biomasseerträge

Im Laufe des Projektes wurden Pflanzenproben an einigen Standorten genommen und auf das Biogas- und Biomasseertragspotential untersucht. Die Schnitte fanden je nach Wüchsigkeit und Gegebenheiten am Standort zu verschiedenen Schnittterminen statt. Die Tabelle 21 stellt die Frisch- und Trockenmasseerträge an den beprobten Standorten dar. Die Silomais-Daten stammen aus den Ergebnissen der Landessortenversuche „Mais 2017“ bis „Mais 2019“ sowie Daten aus statistischen Erhebungen des LAIV-MV.

Tabelle 21: Biomasseerträge von Steinklee (verschiedene Schnittregime) zu unterschiedlichen Terminen an Demonstrationsstandorten im Zuge des Projektes

Schnittregime	**Umfang**	**Ertrag**		
		dt/ha FM	TS in %	dt/ha TM
ASJ einschnittig	1	136	32	44
ASJ 1. Schnitt	1	94	29	27
ASJ 2. Schnitt	1	91	34	31
HNJ einschnittig	4	151	34	50
HNJ 1. Schnitt	2	233	22	50
HNJ 2. Schnitt	1	57	43	24
Standortbonität: Ackerzahlen: 11 bis 50, Bodenarten: Sand, lehmiger Sand, sandiger Lehm ASJ = Ansaatjahr, HNJ = Hauptnutzungsjahr				

5.3. Methanausbeuten und -erträge

Die Daten bzgl. Biogas/Methan, die durch die Pflanzenbeprobungen an den verschiedenen Standorten gewonnen werden konnten, wurden gemittelt und mit Werten für Mais verglichen (Abbildung 61). Die Methanausbeuten der verschiedenen Schnittregime des Steinklees lagen zwischen 26 und 30 m³/dt TM, beim Silomais bei 39 m³/dt TM.

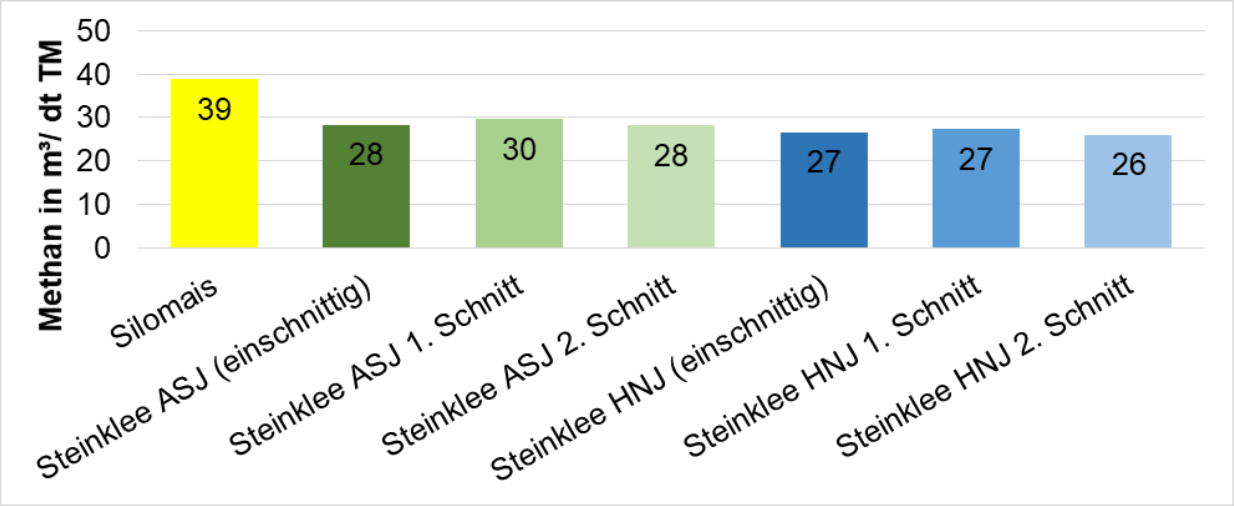


Abbildung 61: Vergleich Methanausbeute zwischen Silomais und Steinklee (verschiedene Schnittregime)

Die Durchführung der verschiedenen Schnittregime (einschnittig, 1. Schnitt und 2. Schnitt) fand an den verschiedenen Standorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt (Tabelle 22). Diese Entnahme und der Zeitraum der Entnahme richteten sich nach der Wüchsigkeit des Steinklees an den Standorten.

Tabelle 22: Biomasseertrag, TS-Gehalt und Methanausbeute zu verschiedenen Schnittregimen an vier Demonstrationsflächen

Standort	Aussaat	Ernte	Schnitt	FM (dt/ha)	TM (dt/ha)	TS (%)	CH_4 (m^3/dt TM)
2	07.06.2017	29.05.2018	1. Schnitt	160	37	23,0	28,2
2	07.06.2017	22.08.2018	2. Schnitt	57	24	42,6	26,1
3	22.05.2017	14.08.2018	einschnittig	88	31	35,2	28,1
5	01.04.2016	04.07.2017	einschnittig	130	36	28,0	25,5
9	25.05.2018	18.06.2019	einschnittig	89	37	32,9	25,9
10	04.05.2018	07.08.2018	1. Schnitt.	94	27	28,7	29,6
10	04.05.2018	09.10.2018	2. Schnitt	91	31	33,6	28,2
10	04.05.2018	09.10.2018	einschnittig	136	43	31,7	28,3
10	04.05.2018	19.06.2019	1. Schnitt	305	64	21,0	26,5
10	04.05.2018	22.07.2019	2.Schnitt	wegen Trockenheit und fehlender Biomassenachbildung ausgefallen			
10	04.05.2018	22.07.2019	einschnittig	298	95	32,0	26,9

Aus den Daten der Steinklee-Probenahmen zu den verschiedenen Schnittregimen ergaben sich die in Abbildung 62 dargestellten Methanerträge. Hierbei wurden die Methanausbeuten des ASJ und des HNJ gemittelt. Der Datenumfang, der als Basis der Berechnungen dient, ist jedoch bisher noch

extrem gering. Um genauere Aussagen machen zu können, sollte der Stichprobenumfang wesentlich höher sein und in verschiedenen Jahren wiederholt werden.

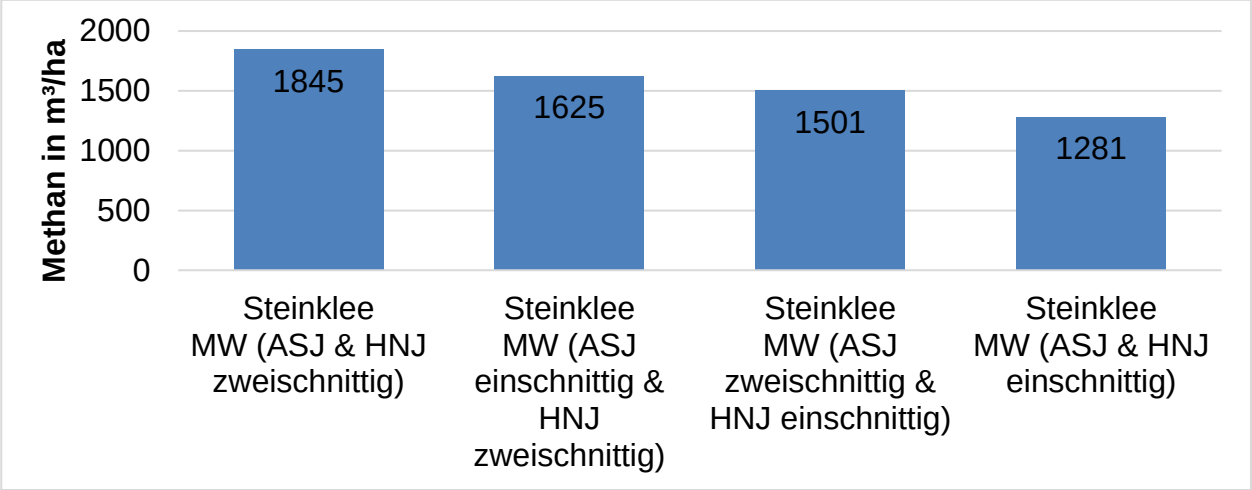


Abbildung 62: Durchschnittliche Methanerträge (pro Anbaujahr) von Steinklee bei verschiedenen Schnittregimen

5.4. THG-Emissionen und Energieeffizienz im Vergleich Steinklee und Silomais

Für die Ermittlung der THG-Emissionen und Energieeffizienzen wurde das Programm MiLA (Model for integrated Life Cycle Assessment in Agriculture) verwendet, das vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. im Rahmen des EVA-Projektes entwickelt wurde. Die THG-Emissionen und Energiebilanzen von Silomais und Steinklee sind Tabelle 23 zu entnehmen.

Der EROI-Wert (Effizienz-Kennziffer) des einschnittig genutzten Steinklees unterscheidet sich im Ansaatjahr vom zweischnittig genutzten Steinklee um ca. 31 %, während ein Unterschied im Hauptnutzungsjahr kaum festgestellt werden konnte.

Der Unterschied zum Silomais fällt im Ansaatjahr extremer aus. Hier ist die Energieeffizienz zwischen 69 und 80 % geringer im Vergleich zum Silomais. Im Hauptnutzungsjahr beträgt der Unterschied zwischen Steinklee und Silomais im Schnitt zwischen 29 und 30 %. Der höhere Unterschied im Ansaatjahr zwischen Steinklee und Silomais resultiert daraus, dass der Steinklee im Ansaatjahr weniger Biomasse bildet als im Hauptnutzungsjahr, folglich weniger Biomasse für die Biogasanlage zur Verfügung steht und somit weniger Energie aus Steinklee gewonnen werden kann.

Trotz der hohen Energieeffizienz des Silomaises ist der Steinklee eine Möglichkeit für die Energiegewinnung in der Biogasanlage, vorzugsweise für den Anbau auf Flächen, die aufgrund ihrer geringen Ertragsleistung aus der Produktion genommen wurden. Hier bietet der Steinklee die Chance, bodenverbessernde Eigenschaften mit Biomassegewinnung zu verbinden. Auf solchen ertragsschwachen Standorten ist das Anbaurisiko höher als auf besseren Böden und Steinklee kann unter Umständen im Vergleich zu anderen Kulturen konkurrenzfähigere Erträge erzielen.

Tabelle 23: THG und Energiebilanz von Steinklee (verschiedene Schnittregime) und von Silomais

Anbausystem		THG-Emission [kg CO_2Äq./ha]	Energieertrag [MJ CH_4/ha]	Energieaufwand [MJ/ha]	Nettoenergieertrag [MJ/ha]	Energieeffizienz (EROI)
einschnittig, mit Herbizid	ASJ	1.817	21.470	8.257	13.212	2,6
	HNJ	427	35.029	3.892	31.138	9,0
einschnittig, ohne Herbizid	ASJ	1.802	21.470	7.914	13.555	2,7
	HNJ	427	35.029	3.892	31.138	9,0
zweischnittig, mit Herbizid	ASJ	2.093	42.350	11.131	31.219	3,8
	HNJ	741	61.477	6.765	54.711	9,1
zweischnittig, ohne Herbizid	ASJ	2.078	42.350	10.788	31.562	3,9
	HNJ	741	61.477	6.765	54.711	9,1
Silomais		3.512	141.342	10.996	130.346	12,9
ASJ = Ansaatjahr, HNJ = Hauptnutzungsjahr, EROI = Energy Returned on Energy Invested (Effizienz-Kennziffer)						

5.5. Deckungsbeiträge und Fruchtfolgevergleich

Die Deckungsbeiträge (DB) der einzelnen Früchte stammen von der LFA aus dem Sachgebiet Agrarökonomie (Daten von D2 bzw. D3 Standorten) sowie von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL 2019). Der LFA steht eine Datenbank zur Verfügung, in die für die Berechnung des DB relevante Daten eingegeben werden.

Für die Berechnung des DB wurde von einem TS-Gehalt von 32 % ausgegangen. Dieser entspricht dem Mittelwert der TS-Gehalte, die in den Anbaujahren im Demonstrationsprojekt gemessen wurden. Die für die Berechnung des Erzeugerpreises verwendete Methanausbeute von 27,6 m³/dt TM ist der Mittelwert aus den in Abbildung 61 dargestellten Methanausbeuten des Steinklees.

Es wurde von einem Methan-Erlös von 0,33 €/m³ ausgegangen, wie er vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015) dargestellt wurde.

Der Erzeugerpreis wurde wie folgt berechnet:

0,33 €/m³ * 27,6 m³/dt → 9,13 €/dt /100 * 32 % = 2,92 €/dt OS

Der Deckungsbeitrag des ASJ fällt negativ aus. Hier fallen vor allem die Kosten für Aussaat und Pflanzenschutz ins Gewicht, die einem im Gegensatz zum HNJ niedrigerem Ertrag gegenüberstehen. Im Hauptnutzungsjahr hingegen ist ein positiver Deckungsbeitrag zu erkennen. Dafür sorgt der merklich höhere Steinkleeertrag sowie der geringe Arbeitsaufwand auf der Fläche. Somit wird der negative DB des ASJ im HNJ teilweise kompensiert. Ein Pflanzenschutzmitteleinsatz war im Demonstrationsanbau nicht notwendig, wurde jedoch in der DB-Berechnung berücksichtigt, da er nicht grundsätzlich auszuschließen ist.

Deckungsbeitrag Steinklee				
Merkmal	Einheit	Steinklee ASJ	Steinklee HNJ	Durchschn. / Jahr
Erntemenge	dt/ha	100	200	150
Erzeugerpreis	€/dt	2,92	2,92	2,92
Gesamterlös	€/ha	292	584	438
Saatgutmenge	kg/ha	20,0	0,0	10,0
Saatgutpreis	€/kg	3,50	3,50	3,50
Saatgutkosten	€/ha	-70	-	-35
Phosphor	€/ha	-10	-19	-14,5
Kali	€/ha	-22	-44	-33
Magnesium	€/ha	0	-1	-0,5
Kalk	€/ha	-13	-13	-13
Düngung	€/ha	-45	-77	-61
Pflanzenschutz	€/ha	-30	0	-15
Sonstige Direkt-kosten	€/ha	0	0	0
Summe Direktkos-ten	€/ha	-145	-77	-111
Direktkostenfreie Leistung	€/ha	147	507	327
var. Maschinen-kosten	€/ha	-308	-416	-516
var. Kosten gesamt	€/ha	-452	-493	-472,5
Deckungsbeitrag	€/ha	-160	91	-34,5

Um den Steinklee in die Fruchtfolge einzuordnen, wurden Fruchtfolgevergleiche angestellt. Die ersten beiden Fruchtfolgen (FF 1 und FF 2) beinhalten Steinklee oder Lupine als Leguminose. Die Fruchtfolge 3 ist leguminosenfrei. Im Anbau von Raps nach Steinklee und Lupine wurde berücksichtigt, dass sich eine Reduzierung des Düngungsaufwandes um ca. 30 % ergibt. Zusätzlich wurde durch die gute Vorfruchtwirkung ein Mehrertrag im Raps von 5 % unterstellt.

In der Steinklee-Fruchtfolge (FF1) wurde zusätzlich ein Mehrertrag von 2 % im Winterweizen angenommen, da sich der Steinklee im Gegensatz zur Lupine zweijährig auf der Fläche befindet, und somit ein höherer Vorfruchtwert zu erwarten ist.

Ein Blick auf die Jahresdeckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgen zeigt, dass sich die Steinklee-Fruchtfolge um 87 bzw. 102 € von den anderen Fruchtfolgen unterscheidet. Diese Differenz zwischen den Fruchtfolge-DB kann als Kosten für die ökologische Vorteilswirkung des Steinklees angesehen werden. Diese werden momentan den landwirtschaftlichen Betrieben noch nicht vergütet, schlagen sich auf Dauer aber in der Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit nieder und bieten auch somit langfristig ökonomische Vorteile. Gerade auf ärmeren Standorten oder schwerer erreichbaren Flächen bietet sich mit dem Anbau von zweijährigem Steinklee die Chance, mit vergleichsweise wenig Aufwand, Bodenverbesserung mit Biomasseertragsnutzung zu verbinden.

Monetäre Mindererträge im ASJ können durch gute Biomasseerträge im Hauptnutzungsjahr und den auf die Nachfrucht wirkenden Vorfruchtwert bezüglich eines geringeren Einsatzes mineralischen Düngers und einer geringeren Notwendigkeit der Bodenbearbeitung teilweise wieder ausgeglichen

werden. Der Vergleich der Deckungsbeiträge der verschiedenen Fruchtfolgen (FF 1 bis FF 3) sollte an die aktuellen betrieblichen Bedingungen angepasst werden.

Fruchtfolge 1 (FF 1)	**Berechnung des DB der Steinklee-Fruchtfolge**			
Anbaureihenfolge	Frucht	Aussaat	Ernte	DB
1	Steinklee ASJ	Mär./Apr.		-160
2	Steinklee HNJ		Aug./ Sep.	91
3	Raps	Aug.	Jul./Aug.	591
4	Winterweizen	Okt.	Jul./Aug.	523
5	Buchweizen (Zwischen-frucht)	Jul./Aug.		-147
6	Silomais	Mär./Apr.	Sep./Okt.	417
DB der Fruchtfolge				1.316
DB pro Jahr				263

Fruchtfolge 2 (FF 2)	**Berechnung des DB der Lupinen-Fruchtfolge**			
Anbaureihenfolge	Frucht	Aussaat	Ernte	DB
1	Lupine	Apr. (Ende)	Aug. (Mitte)	39
2	Raps	Aug.	Jul./Aug.	591
3	Winterweizen	Okt.	Jul./Aug.	500
4	Buchweizen (Zwischen-frucht)	Jul./Aug.		-147
5	Silomais	Mär./Apr.	Sep./Okt.	417
DB der Fruchtfolge				1.401
DB pro Jahr				350

Fruchtfolge 3 (FF 3)	**Berechnung des DB der leguminosenfreien Fruchtfolge**			
Anbaureihenfolge	Frucht	Aussaat	Ernte	DB
1	Hafer	Mär.	Jul./Aug.	182
2	Raps	Aug.	Jul./Aug.	509
3	Winterweizen	Okt.	Jul./Aug.	500
4	Buchweizen (Zwischen-frucht)	Jul./Aug.		-147
5	Silomais	Mär./Apr.	Sep./Okt.	417
DB der Fruchtfolge				1.461
DB pro Jahr				365

5.6. Öffentlichkeitsarbeit

Eine wesentliche Aufgabe im Projekt war die Öffentlichkeitsarbeit. Steinklee wieder auf die Flächen der Landwirte zu bringen, erfordert die möglichen Anbauer und Saatgutvertriebe über die Pflanze zu informieren und somit anfängliche Hemmungen abzubauen.

Unter den Punkten 5.7.1 bis 5.7.5 werden alle durchgeführten öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen im Zuge des Projektes dargestellt, wie sie in den Meilensteinen im Arbeitspaket 4 „Öffentlichkeitsarbeit/Netzwerkbildung“ in der Vorhabensbeschreibung festgehalten wurden.

5.6.1. Veranstaltungen

04.06.2018: Steinklee-Feldtag in Gülzow-Prüzen (Vortrag u. Begehung im Zuge des Projektes)

04.06.2018: Feldtag in Gülzow (Informationen am Steinkleeschlag im Zuge d. Feldtages der LFA)

08.06.2018: Praxisinformationstag Pflanzenbau in Thyrow (eigener Stand)

25.06.2018: Praxistag Biodiversität in Trebbin (Aufstellen von Postern, Auslegen von Faltblättern und Vortrag zum Projekt)

19.10.2018: 2. Steinkleetag in Lärz (Vortrag zum Projekt, Vortrag Referentin Katja Burmeister „Wildbienenexpertin“ NABU, Begehung der Flächen)

11.11.2018: 12. Imkertag in Linstow (Vortrag und Diskussion)

17.04.2019: Wissenstransfer-Veranstaltung Leguminosenanbau Biopark in Gülzow (Vortrag)

25.10.2019: 3. Steinkleetag in Trebbin (Vortrag zum Projekt, Vortrag Landwirt, Vortrag Referentin Dr. Stefanie Krück, Bodenbiologin und Regenwurmexpertin, Begehung der Fläche)

20.11.2019: Lupinen-Konferenz, Viehhalle Güstrow (eigener Stand)

5.6.2. Fachbeiträge

12.01.2018: Bauernzeitung: Neues aus der Landesforschung, NEGATIVE HUMUSBILANZ: Ausweiten der Fruchtfolgen mittlerweile ein MUSS

01.06.2018: FNR: Internetseite: Steinklee (pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/pflanzen/steinklee/)

22.02.2019: Bauernzeitung: Acker- und Pflanzenbau: Wellnesskur für gestresste Böden

Mai 2019: Landwirtschaft ohne Pflug (LOP): Anbau und Nutzung von Steinklee - Anspruchsloser Pfahlwurzler

28.11.2019: ÖKO Aktuell, Heft 62, Informationen des Verbandes: Steinklee in der Landwirtschaft – gesunde Äcker durch Vielfalt

2019/2020: Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei – Leguminosen – Beiträge zur nachhaltigen Landwirtschaft, Heft 62, Seite 42 Januar 2020

5.6.3. Faltblätter/Broschüren

06.03.2018: Anbautelegramm Steinklee

06.03.2018: Nutzung von Steinklee

07.05.2018: Wildbienen & Steinklee

02.08.2018: Humus & Steinklee

17.10.2019: Über Steinklee, Humus & Wildbienen

5.6.4. Newsletter

Okt. 2017 1.Steinklee-Newsletter (1/2017)

Nov. 2017 2.Steinklee-Newsletter (2/2017)

08.05.2018: 3. Steinklee-Newsletter (1/2018)

30.10.2018: 4. Steinklee-Newsletter (2/2018)

05.06.2019: 5. Steinklee-Newsletter (1/2019)

28.11.2019: 6. Steinklee-Newsletter (2/2019)

Jun. 2020: 7. Steinklee-Newsletter (1/2020) (in Bearbeitung)

5.6.5. Sonstiges

29.09.2017: Roll-Up (Doppel) „Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“

17.05.2018: Werbemittel Steinklee (Saatguttütchen)

22.06.2018: Miniposter (Anbau von Steinklee ...)

5.6.6. geplant

Juni 2020: 14. Rostocker Bioenergieforum Tagungsband (im Druck)

6. Zusammenfassung und Fazit

Die gute Wasserversorgung im ASJ 2017 ließ eine gute Etablierung des Steinklees zu. Auch im sehr trockenen ASJ 2018 profitierte die Aussaat noch vom Wasser des Vorjahres. Steinkleebestände, für die das Jahr 2018 das HNJ war, konnten in der ersten Jahreshälfte gute Biomasseerträge erzielen, in der zweiten Jahreshälfte hingegen wuchs die Biomasse nach dem ersten Schnitt nur spärlich nach und war sehr trocken.

Tabelle 24: Übersicht über den Steinkleeaufwuchs auf Sandböden nach Aussaatmonat und Aussaatjahr

Aussaatstärke in kg/ha	AZ	Aussaat		Entwicklung		Anzahl Schnitte		gesamt Ertrag dt/ha TM
		Jahr	Monat	ASJ	HNJ	ASJ	HNJ	
15	11	2017	Mai	gut	gut	x	x	gemulcht
15	11	2017	Jul	gut	gut	x	x	gemulcht
35	11	2019	Mai	vorauss. gut (unter Deckfrucht)	k.A. möglich	x	x	k.A. möglich
20	28	2017	Jun	gut	gut	1	1	62
22,65	42	2017	Mai	stellenweise gut	zögerlich	x	1	31
25	29	2017	Sep	gut	erfroren	x	x	k.A. möglich
25	29	2019	Apr	gut	k.A. möglich	x	x	k.A. möglich
15-25	25	2016	* Apr	zögerlich	gut	x	1	36
15-25	25	2017	Aug	schlecht	sehr schlecht	x	x	gemulcht
20	k. A.	2018	Apr	gut (niedrig)	gut (unterschiedliche Jährigkeit)	x	1	16 (nur 50 % durch Jährigkeitsunterschiede)
25	k. A.	2018	Jun	gut (niedrig)	gut (größerer Pflanzenabstand)	x	x	gemulcht
20-25	k. A.	2018	Mai	gut (niedrig)	gut (größerer Pflanzenabstand)	x	1	37

*Saatgutimpfung mit Rhizobien der Gruppe 2

Im Verlauf des Steinkleeanbaus im Projekt konnte festgestellt werden, dass im Jahr 2017 Aussaaten vor August meist eine gute Bestandsetablierung aufwiesen und sich auch im HNJ gut entwickelten

(Tabelle 24). Steinklee, der im August 2017 ausgebracht wurde, entwickelte sich schlecht bis gar nicht. Die Aussaat im September 2017 lief sehr gut auf, konnte jedoch ihre Überwinterungsorgane nicht ausbilden und dem Frost im Frühjahr nichts entgegen setzen.

Die Aussaat im Jahr 2018 passierte in den Betrieben im April, Mai und Juni. Die Etablierung des Steinklees gelang auf den Flächen gut. Im Gegensatz zu den Betrieben, die im Jahr 2017 die Aussaat im Monat Mai durchführten, waren die Steinkleebestände, die im Mai 2018 ausgedrillt wurden, wesentlich niedriger und weniger dicht.

Ein Betrieb in Brandenburg, bei dem der Steinklee extrem schwer zu etablieren war, erzielte mit der Impfung des Saatgutes mit Rhizobien der Gruppe 2 bessere Erfolge, als beim Anbau ohne die Impfung. Da der Anbau des Steinklees bei dem Betrieb in verschiedenen Jahren stattfand, kann es sich jedoch auch um Jahreseffekte handeln.

Es ist davon auszugehen, dass die Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 dafür sorgte, dass der Steinklee im HNJ nach dem ersten Schnitt kaum bis keine Biomasse mehr für einen zweiten Schnitt bildete, oder dass der Roggen auf der Fläche des einen oder anderen Demonstrationsstandortes vertrocknete, auch daran liegt, dass die Ackerzahlen auf den Flächen sehr gering waren.

Tabelle 25: Anbau- und Ernteempfehlungen Steinklee

Angaben zur Aussaat	
Kornablage	1 – 3 cm*
übliche Aussaatmenge (in Mitteleuropa)	15 – 25 kg/ha
Boden- oder Saatgutimpfung vor Erstaussaat des Steinklees empfohlen (Rhizobiengruppe 2 , wie Luzerne)	
Mögliche Aussaattermine	
frühe Frühjahrsaussaat (empfohlen)	Februar-März
späte Frühjahrsaussaat (gleichwertig bei ausreichender Bodenfeuchte)	Mitte Mai
späte Aussaat (sehr unsicher)	vor Mitte August
Ernte	mit Maisgebiss möglich, mit Trommelmähwerk einfacher
*Bei sandigen Böden und wenig Feuchte	

Quelle:I. Bull, verändert durch J. Schneider

Zwei Demonstrationsbetriebe führten ihre Steinkleeaussaat im April und Mai 2019 durch. Eine Aussaat wurde als Blanksaat, die andere unter der Deckfrucht Roggen durchgeführt. In beiden Beständen liefen Steinkleepflanzen auf, wobei im Vergleich der Auflauf des in Blanksaat ausgebrachten Steinklees kräftiger ausfiel. Beobachtungen im HNJ 2020 werden aufgrund des auslaufenden Projektes nicht mehr durchgeführt. Somit kann die Entwicklung der Bestände nicht weiter festgehalten werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass aufgrund der unterschiedlichen Standorteigenschaften der Anbauflächen ein direkter Vergleich zwischen den Steinkleebeständen der Betriebe nicht vorgesehen ist.

Anhand der im Demonstrationsprojekt ermittelten Ergebnisse und Beobachtungen bzgl. des Steinkleeanbaus lassen sich die in Tabelle 25 abgebildeten Aussagen ableiten. Die Ableitungen entsprechen grundsätzlich den bereits im Vorprojekt angegebenen Daten.

Der Anbau von Steinklee gelingt bei einer Frühjahrsaussaat zwischen März und April meist sehr gut, da in diesen Monaten die Feuchtigkeit im Boden noch vorhanden ist. Gerade auf den leichteren Standorten mit wenig Humus und somit mit einer geringen Wasserspeicherungskapazität ist die Aussaat im Frühjahr empfehlenswert. Zudem hat der Steinklee bei diesem frühen Aussaattermin genügend Zeit, sich auf der Fläche zu etablieren. Dies bedeutet, dass sich seine wichtigen Überwinterungsorgane ausbilden können, dass sich sein starkes Wurzelsystem gut entwickeln kann und somit die wichtigsten Grundvoraussetzungen für eine gute Biomasseernte im HNJ schon im ASJ geschaffen werden.

Aussaaten zwischen Mai und Juli entwickelten sich im Projekt ebenfalls gut, sind jedoch nicht zu empfehlen, aufgrund der möglichen Entwicklungsdefizite durch die spätere Aussaat und die evtl. eingeschränkte Bodenfeuchte. Von noch späteren Aussaatterminen ist komplett abzuraten.

Wie bereits Bull (2013) feststellte, ist der Steinklee in den ersten 2 Monaten des ASJ durch das Überwachsen durch Beikräuter gefährdet. Bei übermäßig hohem Beikrautdruck ist ein Schröpfschnitt zu empfehlen. Hat sich der Steinklee auf der Fläche etabliert, so verdrängt er, meist erst im HNJ andere Pflanzen durch sein ausgeprägtes Biomassewachstum.

Die Ernte gelang mit dem Maisgebiss. Vor allem im ASJ war die Ernte mit dieser Technik unproblematisch. Im HNJ sind die Stängel des Steinklees jedoch faserreicher und dementsprechend fester. Daher ist die Ernte zwar mit einem Maisgebiss ebenso möglich, die Ernte mit Trommelmähwerk erwies sich jedoch als einfacher.

Die entnommenen Bodenproben und die Untersuchung auf den Gehalt des mineralischen Stickstoffs zeigen deutlich, dass nach Anbau von Steinklee und vor allem zur Nachfrucht ein im Vergleich zu Beginn des Steinkleeanbaus höherer Nmin-Gehalt vorlieget (Abbildung 63 bis Abbildung 65).

Der Nmin-Gehalt in den Bodentiefen 0 – 90 cm stieg auf den untersuchten Standorten vom ASJ bis zum HNJ zwischen ca. 40 und 82 kg auf den Flächen an. Die Böden der Steinkleeflächen in den Demonstrationsbetrieben wiesen standortbedingt sehr niedrige Nmin-Gehalte auf. Auch nach einer Erhöhung lagen keine extremen Nmin-Gehalte vor.

Auf besseren Standorten könnte sich bzgl. der Entwicklung des Nmin-Gehaltes nach Steinkleeanbau ein anderes Bild ergeben. Ergebnisse aus dem vorangestellten Projekt ergaben das in Tabelle 26 dargestellte N-Fixierungspotential. Diese Zahlen wurden von Bull (2013) aus Literaturangaben ermittelt und zusammengetragen und stehen in Abhängigkeit zur Wuchsleistung.

Tabelle 26: N-Fixierungspotential von Steinklee (Bull, 2013)

kg N/ha	ASJ Herbst	HNJ (FJ nach Überwinterung)	HNJ Sommer
Pflanzen gesamt	100-300	45-310	90-180
davon in den Wurzeln	75-110	20-100	15-55

Zwar handelt es sich beim Nmin-Wert um einen sehr unsteten Parameter, die aus dem Demonstrationsanbau resultierenden Ergebnisse lassen jedoch darauf schließen, dass der Anbau von Steinklee einen direkten Einfluss auf die Erhöhung des Nmin-Gehaltes auf den Flächen hat.

Der Stickstoff, welcher nach der Ernte des zweijährigen Steinklees zur Verfügung steht, sollte für die Nachfrucht genutzt werden. Falls keine zeitige Nachfrucht wie Roggen vorgesehen ist, kann eine Zwischenfrucht ausgesät werden, um den Nmin zu fixieren und in der Nachfrucht zu nutzen. Erfolgt keine zeitige Getreideaussaat oder einer anderen Nachfrucht, besteht die unmittelbare Gefahr, dass der wertvolle pflanzenverfügbare Stickstoff der nach der Steinkleeernte auf der Fläche zur Verfügung steht, ausgewaschen wird und ggf. ins Grundwasser gelangt.

Unter Betrachtung der Methanausbeuten der im Demonstrationsanbau entnommenen Steinkleeproben lässt sich die bereits durch Bull (2013) untersuchte Eignung von Steinklee zum Einsatz in der Biogasanlage bestätigen.

Der erzielbare Methanertrag von Steinklee liegt im Ansaatjahr zwischen 1200 und 2850 m^3 CH_4/ha und bei 3000 m^3 CH_4/ha im zweiten Vegetationsjahr (Bull, 2013). Die große Spannweite wird im ersten Jahr durch die hohen Ertragsschwankungen verursacht. Im zweiten Jahr sind die Erträge stabiler (Bull, 2013).

Tabelle 27: Vergleich der Erträge des Vorprojektes und des Demoprojektes

Parameter	**Einheit**	**Ansaatjahr**	**2. Vegetationsjahr**	
			Knospenstadium	Vollblüte
Ergebnisse aus dem vorangestellten Projekt				
TM-Ertrag	dt/ha TM	50-80	100-150	
TS-Gehalt	%	25-30	15-18	25-30
CH_4-Potential	IN/kg oTS	250-300	300-350	250-300
CH_4-Ertrag	m^3/ha CH_4	1200-2100	2500-4000	
Ergebnisse aus dem Demonstrationsprojekt				
TM-Ertrag	dt/ha TM	27-44	16-95	
TS-Gehalt	%	29-34	22-43	
CH_4-Potential	IN/kg oTS	257	240	
CH_4-Ertrag	m^3/ha CH_4	811-1232	638-1380	

Quellen: I. Bull (2013) Daten in der Tabelle oben und J. Schneider (2020) Daten in der Tabelle unten

Die Tabelle 27 (unten) zeigt die Werte, die im Projekt „Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“ ermittelt wurden. Anders als im vorangestellten Projekt wurde kein Exaktversuch angelegt, sondern Demonstrationsflächen in landwirtschaftlichen Betrieben. Die Pflanzenbeprobungen fanden daher auch nicht zu vorher bestimmten Terminen statt, sondern orientierten sich an der vor Ort gegebenen Wüchsigkeit und am Entwicklungsstand des Steinklees, weshalb auch keine Unterteilung zwischen Knospenstadium und Vollblüte im 2. Vegetationsjahr stattgefunden hat. Zudem stellt die Tabelle 27(oben) Werte dar, die aus Literaturangaben und eigenen Ergebnissen aus den Exaktversuchen des vorangestellten Projektes abgeleitet wurden.

Der Trockenmasseertrag des Demonstrationsprojektes zeigt geringere Werte im Vergleich mit den Werten aus dem Vorprojekt. Die Methanerträge des Hauptnutzungsjahres fielen im Vergleich zu denen, die im vorangegangenen Projekt ermittelt wurden, geringer aus. Ein großer Einfluss findet sich vermutlich vorrangig in den trockenen Jahren des Projektzeitraumes sowie in den im Vergleich abweichenden Ernteterminen zum Vorprojekt.

Sind die Methanausbeuten des Steinklees auch niedriger als die des Maises, so bietet der Anbau von Steinklee dennoch eine Aufweitung der Energiepflanzenfruchtfolge und somit die Erhöhung der Biodiversität.

Die bisher erfassten Daten zum Anbau von Steinklee und dessen Methanausbeute geben einen ersten Eindruck über die Möglichkeiten, die der Steinkleeanbau bieten kann.

Da die bisherige Auswertung auf einer sehr geringen Datengrundlage beruht, sollte die Erfassung von Daten zu Aussagen bzgl. Nmin, Methanausbeute, Deckungsbeitrag und Vorfruchtwirkung des

Steinklees vorangetrieben werden. Dazu ist es notwendig mit der Erfassung betrieblicher Daten fortzufahren, neue Betriebe für den Anbau zu gewinnen und/oder Exaktversuche zum Anbau durchzuführen.

Für mögliche Folgeprojekte könnte mehr in den Fokus genommen werden, welche Bestäuberarten sich im Steinklee zu welchen Zeiten und in welchem Umfang befinden. Zudem könnte die Entwicklung der Regenwurmpopulation durch Vorher-Nachher-Analysen untersucht werden sowie die Abundanz anderer wichtiger Nützlinge.

6.1. Umsetzung der Projektziele

Für die Bearbeitung des Projektes „Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“ wurden Ziele formuliert (siehe Kapitel 2). Im Folgenden wird erläutert, inwieweit diese Ziele erreicht wurden.

6.1.1. Prüfung von Forschungsergebnissen über den Anbau und die Nutzung von Steinklee auf die Umsetzbarkeit im Betrieb

Im Zuge des Projektes sollte geprüft werden inwieweit sich die Forschungsergebnisse des vorangestellten Projektes „Nachhaltige Erzeugung von Bioenergie auch auf trockenen Sandböden durch Erhöhung der Artenvielfalt (Anbau von Bokharaklee)“ in der Praxis umsetzen lassen.

Die meisten der Demonstrationsbetriebe im Projekt „Anbau von Steinklee – Wiedereinführung in die Praxis und Verbesserung der Anbau- und Saatgutsituation“ verfügten nicht über eine betriebliche oder außerbetriebliche Biogasanlage. Der Steinklee wurde auf Flächen angebaut, deren Fruchtbarkeit verbessert werden sollte, um den guten Effekt von Steinklee auf die Nachfrucht auszunutzen und, um Bestäuber auch über die Trachtlücke hinweg mit Pollen und Nektar zu versorgen.

Es stellte sich heraus, dass bei Einhaltung der Anbauempfehlungen dem Anbau und der Nutzung von Steinklee im Betrieb nichts entgegensteht. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten jedoch Flächen gewählt werden, die für zwei Anbaujahre aus der Produktion ausscheiden können, ohne beträchtliche monetäre Einbrüche zu verursachen (Flächen mit geringer Ertragserwartung). Dass sich mit Steinklee auf sandigen Flächen Erträge erzielen lassen und auch eine große Trockenheitstoleranz gegeben ist, hat sich ebenso bestätigt wie die Aussage, dass ein Anbau auf reinen Sandböden vor allem aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht ratsam ist.

Die Anschaffung spezieller Maschinen ist für den Anbau und die Nutzung von Steinklee nicht notwendig.

6.1.2. Aufweitung der (Energiepflanzen-) Fruchtfolge

Die Aussagen über die Eignung von Steinklee für die Biogasanlage aus dem vorangestellten Forschungsprojekt konnten in dem aktuellen Projekt auch für den Demonstrationsanbau bestätigt werden.

Zwar weist Steinklee eine wesentlich geringere Methanausbeute als Silomais auf, dennoch ist der Anbau aus bodensanitären Gründen sowie zur Biodiversitätssteigerung eine gute alternative Energiepflanze. Zudem kann der Anbau von Steinklee auch mehr Akzeptanz in der Bevölkerung hervorrufen als es bei Silomaisflächen der Fall ist, da er optisch und olfaktorisch ansprechend ist und dem Sympathieträger „Biene“ von Nutzen ist.

Auch ohne das zwingende Vorhandensein einer Biogasanlage ist also das Einbinden der Pflanze in die Fruchtfolge ein wertvoller Beitrag.

6.1.3. Erhöhung der Biodiversität auf und um die landwirtschaftlichen Flächen

Durch den Anbau von Steinklee wird die Fruchtfolge bereichert und eine Alternative zu anderen Leguminosen geschaffen. Zudem bietet die Steinkleeblüte Nahrung für Insekten (auch in der Trachtlücke), der hohe, gut etablierte Steinkleebestand Schutz für Tiere und das stark ausgebildete Wurzelsystem des zweijährigen Steinklees kann sich positiv auf das Vorkommen von Regenwürmern auswirken.

Landwirte berichteten von einem sehr hohen Bienenaufkommen (auch ohne Nähe zum Imker) und ein starkes Flächengeräusch, welches durch das Summen der Bienen verursacht wurde. Diese Beobachtung konnte auch am Standort in Gülzow gemacht werden, an dem Beprobungsvorhaben aufgrund der hohen Frequentierung der Fläche durch die Bienen in die frühen Morgenstunden verlegt werden mussten. Zudem hat sich die Steinklee-Begleitflora als recht vielfältig erwiesen, was vor allem im ASJ, wenn der Steinklee noch niedrig war, auffiel. Bisher war es im Praxisanbau (Demoanbau) möglich, den Steinklee ohne Pflanzenschutzmittel gut zu etablieren. Dies ist eine gute Voraussetzung für das ungestörte Vorhandensein von Insekten wie Laufkäfern und anderen Nützlingen auf der Steinkleefläche. Das Ziel der Erhöhung der Biodiversität auf den Demonstrationsflächen wurde im Projekt somit erfüllt.

6.1.4. Humusakkumulation auf leichten Böden

Die Untersuchung zur Humusakkumulation auf den Flächen konnte nicht ausreichend untersucht werden. Die Humusanreicherung dauert viele Jahre, daher ist die Untersuchung des Einflusses von Steinklee auf den Humusgehalt des Bodens für ein kurzlebiges Projekt unverhältnismäßig. Zur Übersicht sind in der Tabelle 28 die Humusäquivalente verschiedener Fruchtarten aufgezeigt, die allein durch den Anbau dieser Früchte erreicht werden können (LfL, 2014). Laut dieser Tabelle steht der Steinklee vor anderen Körnerleguminosen in Bezug auf die Humuswirkung durch den Anbau.

Tabelle 28: Humuswirkung durch den Anbau nach LfL (2014)

HÄ/ha/a	Frucht
160 800 500	Körnerleguminosen (alle Arten) Steinklee (Hauptnutzungsjahr) Steinklee (Ansaatjahr)
-800 – -1040 -400 – -520	Silomais Winterroggen
1 Humusäquivalent (HÄ) entspricht 1 kg Humus-C	

6.1.5. Aufbrechen von Verdichtungen

In der Dissertation über die „Untersuchungen zum Anbau und zur Verwertung von Steinklee“ von Bull (2013) wird auf Literatur hingewiesen, die die Bodenlockerung, den Humusaufbau und die Beförderung der Bodenbiologie durch das starke Wurzelsystem des Steinklees thematisiert mit dem sogar schwere, undurchlässige Böden für die Landwirtschaft erschlossen werden können (Specht, 1939; Goplen, 1980). Zudem wurde das Durchdringungsvermögen des Steinklees in Gefäßversuchen bewiesen (Pfleger, 1990). Im Demonstrationsprojekt wurden zwei Standorte (Standorte 6 und 11) von einem Bodenkundler betreut. Dieser stellte fest, dass am Standort 6 zu keinem eindeutigen Lockerungseffekt durch den Steinklee kam. Am Standort 11 hingegen war der Steinklee der Luzerne überlegen. Gleichzeitig weist der Bodenkundler in seinem Bericht darauf hin, dass eine mehrjährige Versuchsanstellung auf verschiedenen Standorten von Nöten ist, um eine eindeutige Aussage machen zu können (Berichte siehe Kapitel 8). Steinklee verfügt im Gegensatz zu vielen anderen Pflanzen über ein sehr starkes Pfahlwurzelsystem und eine sehr gute Oberbodendurchwurzelung, die es ihm möglich macht, Verdichtungen im Boden aufzubrechen. Die Flächen am Standort 6 und 11 im Demonstrationsprojekt wiesen durch ihre Vorgeschichte extreme Verdichtungen auf.

6.1.6. Einsparen von mineralischem N-Dünger in der Nachfrucht

Steinklee akkumuliert mit Hilfe von Knöllchenbakterien Stickstoff im Wurzelbereich. Dies konnte im Demonstrationsanbau bestätigt werden. Vor allem nach dem Absterben der Steinkleepflanzen und der beginnenden Zersetzung der oberirdischen und unterirdischen Biomasse konnte ein deutlicher Nmin-Anstieg auf den Flächen erfasst werden. Eine Einsparung von mineralischem N-Dünger ist möglich, wenn nach der Vorfrucht Steinklee unmittelbar eine Nachfrucht folgt oder aber eine Zwischenfrucht, die den Stickstoff vor der Auswaschung in tiefere Bodenschichten bewahrt und für die folgende Hauptfrucht bereithält. Das N-Fixierungspotential durch Steinklee wurde bereits durch Bull (2013) wie in Tabelle 29 dargestellt, angegeben. Das Fixierungspotential ähnelt dem von Luzerne und Rotklee (Bull 2013).

Tabelle 29: N-Fixierungspotential von Steinklee (außer Sommersaaten)

Zeitpunkt	**N-Fixierung in kg/ha**	
	Ganze Pflanze	Wurzeln
Erstes Jahr im Herbst Zweites Jahr im Frühjahr Zweites Jahr im Sommer	100 – 300 45 – 310 90 – 180	75 – 110 20 – 100 15 – 55

Quelle: Bull(2013)

6.1.7. Dauerhafte Etablierung von Steinklee in der Landwirtschaft

Mit dem Projekt wurden Landwirten und Interessierten die Vorzüge von Steinklee vermittelt sowie die Anbau- und Nutzungsmöglichkeiten. Einige Betriebe haben den Steinklee in ihre Fruchtfolge mit aufgenommen, auch über das Projekt hinaus. Um eine großflächigere Etablierung in der Landwirtschaft zu erzielen, sollten noch mehr Anbauversuche (Exaktversuche und Demonstrationsanbau) durchgeführt werden, damit eine stabile Datengrundlage geschaffen wird und Aussagen über den Anbau sicherer werden.

Vor allem ist es aber erforderlich, die politischen Rahmenbedingungen so anzupassen, dass die artenarmen Fruchtfolgen wieder aufgeweitet werden. Die Bestrebungen der energetischen Nutzung ökologisch wertvoller Kulturarten werden mit der derzeitigen Ausgestaltung des erneuerbare Energien Gesetzes nicht mehr verfolgt. Hier sind Alternativen dringend erforderlich.

Ein reiner Steinkleebestand wird beispielsweise nicht als „Bienenweide“ gefördert. Hierzu sind, neben Steinklee, mindestens 4 weitere Pflanzenarten auf der Fläche zu etablieren. Ein Überdenken dieser Regelung wäre insofern sinnvoll, als dass auf ärmeren Standorten wenige Pflanzenarten eine gute Wüchsigkeit aufweisen. Insofern ist gerade die Etablierung einer Bienenweide, wie sie zurzeit definiert ist, auf diesen Standorten schwierig. Eine Ausnahmeregelung für ärmere Standorte in Bezug auf die zu etablierende Pflanzenartenzahl auf der „Bienenweide“ ist wünschenswert.

6.1.8. Schaffung eines Netzwerks

Die verstärkte Öffentlichkeitsarbeit durch die Teilnahme an und die eigene Durchführung von Veranstaltungen zum Thema Steinklee oder artverwandten Themen brachte den Steinkleeanbau wieder in die Öffentlichkeit und die Köpfe der Landwirte.

Zudem wurden Faltblätter über den Anbau und die Nutzung von Steinklee sowie über den Zusammenhang von Steinklee und Humus und Steinklee und Wildbienen erstellt. Artikel in verschiedenen Fachzeitschriften informierten ebenfalls über die Möglichkeiten, die der Steinkleeanbau mit sich bringt.

Eine Auflistung der öffentlichkeitsrelevanten Maßnahmen ist unter Abschnitt 5.6 zu finden.

Das Informationsmaterial wird auch nach dem Projektende für Landwirte und andere Interessenten bereitgestellt. Die Landwirte aus dem Demonstrationsprojekt sind sich teilweise bekannt durch die Steinkleetage, die jährlich veranstaltet wurden und können sich auch untereinander austauschen. Sie werden, neben den Mitarbeitern der LFA, für Fragen von Interessenten zur Verfügung stehen und ihren Erfahrungsschatz bzgl. des Steinkleeanbaus teilen. Zudem wurde im Projekt auch immer wieder der Austausch mit Saatgutvertrieben gesucht und züchterische Perspektiven erörtert.

7. Quellen und weiterführende Literatur

Aizen, M. A.; Garibaldi, L. A.; Cunningham, S. A. & Klein, A. M. (2009): How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. Ann. Bot.-London 103, 1579–1588.

Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (1988): Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU (2007): Die Braunerde, die Vielseitige, Böden in Bayern, Umweltbasis, Faltblatt, https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000000?SID=1398794214&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_bod_00027%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)

Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU (2018): Ergebnisse der Stickstoff-Deposition aus dem Niederschlagsmessnetz des LfU (Teil Immissionsökologie) im Vergleich mit UBA-Modelldaten zur Stickstoff-Vorbelastung - Hinweise zur Verwendung der UBA-Hintergrunddaten zur Stickstoffdeposition (Modell PINETI-2), *https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe_luft/eutrophierung_versauerung/uba_daten/index.htm*.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU (2018): UmweltWissen-Schadstoffe, Ammoniak und Ammonium, *lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_6_ammoniak_ammonium.pdf*

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL (2014): Humusmethode zur Optimierung von Bodenfruchtbarkeit und Umweltwirkung, *lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/humusbilanz_beratung_bleistift-version_nov_2014_2.pdf, Zugriff am 03.04.2020*.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL (2019): LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten, *https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html, Zugriff am 22.10.2019*.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL: Klimawirkung der Landwirtschaft, http://www.lfl.bayern.de/schwerpunkte/klimaaenderung/084595/index.php, Zugriff am 15.02.2019.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL (2012): Emission von Treibhausgasen aus der Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, *https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/schwerpunkte/dateien/emission_von_treibhausgasen_in_der_landwirtschaft.pdf*

Becker-Dillingen, J. (1929): Handbuch des Hülsenfrüchteanbaues und Futterbaues. Paul Parey, Berlin.

Blecken, B. (1948): Der Bokharaklee. Eine wichtige Kultivierungs-, Gründüngungs- und Futter-Pflanze. Metta Kinau Verlag Nachf., Lüneburg.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, BLE (2020): Bundesinformationszentrum Landwirtschaft - Wie Trockenheit der Landwirtschaft schadet, *https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wie-trockenheit-der-landwirtschaft-schadet/, Zugriff am 02.04.2020*.

Bull, I. (2013): Untersuchungen zum Anbau und zur Verwertung von Steinklee, Dissertation, Universität Rostock.

Bundesamt für Naturschutz, BfN (2012): Ökosystemleistungen und deren Inwertsetzung in ländlichen Räumen unter Einbeziehung von Klimaaspekten, BfN-Skripten 523, *https://www.researchgate.net/publication/331952136, Zugriff am 10.03.2019*.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands - Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR, *https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/Humusgehalte_Bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Zugriff am 09.03.2020*.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2016): Ackerbohne, Erbse & Co. – Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, BMEL (2019): Nutzen und Bedeutung der Bioenergie, *https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/_texte/Bioenergie.html*.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, BMEL (2019): Eiweißpflanzenstrategie, https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Eiweisspflanzenstrategie.html.

Chagnon, M.; Gingras, J. & De Oliveira, D. (1993): Complementary aspects of strawberry pollination by honey andindigenous bees (Hymenoptera).J. Econ. Entomol.86, 416–420.

Decker, H. (1963): Pflanzenparasitäre Nematoden und ihre Bekämpfung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Deutsches Maiskomitee e.V. : Biogas, https://www.maiskomitee.de/Verwertung/Biogas, Zugriff am 03.04.2020.

Deutscher Wetterdienst, DWD**:** *https://cdc.dwd.de/portal/,* Ermittlung der Wetterdaten der einzelnen Standorte, Zugriff 2018, 2019 und 2020.

Deutscher Wetterdienst, DWD: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_archiv_2018_node.html, Archiv der Pressemitteilungen 2017 bis 2019, Zugriff am 04.03.2020.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., FNR (2019): Anbau und Verwertung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., FNR (2019): Nachwachsende Rohstoffe im Überblick, *https://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/ueberblick*/.

Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL (2016): Wildbienen und Bestäubung *https://shop.fibl.org/CHde/mwdownloads/download/link/id/632/?ref=1*.

Goplen, B. P. (1980): Sweet clover production and agronomy. Canadian Veterinary Journal 21 (5), 149-151.

Jäckl, U. (2018): Körnerleguminosenanbau – Erfahrungen aus dem DemoNetErBo, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Klein, A. M.; Vaissière, B. E.; Cane, J. H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S. A.; Kremen, C.; Tscharntke, T. (2007): Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. R. Soc. B. 274, 303–313.

Kreuz, E. (1965): Neuere Forschungsergebnisse im Futter- und Samenbau von Weißklee und anderen Kleearten, Berlin.

Kutschera, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015): Das Projekt EVA III, Versuchsstandort Trossin (Sachsen), S. 27.

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, LUNG (2002): Bodenbericht des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Phase 1 des Bodenschutzprogramms Mecklenburg-Vorpommern, *https://www.lung.mv-regierung.de/wasser_daten/Dateien/Kap_4_1_2_Bodenverdichtung.htm*.

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, LUNG (2008): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau, Übersicht 4, *https://orgprints.org/15100/1/Fruchtfolge_Internet.pdf, Zugriff am 09.03.2020*.

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, LFA (2008): Richtwerte und Deckungsbeiträge zur Pflanzenproduktion, *https://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Agraroekonomie/Planungsrichtwerte/?id=21&processor=processor.sa.lfaforenbeitrag, Zugriff am 10.03.2020*.

Michel, V.; Bombowsky, B.; Zenk, A. (2017): Mais 2017. Ergebnisse Landessortenversuche Anbaugebiet „D-Nord/ MV-Süd“, LFA, Daten über frühe und mittelfrühe Sorten für die Standorte Vipperow und Gülzow.

Michel, V.; Bombowsky, B.; Zenk, A. (2018): Mais 2018. Ergebnisse Landessortenversuche Anbaugebiet „D-Nord/ MV-Süd“, LFA, Daten über frühe und mittelfrühe Sorten für die Standorte Vipperow und Gülzow.

Michel, V.; Bombowsky, B.; Zenk, A. (2019): Mais 2019. Ergebnisse Landessortenversuche Anbaugebiet „D-Nord/ MV-Süd“, LFA, Daten über frühe und mittelfrühe Sorten für die Standorte Vipperow und Gülzow.

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt MV (2018): Hinweise zur Umsetzungder Düngeverordnung vom 26. Mai 2017in Mecklenburg-Vorpommern, *https://www.lms-beratung.de/export/sites/lms/de/.galleries/Downloads_LFB/DueV/Hinweise-DueV_.pdf*

Ollerton, J. ; Winfree, R. & Tarrant, S. (2011): How many flowering plants are pollinated by animals? Oikos, 120, 321-326.

Organic Agriculture Centre of Canada (2008): Management of sweetclover for nitrogen supply, soil conservation and weed control. Interim Reseach Report W2008-43. University of Saskatchewan *<http://www.organicagcentre.ca/TechnicalBulletin43web_clover.pdf.> Zugriff am 18.08.2009*.

Ostermaier, M. (2017): Landwirtschaftliche Fläche als Lebensraum für Wildbienen, https://orgprints.org/31762/1/Landwirtschaftliche%20Fl%C3%A4che%20als%20Lebensraum%20f%C3%BCr%20Wildbienen.pdf.

Pätzold, H. (1961): Die Anbauwürdigkeit des Weißen Steinklees (Melilotus albus Med.) auf leichten Böden. In: DEUTSCHE AKADEMIE DER LANDWIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Beiträge zur Bewirtschaftung und Förderung leichter Böden. Akademie-Verlag, Berlin.

Petersen, A. (1967): Klee und Kleeartige. als Kulturpflanzen, Wildpflanzen und Unkräuter auf Acker, Wiese und Weide. Akademie-Verlag, Berlin, 2. bearb. Neuauflage.

Pfleger, I. (1990): Modelluntersuchungen zum Durchwurzelungsvermögen verschiedener Fruchtarten. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 34 (3), 155-163.

Pfitzner, C.; Höppner, F.; Greef, J.-M. (2010): Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaros) mit der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS), Journal für Kulturpflanzen 62 (12), Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

Pritsch, G. (1958): Der Bokharaklee (Melilotus albus) als Futterpflanze der Bienenweide. Die deutsche Landwirtschaft 9 (6), 282-285.

Remer, O. (1954): Ertragssteigerung durch Zwischenfrucht-, insbesondere den Bokharaklee-Anbau. Die deutsche Landwirtschaft 5 (4), 202-205.

Reents, H. J.; Egerer, J. & Hermann, A. (2009): Anfälligkeit von Leguminosen gegenüber Meloidogyne hapla. Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Zürich, 378-382.

Roßberg, D.; Michel, V.; Graf, R.; Neukampf, R. (?): Boden-Klima-Räume und Anbaugebiete als Basis des regionalisierten Sortenwesens in Deutschland, *https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/meta/bkr_herleitung.pdf*.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, LfULG (2015): Leitfaden zur Humusversorgung . Informationen für Praxis, Beratung und Schulung, S. 17, *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25484*.

Scheluto, B.; Nikonowitsch, I (2007): Die Zucht des Weißen Steinklee (Melitotus albus L.) in Belarus. Unveröffentlichter Forschungsbericht.

Scheluto, B.; Nikonowitsch, I.; Makowski, N. & Dietze, M. (2007): Pionierpflanze für Sandböden. Steinklee steigert die Ertragsfähigkeit sandiger Böden. Neue Landwirtschaft (9), 50-51.

Schmid-Egger, C. & Witt, R. (2014): Ackerblühstreifen für Wildbienen – Was bringen sie wirklich? *AMPULEX 6|2014, https://www.zobodat.at/pdf/Ampulex_6_0013-0022.pdf*.

Simon, W. (1960a): Luzerne, Klee und Kleegras. (Von der Saat bis zur Fütterung). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 2. neubearbeitete Auflage.

Skirde, W. (1957): Hinweise zur Samenernte von Rotklee, Weißklee und Steinklee. Mitschurin Bewegung. Zeitschrift der landwirtschaftlichen Praxis 6, 743-749.

Slapunov, W.N. (2008): Donnick White ist ein Konkurrent von Luzerne und Klee. Belarusian Rural Farm ist eine monatliche wissenschaftliche und praktische Zeitschrift 4 (72) und *http://agriculture.by/?p=445, Zugriff am 16.12.2012*, Original: ШЛАПУНОВ, В. Н. (2008): Донник белый – конкурент люцерне и клеверу. Белорусское Сельчкое Хозяйство – ежемесячный научно-практический журнал 4 (72)

Smith, W. K. & Gorz, H. J. (1965): Sweetclover improvement. In: NORMAN, A. F. (Hrsg.): Advances in Agronomy, 163-231. Academic Press, New York.

Specht, G. (1939): Beiträge zum Anbau und zur Züchtungsgrundlage von Steinklee (Melilotus). Dissertation, Universität Jena.

Specht, G.; Görlitz, H. & Schmidt, K. (1960): Untersuchungen über den Anbau von weißem Steinklee. Albrecht-Thaer-Archiv 4 (7), 541-555.

Statistisches Bundesamt (2018): FS 3 Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, R. 5.1 Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2017, *https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/bodenflaechennutzung-2030510177004.pdf?__blob=publicationFile&v=7*.

Statistisches Bundesamt (2019): Flächennutzung – Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html;jsessionid=AE1A043F7329116702C59F662467A65E.internet741.

Statistisches Bundesamt (2019): Umweltökonomische Gesamtrechnungen – Flächenbelegung von Ernährungsgütern 2010 – 2019, https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Publikationen/Querschnitt-Sonstiges/fachbericht-flaechenbelegung-pdf-5385101.pdf?__blob=publicationFile.

Steffan-Dewenter, I. (2014): Der Einfluss von Klimawandel und Habitatverlust auf Bestäuber und ihre Funktionen, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 43 „Soziale Insekten in einer sich wandelnden Welt“, S. 113-122, Pfeil Verlag.

Stein, K.; Coulibaly, D.; Stenchly, K.; Goetze, D.;Porembski, S.; Lindner, A.; Konaté, S. & Linsenmair, E.K. (2017): Bee polination increases yield quantity and quality of cash crops in Burkina Faso, West Afrika; Scientific Reports.

Suvrov, W.W. (1950): Donnick - Melilotus (Tourn.) Adans. Em. In: SINSINA, E.N. (Hrsg.): Mehrjährige Hülsenfrüchte 13 (1), 345-502, Moskau; Original: СУВОРОВ, В. В. (1950): Донник - Melilotus (Tourn.) Adans. Em. In: СИНСКАЯ, Е. Н. (Hrsg.): Многолетние бобовые травы 13 (1), 345-502, Москва.

Thünen-Institut (2020): Daten & Fakten, Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, https://www.thuenen.de/de/thema/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/ammoniak-emissionen-aus-der-landwirtschaft/, Zugriff am 30.03.2020.

Umweltbundesamt, UBA (2015): Bodenzustand in Deutschland zum internationalen Jahr des Bodens 2015, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/bodenzustand_in_deutschland_0.pdf.

Umweltbundesamt, UBA (2018): Umwelt und Landwirtschaft 2018, *https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umwelt-landwirtschaft-2018***.**

Umweltbundesamt (2019a): Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland – Ammoniak-Emissionen, https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#textpart-1.

Umweltbundesamt (2019b): Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss, https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/naehrstoffeintraege-aus-der-landwirtschaft#textpart-1; https://www.umweltbundesamt.de/indikator-stickstoffueberschuss-der-landwirtschaft#textpart-2.

Umweltbundesamt, UBA (2019c): Struktur der Flächennutzung, https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#textpart-1.

Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) (2017): Biodiesel 2016/2017 Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht.

Weißbach, F. (2009): Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotential der fermentierten Rohstoffe, Pflanzenbauwissenschaften 13 (2) S.72-85, 2009, ISSN 1431-8857, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Westrich, P. (1989): Die Wildbienen Baden-Württembergs. Allg. Teil Lebensräume, Verhalten, Ökologie und Schutz. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.

Westrich, P. (2015). Wildbienen - die anderen Bienen, Pfeil-Verlag, 5. Auflage.

8. Anhang

Tabelle 30: Übersicht der genutzten Wetterstationen für die verschiedenen Standorte

Standort	Wetterstation	Quelle
1	Wittstock Rote Mühle	DWD
2	Waren (Müritz)	DWD
3	Goldberg	DWD
4	Thyrow	Bewirtschafter
5	Thyrow	Bewirtschafter
6	Rheinstetten	DWD
7	Rostock-Warnemünde	DWD
8	Celle	DWD
9	Cottbus	DWD
10	Gülzow	LFA
11	Renningen	DWD

Tabelle 31: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2017

Stand-ort	Jahres-Nieder-schlag [mm]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	802,8	37,4	35,5	52,3	53,9	59,6	166,8	110,2	61,1	26,6	85,0	73,5	40,9
2	min. 654,0	35,6	43,3	47,5	46,9	x	113,2	118,5	x	22,7	111,9	71,9	42,5
3	874,8	59,2	41,3	51,4	56,4	59,9	147,1	100,3	56,2	52,8	116,7	71,9	61,6
4	699,4	33,6	41,4	39,1	22,1	33,2	164,6	133,4	46,5	25,8	71,9	55,5	32,3
5	699,4	33,6	41,4	39,1	22,1	33,2	164,6	133,4	46,5	25,8	71,8	55,5	32,3
6	815,7	80,7	106,9	66,8	107,3	68,7	102,8	71,5	64,0	19,8	65,1	41,7	20,4

x= keine Angabe beim DWD

Tabelle 32: Durchschnittliche Temperaturen der einzelnen Standorte 2017

Stand-ort	durch-schn. Tempera-tur [°C]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	9,32	-1,03	1,60	6,23	7,25	13,92	16,61	17,19	17,40	13,01	11,13	5,30	3,27
2	8,99	-1,52	0,82	6,07	6,70	13,35	16,41	16,99	17,51	12,88	10,83	5,09	2,74
3	9,43	-0,62	1,51	6,33	7,20	13,69	16,51	17,02	17,54	13,45	11,46	5,63	3,45
4	10,06	-1,43	2,00	7,46	8,27	15,22	18,20	18,49	18,62	13,64	11,36	5,67	3,22
5	10,06	-1,43	2,00	7,46	8,27	15,22	18,20	18,49	18,62	13,64	11,36	5,67	3,22
6	11,4	-1,38	5,13	9,31	9,64	16,16	20,43	20,91	20,02	14,25	11,97	6,16	4,21

Tabelle 33: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2018

Stand-ort	Jahres-Nieder-schlag [mm]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	408,0	82,5	9,8	54,6	39,0	15,8	41,4	22,2	44,9	10,7	20,0	11,1	56,0
2	374,8	72,5	9,9	53,3	37,9	7,4	45,2	13,1	37,9	19,6	21,1	7,7	49,2
3	443,0	79,4	5,6	68,2	45,2	9,1	33,4	54,4	47,5	18,4	21,5	8,9	51,4
4	337,1	44,3	4,6	43,4	46,3	5,6	27,5	56,7	6,6	22,2	7,6	20,6	51,7
5	337,1	44,3	4,6	43,4	46,3	5,6	27,5	56,7	6,6	22,2	7,6	20,6	51,7
6	min. 566,7	127,6	28,6	32,3	29,5	71,9	48,0	53,6	x	25,0	12,1	32,6	105,5
7	min. 322,4	73,0	15,7	x	x	5,4	40,2	19,3	47,5	25,7	31,2	10,1	54,3
8	min. 276,9	x	x	x	x	38,7	14,1	39,2	30,1	43,8	20,2	14,3	76,5
9	428,9	46,8	1,7	31,5	36,1	30,4	87,2	41,3	17,0	32,7	29,1	12,4	62,7
10	354,2	73,1	5,6	71,8	42,3	5,5	28,6	35,8	27,8	2,4	8,5	6,9	45,9
11	506,3	84,8	15,6	18,4	14,5	64,4	95,9	25,3	43,8	37,5	26,9	13,2	66,0

x= keine Angabe beim DWD

Tabelle 34: Durchschnittliche Temperaturen der einzelnen Standorte 2018

Stand-ort	durch-schn. Tempera-tur [°C]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	10,09	2,86	2,00	0,73	11,65	16,33	17,90	20,26	19,35	14,92	10,19	4,62	4,24
2	10,47	2,66	1,70	0,61	11,28	16,69	18,25	21,01	20,45	15,75	11,14	5,31	4,24
3	9,95	0,65	1,59	0,72	11,05	16,52	17,88	20,44	19,72	15,27	10,55	5,10	4,40
4	11,35	3,70	0,60	2,80	13,20	17,20	19,60	21,00	21,60	16,60	11,00	5,50	4,60
5	11,35	3,70	0,60	2,80	13,20	17,20	19,60	21,00	21,60	16,60	11,00	5,50	4,60
6	12,33	6,68	0,54	5,25	13,97	16,86	20,00	22,46	22,01	16,88	11,96	6,32	5,08
7	10,63	3,39	0,21	1,16	10,20	15,00	17,41	20,45	20,12	16,15	12,39	6,42	5,19
8	11,04	3,79	1,30	2,61	12,67	17,55	18,42	21,12	20,22	15,43	11,06	5,66	5,20
9	11,15	3,59	1,61	1,79	13,83	17,70	19,23	20,78	21,80	16,16	10,90	5,35	4,25
10	10,80	3,10	0,90	1,30	11,50	16,80	18,70	21,10	20,50	15,80	11,30	5,60	4,60
11	11,44	5,02	0,98	4,26	13,77	16,38	18,82	21,31	21,20	16,80	11,26	5,43	3,99

Quelle: *https://cdc.dwd.de/portal/201810240858/mapview*, Wetterdaten der LFA für Standort 10, Wetterdaten des Bewirtschafters von Standort 5

Tabelle 35: Durchschnittliche Niederschlagswerte der einzelnen Standorte 2019

Standort	Jahres-Nie-derschlag [mm]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	483,7	51,5	20,9	67,0	9,6	19,6	61,9	51,3	22,5	63,9	61,8	53,7	43,2
2	min. 459,0	45,2	17,9	43,1	8,3	31,3	x	58,3	41,8	67,1	62,0	55,9	28,1
3	555,4	55,9	18,2	57,1	14,8	30,1	67,0	51,0	19,9	80,5	68,4	58,2	34,3
4	476,9	49,5	20,6	51,5	9,2	29,7	82,1	51,4	18,9	47,2	51,5	37,6	27,7
5	476,9	49,5	20,6	51,5	9,2	29,7	82,1	51,4	18,9	47,2	51,5	37,6	27,7
6	712,6	43,9	19,8	64,7	38,5	106,0	51,4	50,8	52,6	46,1	113,7	51,4	73,7
7	min. 436,0	30,0	30,1	47,0	16,2	26,1	72,2	66,0	52,8	x	x	65,6	30,0
8	594,0	68,3	17,4	71,3	21,9	21,5	50,1	33,4	42,4	72,4	89,8	49,5	56,0
9	400,2	62,1	28,5	49,4	17,1	50,0	14,7	24,4	27,5	39,5	39,8	16,8	30,4
10	580,1	43,0	21,4	47,2	10,0	37,0	77,9	88,9	25,6	72,4	51,5	62,10	24,30
11	665,2	47,4	15,7	46,7	29,8	118,1	65,5	60,5	92,6	33,2	60,7	48,4	46,6

Tabelle 36: Durchschnittliche Temperatur der einzelnen Standorte 2019

Standort	durchschn. Temperatur [°C]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	10,39	1,10	3,84	6,36	9,87	11,73	20,81	18,34	19,15	13,97	10,24	5,55	3,67
2	10,74	1,33	4,22	6,36	10,0	11,91	20,84	18,60	19,97	14,71	10,73	6,10	4,08
3	10,47	1,42	4,26	6,29	9,87	11,45	20,35	18,28	19,45	14,26	10,42	5,64	3,92
4	11,60	1,69	5,48	7,22	11,05	12,06	22,42	19,94	20,81	15,06	11,81	6,34	4,40
5	11,60	1,69	5,48	7,22	11,05	12,06	22,42	19,94	20,81	15,06	11,81	6,34	4,40
6	11,73	1,93	4,87	8,44	10,76	12,55	20,85	21,33	20,82	15,88	12,55	6,19	4,59
7	10,62	2,33	5,15	6,63	9,30	11,39	19,29	18,05	19,47	15,24	11,35	4,0	5,25
8	11,89	1,95	4,96	7,30	20,74	11,92	20,74	19,27	19,89	14,29	11,54	5,69	4,40
9	11,40	0,97	3,79	7,13	10,99	12,54	23,06	20,20	20,96	14,88	11,30	6,47	4,55
10	11,00	2,00	4,90	6,80	10,10	12,10	20,90	19,20	19,90	14,80	11,20	6,2	4,10
11	10,56	-0,39	3,87	6,36	8,80	10,22	18,55	18,81	18,29	13,87	11,01	4,21	3,00

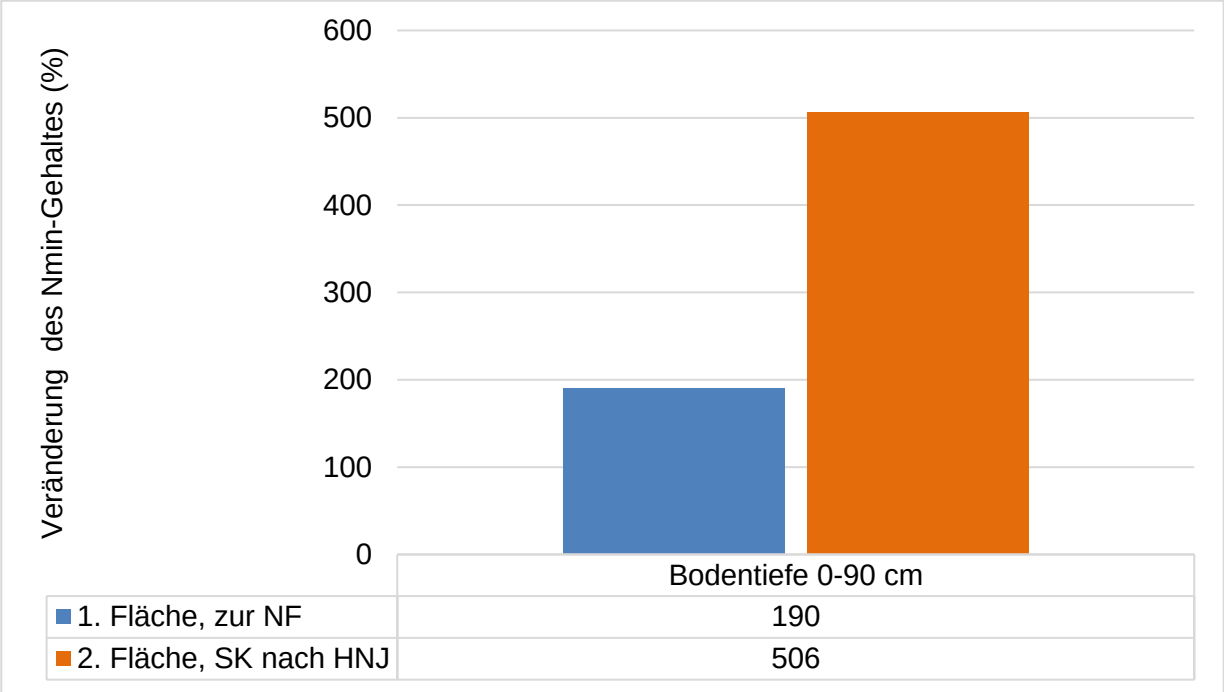


Abbildung 63: Differenzen des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ auf der 1. und der 2. Steinkleefläche am Standort 1

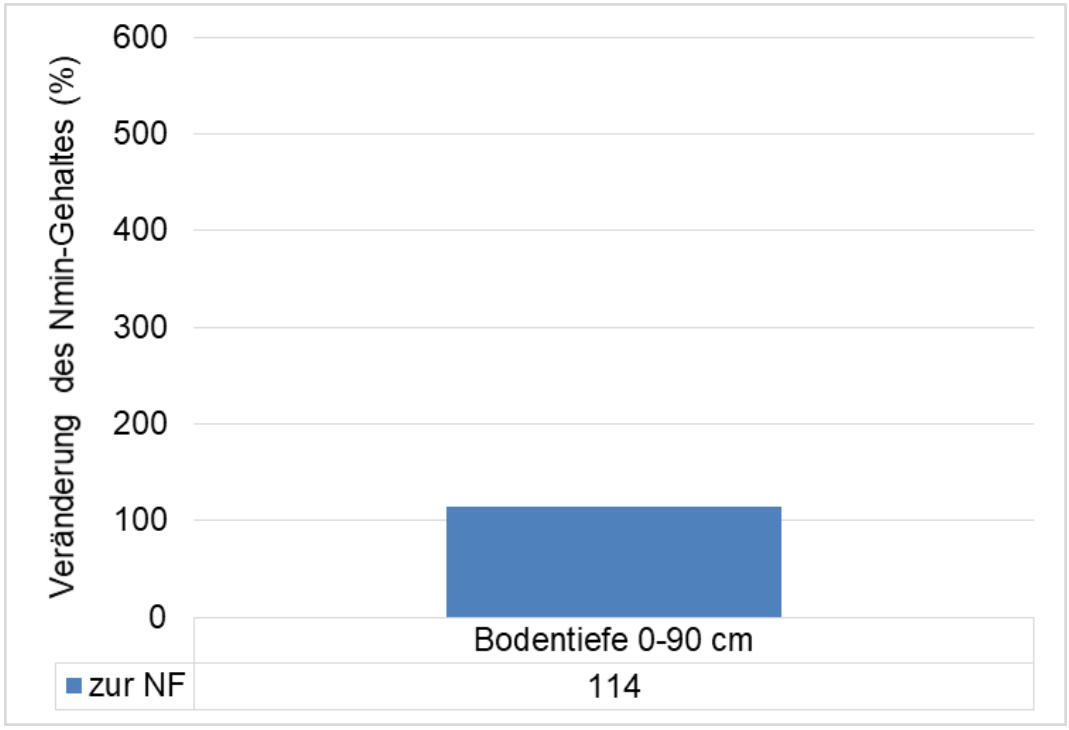


Abbildung 64: Differenz des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ am Standort 2

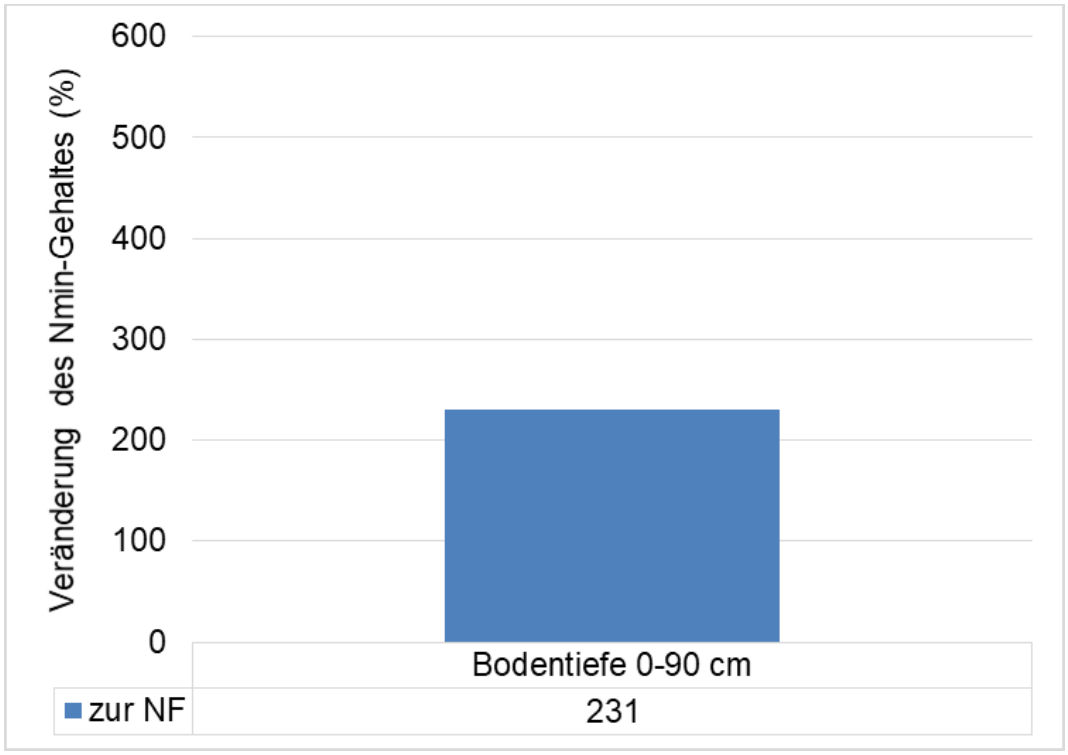


Abbildung 65: Differenz des Nmin-Gehaltes in % zwischen ASJ und HNJ Standort 3

Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2017

kt N

(MBT-0111290-0000)

	1990 [1)]	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
N-Düngemittel	2 209	1927	1749	1737	1659	1844	1822	1809	1838	1956	2 071
Mineraldünger	2 167	1885	1706	1693	1612	1787	1769	1758	1788	1903	2 014
Wirtschaftsdünger aus Importen	2	3	5	6	8	9	5	4	4	6	7
Sonstige organische Düngestoffe	40	40	38	38	38	47	47	47	46	47	50
N-Deposition aus											
außerlandwirtschaftliche Emissionen (NOx)	137	123	125	129	126	125	114	113	118	111	111
Biologische N-Fixierung	271	236	221	224	226	227	229	234	239	229	218
Saat und Pflanzgut	29	25	25	23	22	22	23	23	24	24	25
Futtermittel (Inland)	572	557	534	531	584	598	591	632	656	620	606
Pflanzliche Futtermittel aus Verarbeitung	156	179	165	139	162	172	147	170	174	189	170
Tierische Futtermittel	69	60	64	64	59	59	62	63	65	64	34
Marktgängige Primärfutter	347	318	304	328	363	367	382	399	417	368	401
Futtermittel (Import)	502	464	479	409	466	452	418	398	428	414	403
Kofermente	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	4
Summe Stickstoffzufuhr	3 721	3 333	3 133	3 054	3 084	3 269	3 199	3 210	3 305	3 358	3 439
Pflanzliche Marktprodukte	851	900	833	837	857	912	934	1009	1028	1041	1057
Getreide abzgl. Getreidekörner und CCM in Biogasanlagen, bis 2009 auch abzgl. GPS in Biogasanlagen	656	691	627	630	646	695	743	790	783	761	806
Leguminosen	8	6	5	8	9	11	14	18	25	26	17
Hackfrüchte abzgl. Futterkartoffeln, Kartoffelabfälle	90	78	84	87	74	78	87	83	84	86	90
Industriefrüchte (u. a. Ölfrüchte)	71	101	89	97	107	108	70	100	117	147	123
Trockengrünfutter	17	17	18	6	12	10	9	9	9	10	10
Sonstige Feldfrüchte	8	7	9	9	9	9	10	9	10	11	11
Tierische Marktprodukte	355	440	417	404	397	402	407	408	414	423	424
Fleisch	149	180	172	164	161	161	163	165	171	178	179
Sonstige Tierprodukte	136	170	164	165	164	169	170	169	168	169	169
Schlachtabfälle	70	89	81	75	72	72	74	74	75	76	76
Summe Stickstoffabfuhr	1206	1340	1249	1240	1254	1313	1341	1417	1442	1464	1481
Saldo	2 515	1993	1884	1813	1829	1955	1858	1793	1864	1894	1958

noch: **Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2017**

kt N

(MBT-0111290-0000)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N-Düngemittel	1905	1858	1854	1897	1852	1855	1673
Mineraldünger	1848	1792	1788	1828	1778	1785	1600
Wirtschaftsdünger aus Importen	10	11	5	6	10	8	13
Sonstige organische Düngestoffe	48	56	61	63	64	62	61
N-Deposition aus							
außerlandwirtschaftliche Emissionen (NOx)	109	112	90	97	95	91	95
Biologische N-Fixierung	221	217	215	211	214	211	205
Saat und Pflanzgut	23	24	24	24	24	22	22
Futtermittel (Inland)	621	590	574	651	681	692	676
Pflanzliche Futtermittel aus Verarbeitung	170	179	174	202	201	223	241
Tierische Futtermittel	14	14	14	13	13	12	13
Marktgängige Primärfutter	437	397	386	436	467	457	422
Futtermittel (Import)	393	420	385	385	400	387	444
Kofermente	6	7	8	10	14	17	21
Summe Stickstoffzufuhr	3 279	3 228	3 150	3 276	3 280	3 276	3 135
Pflanzliche Marktprodukte	1127	1013	941	1191	1105	1069	1009
Getreide abzgl. Getreidekörner und CCM in Biogasanlagen, bis 2009 auch abzgl. GPS in Biogasanlagen	860	760	706	880	814	785	716
Leguminosen	23	18	17	22	17	14	9
Hackfrüchte abzgl. Futterkartoffeln, Kartoffelabfälle	82	84	76	89	83	71	83
Industriefrüchte (u. a. Ölfrüchte)	142	132	125	180	173	182	181
Trockengrünfutter	10	10	7	9	8	7	8
Sonstige Feldfrüchte	10	10	10	11	11	11	12
Tierische Marktprodukte	425	426	429	436	442	434	448
Fleisch	180	183	184	190	196	192	200
Sonstige Tierprodukte	168	166	169	167	168	164	168
Schlachtabfälle	76	77	76	79	78	78	80
Summe Stickstoffabfuhr	1552	1439	1370	1627	1547	1503	1457
Saldo	1727	1788	1780	1649	1733	1773	1679

noch: **Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2017**

kt N

(MBT-0111290-0000)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017 [2)]
N-Düngemittel	1884	1631	1646	1861	1715	1720	1749	1891	1780	1722
Mineraldünger	1807	1551	1569	1786	1640	1649	1675	1823	1711	1659
Wirtschaftsdünger aus Importen	15	14	13	12	13	15	15	16	15	15
Sonstige organische Düngestoffe	62	66	64	62	62	57	59	52	54	49
N-Deposition aus										
außerlandwirtschaftliche Emissionen (NOx)	85	81	82	72	72	75	68	69	63	66
Biologische N-Fixierung	198	198	194	196	194	193	196	206	211	216
Saat und Pflanzgut	22	22	22	21	23	20	20	22	21	21
Futtermittel (Inland)	692	706	671	583	637	711	702	703	684	671
Pflanzliche Futtermittel aus Verarbeitung	212	266	241	190	204	233	222	226	215	203
Tierische Futtermittel	13	13	13	13	13	14	13	15	16	15
Marktgängige Primärfutter	467	427	417	379	420	464	468	462	453	452
Futtermittel (Import)	408	362	424	493	383	413	357	407	397	389
Kofermente	26	28	29	30	31	33	34	36	36	38
Summe Stickstoffzufuhr	3 313	3 028	3 067	3 255	3 055	3 165	3 127	3 333	3 193	3 123
Pflanzliche Marktprodukte	1134	1172	1083	988	1043	1105	1201	1118	1045	1076
Getreide abzgl. Getreidekörner und CCM in Biogasanlagen, bis 2009 auch abzgl. GPS in Biogasanlagen	852	844	788	735	765	810	866	837	769	789
Leguminosen	8	9	10	9	9	9	11	17	19	21
Hackfrüchte abzgl. Futterkartoffeln, Kartoffelabfälle	79	85	74	92	86	74	94	75	82	101
Industriefrüchte (u. a. Ölfrüchte)	176	214	193	133	165	196	212	170	156	146
Trockengrünfutter	7	7	7	7	6	6	5	7	7	7
Sonstige Feldfrüchte	12	13	11	12	13	11	13	12	12	12
Tierische Marktprodukte	458	469	482	497	496	498	510	513	513	503
Fleisch	208	216	224	231	229	229	233	234	233	226
Sonstige Tierprodukte	168	170	171	177	180	184	189	191	192	192
Schlachtabfälle	82	84	86	88	86	86	87	88	87	85
Summe Stickstoffabfuhr	1592	1641	1565	1485	1539	1603	1711	1631	1558	1579
Saldo	1722	1386	1502	1770	1517	1562	1416	1702	1635	1544

Anm.: Aufgrund der in den Tabellen dargestellten Genauigkeit kann es teilweise zu Abweichungen bei den Zwischenergebnissen kommen. Die Ergebnisse sind mit Angaben früherer Veröffentlichungen aufgrund methodischer Veränderungen nur eingeschränkt vergleichbar. - 1) Datenbasis zum Teil unsicher. - 2) Daten teilweise vorläufig.

Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Julius Kühn Institut (JKI) und Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement (ILR), Universität Gießen

Bericht zum Einsatz von Steinklee zur Bodenlockerung in Karlsruhe-Neureut vom Ansaatjahr 2017 bis zum Versuchsende 2018

Dr. Andreas Lehmann
Fruwirthstraße 31
70599 Stuttgart
terra fusca PG
as_freiebodenkundler@web.de

Januar 2019

Steinkleebestand in Karlsruhe-Neureut, Gewann Gottesauer Feld am 12.7.2018

Vorbemerkung

Die Ansaat von Steinklee in Karlsruhe Neureut im Gewann Gottesauer Feld, auf einem Teilstück des Flurstücks 11351 erfolgte am 2.5.2017. Der Grund für diese Ansaat war eine Verdichtung durch die Nutzung einer Teilfläche als Lagerfläche bei Baumaßnahmen im Frühjahr 2007. Die etwa 10 Jahre zurück liegenden Verdichtungen hatten sich mehrfach durch Ertragsausfälle bemerkbar gemacht.

Der Steinkleebestand wurde in das Demonstrations projekt Steinklee an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) aufgenommen. Der Anbau wurde und wird zur Bodenverbesserung durch Bodenlockerung durchgeführt und bodenkundlich begleitet. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Charakterisierung des Ausgangszustandes des Versuchsstandortes

Neureut liegt im Oberrheingraben, der Untersuchungsstandort auf dem eiszeitlich entstandenen, sandigen Hochgestade (Niederterrasse).

Bei der nächstgelegenen amtlichen Klimastation in Karlsruhe Rheinstetten wird eine Jahresmitteltemperatur von 11,1°C gemessen, die Niederschlagssumme erreicht 730 mm. Im Mittel scheint dort die Sonne an 1 779 Stunden im Jahr. Damit zählt Neureut zu den wärmsten und sonnigsten Standorten in Deutschland, die sich durch warme und nicht selten schwüle Sommer sowie milde und häufig nebelige Winter auszeichnen.

Die Beeinträchtigung der Untersuchungsfläche durch die Nutzung als Lagerfläche für Baumaßnahmen lässt sich mit Luftbildern verschiedenen Datums gut nachvollziehen (s. Abb. 1-7).

Die Fläche, bei der 2007 (s. Abb. 2) die Beanspruchung durch Baumaßnahmen erkennbar ist, macht etwa 5 850 m² aus. Die Ausdehnung der Fläche bemisst sich auf 5.000 m², wenn nur die nach dem Bau des Funkmastes (vgl. Abb. 5) verbleibende Ackerfläche betrachtet wird. Die Wuchsstörungen auf der beanspruchten Fläche, wie sie 2015 erkennbar waren (s. Abb. 6), machen etwa 500 m² aus. Vor Ort ist diese Fläche als schwach ausgeprägte Senke zu erkennen. Die Koordinaten des Senkenzentrums lauten im Gauß-Krüger System wie folgt: R-H-Wert 34 55 655, 54 36 151, in Breiten graden mit Angaben in Dezimalgrad: 49.061006 8.392175. Letztere Angaben führen im Eingabe-Fenster bei https://www.google.de/maps direkt zur Örtlichkeit.

Am 28.4.2017 wurden bei einem Vor-Ort-Termin in Neureut Daten zur Standortsbeschreibung erhoben.

Dies erfolgte mittels Bodenbeschrieb (s. nachfol-

Abb. 1: Luftaufnahme mit der noch durch Baumaßnahmen unbeanspruchten Untersuchungsfläche und ihrer Umgebung vom10.8.2006; alle Bild sind genordet, die Bildbreite entspricht etwa 590 m, Quelle der Bilder dieser Reihe: Google Earth

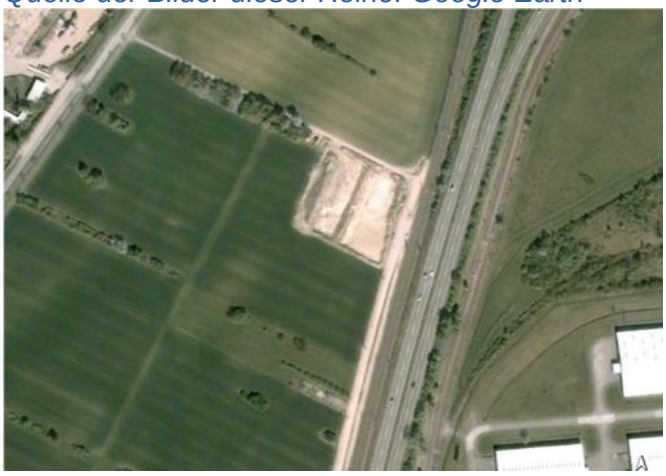


Abb. 2: Luftaufnahme vom 15.4.2007 mit der beanspruchten Fläche etwa in der Bildmitte

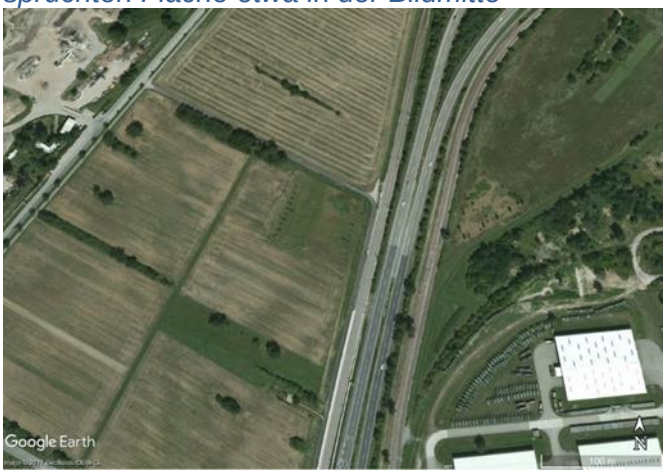


Abb. 3: Luftaufnahme vom 15.3.2011 mit der beanspruchten Fläche etwa in der Bildmitte, teilweise

durch ein dunkleres Grün und teilweise durch Fehlstellen erkennbar; der Verlauf der Fahrspuren deutet eine leichte Erhöhung der Oberfläche an

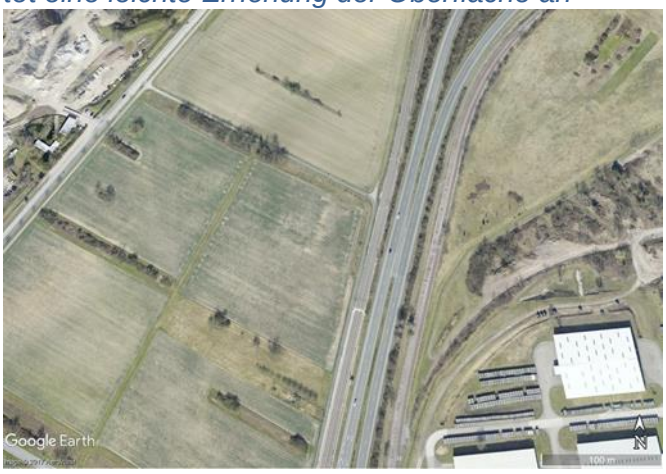


Abb. 4: Luftaufnahme vom 15.03.2011 mit der beanspruchten Fläche etwa in der Bildmitte, teilweise durch ein dunkles Grün und teilweise durch Fehlstellen erkennbar, der Verlauf der Fahrspuren deu-

Abb. 5: Luftaufnahme vom 9.7.2012 mit der beanspruchten, aber zu diesem Zeitpunkt unauffälligen Fläche etwa in der Bildmitte, nach dem Bau eines Funkmasten im Randbereich der beanspruchten Fläche

Abb. 6: Luftaufnahme 19.4.2015 mit der beanspruchten Fläche etwa in der Bildmitte mit deutlichen Wuchsstörungen in einer leichten Senke, nordwestlich des Vorgewendes

Abb. 7: Luftaufnahme vom 5.6.2016 mit der beanspruchten Fläche etwa in der Bildmitte mit etwas dunkler Grünfärbung im Randbereich und einer geringfügigen Aufhellung im zentralen Bereich

gende Tabelle) und Bestimmen der hydraulischen Leitfähigkeit (s. nachfolgendes Unterkapitel).

Tabellarische Beschreibung des Bodenprofils

Horizont	bis cm	Textur	Steine Vol,%	Dichte g/cm³	Feuchte
Ap	33	Slu	5	1,1	feucht
jBv	50	Slu	2	1,5	feucht
M	57	St2	0	1,7	frisch
Bv	92	St2	0	1,9	trocken
lCv	>100	Su2	70	1,3	trocken

Horizont	Farbe	Humus Gew%	CO^{-}_{3} Gew%	Bemerkung
Ap	10YR 4/3	3	0,5	Ziegel
jBv	10YR 4/6	1	20	-
M	10YR 4/4	2	10	-
Bv	10YR 5/3	0	0	-
lCv	10YR 6/4	0	0	-

Gauß-Krüger Koordinaten: R-, H-Wert 34 55 655, 54 36 151

Weitere Angaben: An der Bodenoberfläche treten Bauschuttreste und natürliche Steine bis 40 cm Seitenlänge auf.

Braunerde aus Abfolge an aufgetragenem Braunerde-Bodenmaterial und humosem Material über geköpfter Braunerde.

Legende: Ah: humoser beackerter Oberboden, jBv: umgelagerter verbraunter und verlehmter Bodenhorizont, M/fAh: vermutlich aufgetragenes humoses Bodenmaterial, Bv: verbraunter und verlehmter Bodenhorizont in natürlicher Lage, lCv: lockeres, verbrauntes Ausgangsmaterial

Su2: schwach schluffiger Sand (unter 5% Ton), Slu: schluffig-lehmiger Sand (ca. 10% Ton), St2: schwach toniger Sand (ca. 10% Ton), weitere Informationen s. KA5 (2005).

Der beschriebene Boden wurde im Zentrum der verdichteten Senke (s. Abb. 6) von Hand mit einem Bürckhauer-Bohrer erbohrt. Dabei war die hohe

Dichte unterhalb von 57 cm sehr auffällig. Beim Bohren entstand ein Eindruck wie beim Durchbohren einer Asphaltdecke. Derartige Verdichtungen sind bei reinen Sandböden nicht möglich, da es sich hier aber um einen gemischtkörnigen Boden handelt, ist eine derartige Verdichtung plausibel.

Bei der humosen Unterbodenlage (50-57 cm) kann es sich um während der Baumaßnahmen eingespültes Oberbodenmaterial handeln oder um eine alte Oberfläche. Träfe Letzteres zu, wäre der Horizont nicht mit M, sondern mit fAh (f von fossil) zu bezeichnen. Eine Kartierung der nicht von den Baumaßnahmen betroffenen Fläche könnte zur Frage der Entstehung der humosen Unterbodenlage Aufschluss geben. Einen Überblick über die Fläche geben die beiden Bilder bei Abb. 8, die eine Übersicht über nahezu die gesamte Steinkleefläche erlauben.

Bodenverdichtung und hydraulische Leitfähigkeit

Die weit verbreitete Verringerung der Leistungsfähigkeit von Böden durch Bodenverdichtung äußert sich unmittelbar in einer verzögerten Versickerung. Nach stärkeren Niederschlägen lässt sich dies mit dem Auftreten von freiem Wasser auf Äckern verfolgen. Häufig beschränken sich die Verdichtungen nicht auf das Vorgewende und auf die Fahrgassen.

Dies ist problematisch, da mit der verringerten Sickerfähigkeit von Böden nicht nur ein Rückgang der landwirtschaftlichen Produktivität einher geht, sondern diese sich auch in einem erhöhten Erosions- und Überschwemmungsrisiko sowie in einer Verschlechterung der Grundwasserqualität niederschlägt. Die Grundwasserqualität leidet unter Verdichtungen, da dichte Böden wenig Wasser aufnehmen und so der Oberflächenabfluss erhöht ist. Damit nimmt die Filterwirkung der Böden ab, wie sie etwa durch den mikrobiellen Abbau und dem Zurückhalten von Schadstoffen zum Tragen käme. Demnach ist die Bodenverdichtung als ein gesamtgesellschaftliches Problem mit Auswirkungen auf die Lebensgrundlagen zu betrachten (vgl. Art. 20a des Grundgesetzes).

Vor dem geschilderten Hintergrund wurde in Karlsruhe-Neureut eine Messung der hydraulischen Leitfähigkeit mit der Doppelringinfiltrometrie nach DIN 19682-7:2015-08 vorgenommen.

Abb. 8: Aufnahme der Steinkleefläche am 17.7.2017 vom angrenzenden Sendemast aus. Der Autor des Textes markiert die tiefste Stelle mit den Wachstumsstörungen (vgl. Abb. 6) bzw. der hohen Verdichtung im Untergrund (s. tabellarische Übersicht auf S. 3)

Abb. 9: Bereich mit gutem Steinkleebewuchs am 17.07.2017, nach Ernte und Düngung mit Pferdemist

Abb. 8, fortgesetzt

Für die Messungen mit den Doppelringen wurden vom Bewirtschafter Hardy Stober 3.000 l Wasser zur Verfügung gestellt (s. Abb. 10). Die Messungen erfolgten über drei Stunden mit drei Wiederholungen.

Dabei wurde Wasser in einen äußeren und einen inneren Ring gegeben (s. Abb. 11). Das im äußeren Ring versickernde Wasser soll gewährleisten, dass die Wassersäule unter dem inneren Ring nicht an Breite zunimmt und so nicht durch horizontale Versickerung die Messergebnisse verfälscht.

Bedauerlicherweise gelang der Versickerungsversuch am Standort in Neureut nicht. Der Grund hierfür waren vermutlich Kaninchengänge im Untergrund, die eine horizontale Ausbreitung des Sickerwassers über dem stark verdichteten Boden, ermöglichten. Dies führt zu überhöhten Sickerwerten für die Bereiche unterhalb 30 cm.

Da die Bodenverhältnisse im Untersuchungsgebiet das Messen der hydraulischen Leitfähigkeit offen sichtlich nicht zulassen, sollen Beobachtungen von freiem Wasser nach Niederschlägen auf der Untersuchungsfläche und auf benachbarten Flächen zum Erfassen von Unterschieden in der Versickerung, bspw. zwischen Flächen mit und ohne Steinklee dienen.

Oberbodenaufnahme nach einer Vegetationsperiode Steinklee

Auf Grund eines Kommunikationsproblems in einem Einzelfall war trotz gewöhnlich guter Abstimmung zwischen Landwirt und dem Autor der Steinkleebestand zum Ortstermin am 17.10.2017 bereits geerntet. Darüber hinaus war die Fläche auf Grund eines innerbetrieblichen Missverständnisses mit Pferdemist gedüngt (vgl. Abb. 13 und nachfolgendes Kapitel). Eine Beprobung des Pflanzenbestandes war demnach nicht möglich. Angesichts der bereits bekannten Probleme beim Erfassen der hydraulischen Leitfähigkeit wurde zur Dokumentation des Steinklee-Effektes ein Oberbodenprofil aufgenommen (s. tabellarische Übersicht auf S. 10). Dabei ließ die charakteristische Verteilung von gelblichem und

Abb. 10: Beschicken der Doppelringinfiltrometer mit im Güllefass bereitgestelltem Wasser am 28.04.2017; im Hintergrund ist einer von drei Doppelringinfiltrometern zu erkennen

Abb. 11: Ablesen des Wasserstands während der Versickerung am 28.4.2017; das Stück Jutestoff verhindert Verschlämmen beim Befüllen der Doppelringe

Abb. 12: Bodenprofil der Steinkleefläche bis 45 cm Tiefe am 17.10.2017 Abb. 13: Auf den Steinkleebestand aufgetragener Pferdemist am 17.10.2017

Abb. 13: Auf den Steinkleebestand aufgetragener Pferdemist am 17.10.2017

Abb. 14: Aus dem Bodenprofil (Abb. 12) gewonnene Steinkleewurzel am 17.10.2017

bräunlichem Material (s. Abb. 12) erkennen, dass das Material unterhalb von 20 cm aufgeschüttet wurde, ohne dass es bisher mechanisch oder biologisch vollständig durchmischt wurde. Darüber hinaus ist die bereits unterhalb von 20 cm stark ansteigende Lagerungsdichte bemerkenswert. Dies kann auf eine Pflugsohlenverdichtung zurückzuführen

sein, die noch nicht durch die Steinkleedurchwurzelung aufgelöst wurde. Abb. 14 zeigt, dass die Steinkleepflanzen zwar Pfahlwurzeln von über 20 cm Länge ausbildeten, dementsprechend kam es unterhalb von 20 cm noch zu keinem eindeutig erfassbaren Lockerungseffekt.

Tabellarische Beschreibung des Bodenprofils

Horizont	bis cm	Textur	Steine Vol,%	Dichte g/cm³	Feuchte
Ol	+2	-	0	0,3	feucht
Ap1	8	Slu	5	0,8	feucht
Ap2	17	Slu	5	1,2	feucht
jM1	20	Slu	10	1,5	feucht
jM2	30	Slu	10	1,7	feucht
lC	>37	Slu	40	1,8	feucht

Horizont	Farbe	Humus Gew%	CO^{-}_{3} Gew%	Wurzeln Zahl/dm
Ol	10YR 2/2	90	0	0
Ap1	10YR 4/2	3	0,5	40
Ap2	10YR 5/2	2	0,5	20
jM1	10YR 4/2	3	0,5	20
jM2	10YR 4/2	3	1	40
lC	10YR 4/2	3	1	10

Horizont	Aggregierung	Bemerkung
Ap1	-	Pferdemist
Ap2	krümelig	-
jM1	kr.-subpol.	M2 subpolyedrisch lC subpolyedrisch -

Erläuterungen s. S. 2

Bewirtschaftungsmaßnahmen und Vegetationsentwicklung

Die Einsaat des Steinklees erfolgte am 2.5.2017 und damit noch in einem geeigneten Zeitraum. Zur Aussaat kam Saatgut der Firma Hofmann-Rieger aus Blaufelden, das von Wildpflanzen stammte und auf der Schwäbischen Alb vermehrt wurde.

Als Saatstärke wurde 3 g/m² gewählt. Zum Ausbringen mit der Sämaschine wurde das Saatgut mit etwa der gleichen Menge an Gerste und Schneckenkorn vermischt. Durch die Konkurrenz von Weißen Gänsefuß und Kamille war die Jugendentwicklung des Steinklees zögerlich, so dass Ende Juni ein Schröpfschnitt erforderlich wurde. Bei einer Begehung am 11. Juli 2017 war zu erkennen, dass im Bereich der verdichteten Senke die Konkurrenzkraft des Steinklees vergleichsweise am höchsten war (s. Abb. 15, etwa in der Bildmitte). Im August 2017 wurden 8 m³ Steinklee geerntet und kompostiert. Ebenfalls im August kam es dann versehentlich zum Umbruch eines Streifens am südlichen Rand des Versuchfelds, der dann wieder eingesät wurde (s. Abb. 16).

Zum zweiten Schnitt, Ende September (4,5 m³) erfolgte versehentlich eine Stallmistgabe. Im Oktober war der Anteil an Steinklee in dem stark verunkrauteten Bereich auf etwa 50% angestiegen.

Die bereits 2017 erkennbare starke Verunkrautung ist als kritischster Moment der Bestandesentwicklung des Steinklees in Karlsruhe-Neureut anzusehen. Hierdurch war sicher auch die Wurzelentwicklung 2017 begrenzt.

Abb. 15: Am 11.7.2017 stark verunkrauteter Steinkleebestand vor dem Schröpfschnitt

Bericht für das Versuchsjahr 2018

Die Bestandesentwicklung des Steinklees wurde 2018 durch Fotografien eines Spaziergängers dokumentiert, der regelmäßig vor Ort war (s. Abb. 18-23 und 25 bis 27). Hierfür sei Frau Bellm von der Stadt Karlsruhe gedankt, die Bilder des Spaziergängers regelmäßig zur Verfügung stellte.

Die Bestandesentwicklung 2018 ist mit den Bildunterschriften zu Abb. 18-27 dargestellt. Am 17.8.18 wurde im Bereich der Verdichtungsstelle („beanspruchten“ Stelle, s. Abb. 1-7) ein Bodenprofil angelegt, um zu erfassen inwiefern es zu einer Lockerung durch die Durchwurzelung mit Steinklee gekommen war. Der genannte Zeitpunkt wurde gewählt, da die Wurzelentwicklung des zweijährigen Steinklees danach keine weitere Lockerung mehr erwarten ließ.

Dabei erwies sich der Boden ab einer Tiefe von 45 cm als von Hand nicht regulär grabbar. Dennoch wurde durch intensives Hacken und Schaben eine Tiefe von 70 cm erreicht. Für den Bereich unterhalb von 45 cm wurde bei der Bodenansprache dann dementsprechend eine Dichte von mehr als 2 $g*cm^{-3}$ geschätzt. Eine Dichte, wie sie in natürlichen Böden nicht auftritt und nur durch technische Bodenverdichtung zu erreichen sein sollte. Eine technische Bodenverdichtung, die Werte von 2 $g*cm^{-3}$ erreicht oder knapp übersteigt, wird in der Verbindung mit einer Kalkung bei der Nutzung von Boden als Baugrund angewandt. Erstaunlicherweise waren jedoch keine erhöhten Kalkgehalte im verdichteten Boden festzustellen.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass Steinklee unter den gegebenen, eher ungünstigen Entwicklungsbedingungen nicht in der Lage ist Bodendichten von 2 $g*cm^{-3}$ und höher aufzulösen. Dabei ist zu ergänzen, dass derartige Bodendichten durch landwirtschaftliche Nutzung, bzw. Übernutzung im Unterboden kaum erreichbar sind.

Bei der Bewertung der Lockerungsleistung des Steinklees im vorliegenden Praxisversuch sind jedoch auch die ungünstigen Entwicklungsbedingungen zu beachten. Sie ergaben sich im Jahr 2017 durch einen Bewirtschaftungsfehler (Düngung mit großem Mengen an Pferdemist). Neben der Überdeckung des Steinklees kurz nach dem Schnitt mit großen Mengen an Mist, schädigte auch das Befahren des Bestandes mit schwerem landwirtschaftlichem Gerät für die Mistaufbringung. Die extreme Trockenheit im Jahr 2018 scheint jedoch kein Kokurrenznachteil für den Steinklee zu sein (vgl. Abb. 21).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass 2017 die Verdichtungs- und Vernässungsstelle einen Konkurrenzvorteil für den Steinklee darstellte. Im trockenen Jahr 2018 erwies sich Verdichtung und Vernässung als Konkurrenznachteil für den Steinklee.

Im günstigeren Fall, dass der Steinklee in der Lage ist Verdichtungen durch Durchwurzeln aufzulockern, müsste sich daraus ein Konkurrenzvorteil für das zweite Vegetationsjahr ableiten lassen. Dies sollte bei Verdichtungen bis etwa 1,8 $g*cm^{-3}$ der Fall sein. Zum Klären dieser Hypothese bedarf es jedoch der Auswertung von Feldbeobachtungen bzw. der Anlage von Exaktversuchen.

Die aufgeworfene Fragestellung gewinnt vor dem Hintergrund von Baumaßnahmen, wie die der geplanten Erdkabelverlegung, aktuell an Bedeutung.

Abb. 16: Bodenprofil der Verdichtungsund Vernässungsstelle am 17.8.18.

Abb. 17: Umgebung des in Abb. 17 gezeigten Bodenprofils am 17.8.18

Abb. 18: Am 4.1.2018 ist nach intensiven Niederschlägen eine Vernässungstelle die am tiefsten Punkt der Fläche erkennbar, dort wo auch die stärkste Verdichtung auftritt. Der diagonal durchs Bild laufende Streifen mit geringer Vegetationsentwicklung zeigt eine Steinkleenachsaat nach vorausgegangenem versehentlichem Umbruch im August 2017.

Abb. 19: Bis Ende März war keine Vegetationsentwicklung erkennbar.

An dem Klatschmohnaspekt in Abb. 20 ist der nachgesäte Bereich gut zu erkennen.

Abb. 20: Am 15.4.2018 zeichnet sich die Vernässungsstelle in der Bildmitte ab. Dort ist die Vegetation dichter, mutmaßlich ist der Gräseranteil dort stark erhöht. Im übrigen Bereich ist die Präsenz der Königskerze erkennbar, was auf den sich entwickelnden ruderalen Charakter Ackerfläche hinweist. Der Anteil des Steinklees wird auf 5% geschätzt.

Abb. 21 und 22: Auf den beiden Bildern vom 29.5.2018 ist eine vergleichsweise gute Entwicklung des Steinklees mit gelben Blütenständen zu erkennen. In beiden Bildern zeigt sich ein geringer Steinkleeanteil im Bereich der Vernässungstelle in der Bildmitte, bzw. rechts der Bildmitte. Die Deckung des Steinklees nimmt etwa 70% ein.

Abb. 23: 12.7.18 tritt der Steinklee beim Gesamteindruck von der Fläche nicht mehr ins Erscheinungsbild, ein Straußgras dominiert. Dennoch ist abgestorbener Steinklee mit Samenständen vorhanden (s. Umschlagbild und Abb. 22)

Abb. 24: Detail des abgestorbenen Steinkleebestands am 12.7.18.

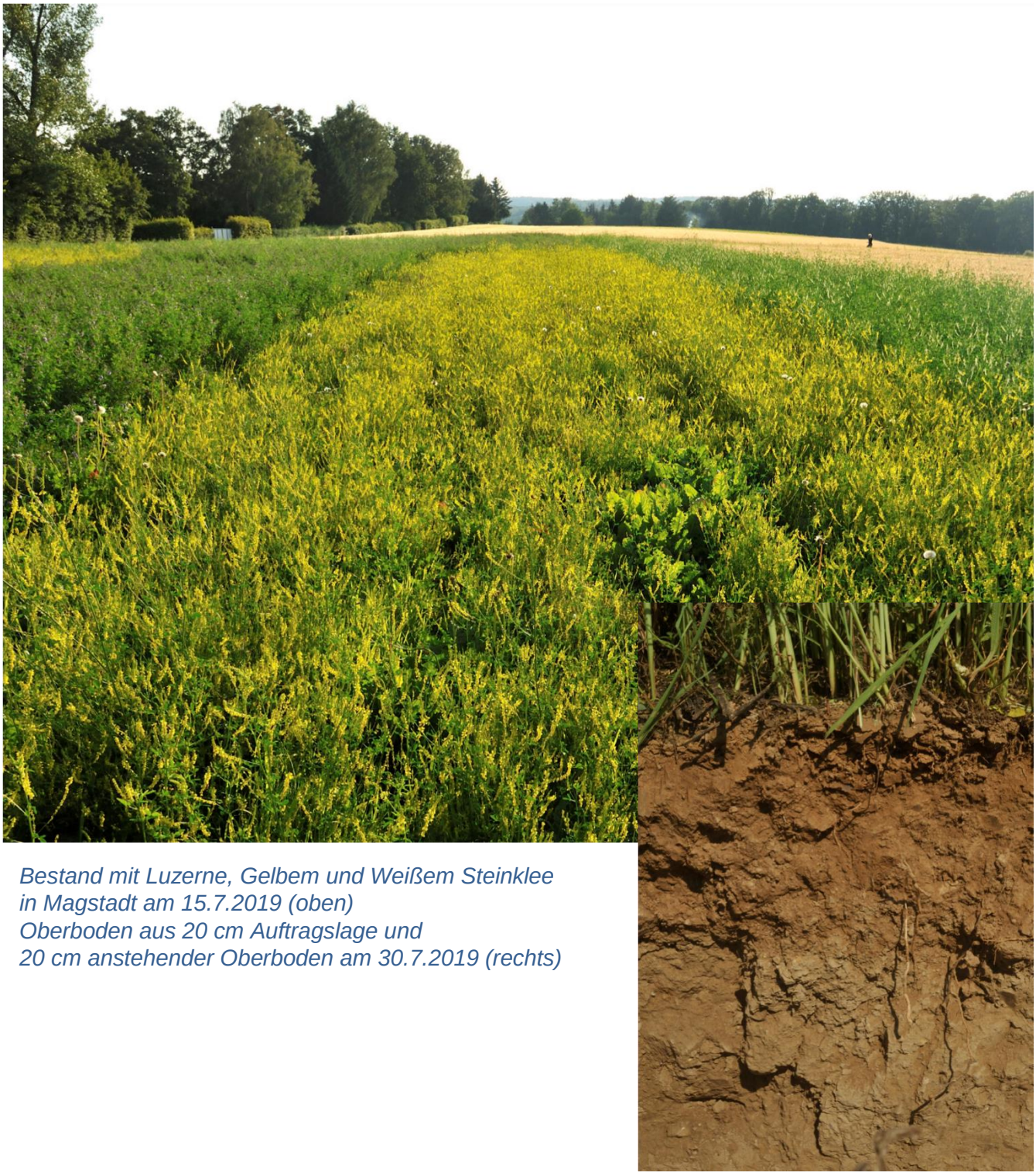
Abb. 25 und 26: Die beiden Abbildungen vom 28.8. und vom 4.9.18. zeigen den abgeernteten Pflanzenbestand. Auf beiden Bildern ist die Vernässungs- und Verdichtungstelle durch Grünfärbung zu erkennen. Im oberen Bild weist diese Stelle im Trockenjahr 2018 einen Kern mit kurz geschnittenem vertrocknetem Pflanzenaufwuchs auf.

Abb. 27: Am 17.10.18 ist der Steinkleebestand umgebrochen. Selbst nach Umbruch setzt sich die Vernässungs- und Verdichtungs stelle farblich ab

Bericht zum Einsatz von Steinklee zur Bodenlockerung nach Bodenauftrag in Magstadt für das Ansaatjahr 2018 und bis zum zweiten Aufwuchs im Jahr 2019

Dr. Andreas Lehmann
Fruwirthstraße 31
70599 Stuttgart
terra fusca PG
as@terra-fusca.de
für

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei
Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft
Dorfplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Januar 2020



Bestand mit Luzerne, Gelbem und Weißem Steinklee in Magstadt am 15.7.2019 (oben)
Oberboden aus 20 cm Auftragslage und 20 cm anstehender Oberboden am 30.7.2019 (rechts)

Vorbemerkung

Im Rahmen der Eingriffs-Ausgleichsregelung kommt es in Baden-Württemberg häufig zum Auftrag von Oberboden zur Bodenverbesserung (vgl. LUBW 2012). Rechtsgrundlage sind unter anderem §§ 14 und 15 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) sowie §§ 1a und 35 des Baugesetzbuches (BauGB).

Dementsprechend fand bei einer Baumaßnahme in Sindelfingen-Maichingen Oberboden Verwendung für den Bodenauftrag auf eine Ackerfläche. Der in Magstadt gelegene Acker mit geringer Ertragsfähigkeit wurde mit 20 cm Oberboden beaufschlagt. Da mit diesem Bodenauftrag die Verpflichtung zum dreijährigen Anbau von Pflanzen zur Förderung der Bodenstruktur verbunden war, wurde die Gelegenheit zum Versuchsanbau von Luzerne, Weißem und Gelbem Steinklee für die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern ergriffen.

Der Oberboden des Abtragsortes war mit einer Mächtigkeit von etwa 30 cm entwickelt und weist die Körnung schluffiger Lehm auf. Er wurde bis etwa 40 cm Tiefe abgetragen, dabei kam es zur vollständigen Vermischung des originären Oberbodens mit dem Material des Übergangbereichs zum Unterboden.

Der Auftrag in Magstadt, im Gewann Eckpfad erfolgte auf zwei Ackerflächen (vgl. Abb. 1 und 2). Diese werden nach Kriterien des biologischen Landbaus bewirtschaftet.

Die westliche Fläche (Eckpfad-West) erstreckt sich über die Flurstücke 4287 bis 4294. Um die Fläche führen rundherum Feldwege. Im Norden grenzt an die Fläche mit dem Feldweg an Wald an, im Süden an ein Gartengebiet, östlich und westlich grenzen Ackerflächen an. Die Fläche weist ein nach Norden zunehmendes Gefälle auf. Dementsprechend wurde bei der Beerntung die Versuchsfläche Eckpfahl-West ein ebener Teil Eckpfahl-West und einen hängiger Teil EckpfahlWest unterschieden.

Die östliche Fläche (Eckpfad-Ost) erstreckt sich über die Flurstücke 4321 bis 4326. Die Fläche grenzt im Westen, Osten und Süden an einen Feldweg an. Im Norden grenzt an die Fläche mit dem Feldweg ein Gartengebiet an, im Süden, Westen und Osten grenzen Ackerflächen an. Die Fläche ist nahezu eben.

Böden

Die Angaben zu den Böden sind http://maps.lgrbbw.de/ entnommen.

Eigene Bodenaufnahmen liegen vor, werden aber in der vorliegenden Fassung vom 31.1.2020 nicht dargestellt.

Abtragsfläche

Am Ort des Bodenabtrags (Sindelfingen-Maichingen) war eine „mittel tief bis tief entwickelte, erodierte Parabraunerde, örtlich pseudovergleyt“ ausgebildet. Das Ausgangsmaterial bildeten Löss und lössreiche Fließerden.

Die nutzbare Feldkapazität des Abtragsbodens war mit 170–190 mm sehr hoch. Die natürliche Bodenfruchtbarkeit wird mit hoch bis sehr hoch bewertet. Als Ausgleichskörper im Wasserkreislauf nimmt der Abtragsboden eine hohe Bedeutung ein.

Als Filter und Puffer für Schadstoffe wurde dem Abtragsboden eine hohe bis sehr hohe Bedeutung zugemessen.

Auftragsfläche

Der durch Oberboden zu verbessernde Boden wird als flach und mittel tief entwickelte, z. T. podsolige Braunerde, Braunerde-Ranker und Ranker-Braunerde angesprochen. Die Ausgangsmaterialen sind geringmächtige, lösslehmhaltige, z. T. steinige Fließerde (Decklage) über Sandstein der Schilfsandstein-Formation. Der Oberboden ist tonig.

Mit 40-80 mm nutzbarer Feldkapazität werden diese als sehr gering bis gering eingestuft. Die natürliche Bodenfruchtbarkeit gering ist mittel. Als Ausgleichskörper im Wasserkreislauf nimmt der Boden eine geringe bis mittlere Bedeutung ein. Seine Filterung und Pufferung von Schadstoffen ist gering.

Bei genauerer Betrachtung unterscheiden sich die Böden der beiden Versuchsflächen im Detail deutlich. Eckpfad-West weist sehr flachgründige Bereiche auf. Die Gründigkeit der tiefgründigeren Bereiche von Eckpfahl-West und die gesamte Fläche von Eckpfahl Ost entsprechen sich näherungsweise.

Abb. 1: Luftaufnahme nach Bodenauftrag und Leguminoseneinsaat vom 27.4.2018, die Versuchsflächen sind rot umrandet; Das Bild ist genordet, die Bildbreite entspricht etwa 550 m, Quelle: Google Earth

Abb. 2: Luftaufnahme im zweiten Bestandsjahr des Leguminosenversuchsanbaus am 24.4.2019, die Versuchflächen sind rot umrandet, die Versuchsparzellen sind zu erkennen, in Eckpfad Ost ist zudem das Transekt für die Wurzelzählung markiert (s. Text); das Bild ist genordet, die Bildbreite entspricht etwa 550 m, Quelle: Google Earth

Tabelle 1: Bodendichte im hängigen Bereich von Eckpfad-West nach Oberbodenauftrag zur Bodenverbesserung Ende März 2018

Leguminosenarten	**Jahr**	**Lagerungsdichte [g cm^{-3}]**	**Standard- abweichung**	**Variationskoeffizient [%]**	**Anzahl der Messungen**
Oberboden (etwa 0-20 cm)					
-	2018	1,54	0,07	4	8
Luzerne	2019	1,41	0,08	6	6
Steinklee		1,31	0,18	12	5
im Mittel über beide Arten		1,36	0,13	9	11
Unterboden (etwa 20-40 cm)					
-	2018	1,54	0,08	5	31
Luzerne	2019	1,58	0,13	12	5
Steinklee		1,47	0,16	11	8
im Mittel über beide Arten		1,51	0,15	10	13
Unterboden (etwa 40-60 cm)					
-	2018	1,45	0,19	13	8
Luzerne	2019	1,36	0,07	5	6
Steinklee		1,45	0,15	10	7
im Mittel über beide Arten		1,41	0,13	9	13

Bodenauftrag

Am Abtragsort wurde der Boden nach der Ernte 2017 nicht weiter bearbeitet. Zum Zeitpunkt des Bodenabtrags in der letzten Märzwoche 2018 war der Boden für einen Abtrag mit Bagger nach den Kriterien der DIN 19731 ausreichend abgetrocknet.

Am Auftragsort lag gepflügter Boden vor. Dadurch war die Stabilität des Bodens beim Befahren mit landwirtschaftlichen Muldenkippern deutlich herabgesetzt. Die Bodenfeuchte lag zum Zeitpunkt des Auftrags teilweise im Grenzbereich des Zulässigen, wie es die DIN 19731 definiert. Dies führte in Kombination mit dem durch Pflügen mechanisch instabilen Boden zu Strukturschäden. Die Verdichtungen waren im Bereich der Fahrgassen für die Anlieferungsfahrzeuge besonders ausgeprägt.

Methodik der Bodendichteerfassung

Nach dem Bodenauftrag wurde die Bodendichte mit Hilfe von Stechzylindern erfasst. Stechzylinder sind metallische Rohrabschnitte mit einem Hohlraumvolumen von 100 ml. Eine Seite des Rohres ist mit einer scharfen Kante versehen und erleichtert das Einschlagen des Zylinders mit einem Hammer in den Boden.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Beprobung im Bodenauftragsjahr und im Folgejahr (vgl. Abschnitt Ansaat). Die natürliche Streuung der Bodendichte ist so groß, dass mindestens vier Wiederholungen erforderlich sind. Die Beprobung erfolgte im Oberboden, im flachen und im tiefen Unterboden, um den gesamten Hauptwurzelraum zu erfassen. Beprobt wurden sowohl in als auch außerhalb der Fahrgassen, ausschließlich im hängigen Bereich von Eckpfad-West. Diese Einschränkung wurde getroffen, um die durch den Bodenauftrag am stärksten verdichteten Bereiche zu erfassen.

Variationskoeffizienten von über 10% zeigen an, dass die Zahl der Wiederholungsmessungen mit Stechyzlinder zu gering war. Dem gegenüber steht der relativ hohe Aufwand für diese Messungen, insbesondere bei ausgetrockneten bindigen Böden.

Zwei unplausible Messungen wurden aus dem Datensatz entfernt.

Bei einer gemeinsamen Verrechnung über die Leguminosenarten Luzerne und Steinklee treten Variationskoeffizienten von über 10 % auf.

Ergebnisse zur Bodendichte

Die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse zeigen zunächst eine im Folgejahr des Bodenauftrags stark abnehmende Bodendichte im Oberboden. Im Oberboden war die Luzerne dem Steinklee hinsichtlich der Lockerungswirkung überlegen.

Im Unterboden war nur bei der Betrachtung der

Bodendichte über beide Leguminosenarten eine Abnahme vom Jahr 2018 zum Jahr 2019 erkennbar. Dies trifft sowohl für den flachen, als auch den tiefen Unterboden zu.

Im flachen Unterboden (20-40 cm) war die Lockerung durch den Steinklee der durch die Luzerne überlegen. Im tieferen Unterboden war dagegen die Luzerne dem Steinklee hinsichtlich der Lockerung überlegen. Der letztgenannte Unterschied ist weniger deutlich ausgeprägt (0,9) als der beim flachen Unterboden (1,1). Eine weitreichende Interpretation der Ergebnisse für den tiefen Unterboden verbat sich auch aufgrund der geringen Zahl der Wurzeln, die diese Tiefe erreicht haben (vgl. Folgekapitel).

Exemplarische Zählung der Wurzeln

In Eckpfad West wurde entlang eines Transekts über eine Parzelle mit Weißem und Gelbem Steinklee die Zahl der Wurzeln je dm² gezählt. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 dargestellt.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die Zahl der Wurzeln des Weißen Steinklees bis in eine Tiefe von 30 cm höher sind als die des Gelben Steinklees. Unterhalb von 30 cm, bis in 60 cm Tiefe übertrifft jedoch die Zahl der Wurzeln des Gelben

Tabelle 2: Zählung der Wurzeln je dm² im Juni 2019 entlang eines Transekts über eine Parzelle mit Weißem und eine Parzelle mit Gelbem Steinklee in Eckpfad-Ost (s. Markierung in Abb. 2)

Tiefe [cm]	**Weißer Steinklee**					
	Reihe	**zwischen**	**Reihe**	**zwischen**	**Reihe**	**zwischen**
0-10	**13**	**5**	**8**	**7**	**6**	**4**
10-20	**12**	**7**	**5**	**8**	**11**	**5**
20-30	**5**	**3**	**5**	**0**	**6**	**2**
30-40	**1**	**2**	**2**	**2**	**3**	**4**
40-50	**1**	**1**	**3**	**2**	**1**	**3**
50-60	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**1**
[cm] von südl. Punkt	**0-20**	**20-40**	**40-60**	**60-80**	**80-100**	**100-120**

Tiefe [cm]		Gelber Steinklee				
	zwischen	Reihe	zwischen	Reihe	zwischen	Reihe
0-10	4	9	3	10	2	11
10-20	5	3	4	6	6	5
20-30	2	2	1	2	5	5
30-40	4	2	2	3	2	3
40-50	3	2	0	1	0	3
50-60	1	2	1	1	2	3
[cm] von südl. Punkt	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220

Tabelle 3: Ergebnisse der Beprobung des Zweiten Aufwuches auf den Eckpfad-Versuchsfeldern in Magstadt am 24.7.2019

Leguminosenart	Trockenmasse [g m^{-2}]	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Eckpfad West, ebener Teil			
Gelber Steinklee	124	16,0	13
Weißer Steinklee	123	15,7	13
Luzerne	119	10,8	9
Mittel über alle Arten	122	14,5	12
Eckpfad West, hängiger Teil			
Gelber Steinklee	124	26,7	21
Weißer Steinklee	103	17,3	17
Luzerne	200	37,4	19
Mittel über alle Arten	142	50,2	35

Eckpfad West, gesamt			
Gelber Steinklee	124	22,0	18
Weißer Steinklee	113	19,4	17
Luzerne	159	48,9	31
Mittel über alle Arten	133	39,1	30
Eckpfad Ost			
Gelber Steinklee	98	8,7	9
Weißer Steinklee	123	15,6	13
Luzerne	165	17,1	24
Mittel über alle Arten	129	30,9	24
Eckpfad, gesamt (Ost und West, hängig und eben)			
Gelber Steinklee	115	22,3	19
Weißer Steinklee	116	18,8	16
Luzerne	161	41,2	26
Mittel über alle Arten	131	36,1	28

Steinklees die Anzahl Wurzeln des Weißen Steinklees.

Allerdings liegt unterhalb von 30 cm die Zahl der Wurzeln je dm2 im Mittel noch unter 2.

Die Zahlen gestalten sich wie folgt:

Tiefe	Weißer-	Gelber Steinklee
[cm]	Zahl der Wurzeln dm^{-2}	
0-30	6,7	4,9 30-60
1,3	1,8	

Da es sich bei der Zählung um eine exemplarische Erhebung ohne Wiederholungen handelt, lässt sich nur eine allgemeine Tendenz zur besseren Durchwurzelung von Bodenverdichtungen durch den Weißen Steinklee ableiten. Die Durchwurzelungsfähigkeit des Gelben Steinklee scheint geringer als die des Weißen Steinklee zu sein.

Fazit zur Bodenlockerung durch Leguminosen

Der Steinklee war der Luzerne bei der Unterbodenlockerung nach starken Verdichtungen durch Bodenauftrag überlegen. Nach dem Bodenauftrag ist dem Standort eine mittlere Fruchtbarkeit zuzuschreiben.

Für verallgemeinerbare Aussagen ist jedoch eine mehr-ortige und mehrjährige Versuchsanstellung erforderlich.

Leguminosenansaat

Die Ansaat von Luzerne, Weißem und Gelben Steinklee erfolgte im Eckpfad-West und Eckpfad Ost jeweils mit vierfach wiederholten, randomisierten Parzellen.

Der Randomisationsplan, die Bonituren von Aufwuchs, Verunkrautung und Krankheitsbefall können in der vorliegenden Fassung vom 31.1.2020 nicht dargestellt werden.

Festzuhalten ist, dass der Auflauf der Leguminosen auf Grund von Frühjahrstrockenheit zögerlich erfolgte. Die aufgelaufenen Pflanzen standen dann unter großem Unkrautdruck, insbesondere durch Ampfer und Beinwell. Im Jahr 2018 behinderte Trockenheit die Pflanzenentwicklung.

Nach technisch einwandfrei verlaufender Ansaat im Jahr 2018 wurden mehrere Schröpfschnitte zur Unkrautbekämpfung durchgeführt.

Im Jahr 2019 war der erste Aufwuchs zur Beprobung vorgesehen. Auf Grund von Kommunikationsproblemen wurde der erste Aufwuchs vor der Beprobung geerntet und siliert. Die Ergebnisse der Aufwuchserfassung Probeschnitten auf mit 1m^2-Flächen ist in Tabelle 3 dargestellt. Ein Probeschnitt erfolgte für jede Parzelle.

Ergebnisse der Beprobung des zweiten Aufwuchses 2019

Die Ergebnisse der Beprobung des zweiten Aufwuchses 2019 sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Ungleichmäßigkeit des Aufwuchses zeigt sich, auch bei separater Betrachtung der Pflanzenarten, in zum Teil sehr hohen Variationskoeffizienten von bis zu 31%.

Das Ertagsniveau über alle Parzellen des Versuches mit zwei Versuchsfeldern und alle drei Leguminosenvarianten liegt bei 130 g m^2, allerdings deutet der hohe Variationskoeffizient auf systematische Unterschiede zwischen Versuchsfeldern und Leguminosenarten hin.

Bemerkenswert ist, dass der Weiße Steinklee seinen vergleichsweise höchsten Ertrag in den Parzellen mit dem durchschnittlich niedrigsten Ertrag im Mittel über die drei Pflanzenarten erreicht. Die Erträge aller drei Arten unterscheiden sich hier nicht nennenswert.

Bei Eckpfad West im hängigen Teil (mit dem höchsten Gesamtertrag) sind die Verhältnisse konträr zu den für den ebenen Teil beschriebenen Relationen.

Fazit zum Leguminosenaufwuchs

Kurz zusammen gefasst lässt sich festhalten: Je niedriger der Ertrag, desto geringer die Ertragsunterschiede zwischen den Leguminosenarten. Wobei die Ertragsstabilität des Weißen Steinklees bei wenig wüchsigen Standortsverhältnissen auffällt.

Literatur

LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2012): Das Schutzgut Boden in dernaturschutzrechtlichen Eingriffsregelung, 28. S.

http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/ servlet/is/106214/schutzgut_boden_naturschutzrechtlichen_eingriffsregelung.pdf?command=downlo adContent&filename=schutzgut_boden_naturschutzrechtlichen_eingriffsregelung.pdf am 31.1.2020.

Abb. 3: Aufwuchs von Steinklee (links) und Luzerne (rechts) im hängigen Teil von Eckpfad-West, am 24.10.2018

Abb. 4: Aufwuchs von Steinklee (links) und Luzerne (rechts) im hängigen Teil von Eckpfad-West, am 24.10.2018

Abb. 5: Verunkrautung des Steinklees im hängigen Teil von Eckpfad-West, am 11.11.2018

Abb. 6: Augenscheinlicher Ausfall von Steinklee im hängigen Teil von Eckpfad-West, am 11.11.2018, der Bestand erholte sich jedoch teilweise

Abb. 7: Situation in Eckpfad-Ost am 11.11.2018

Abb. 8: Situation im ebenen Teil von Eckpfad-West, am 24.4.2019

Abb. 9: Situation in Eckpfad-Ost am 24.4.2019

Abb. 10: Situation im ebenen Teil von Eckpfad-West, am 15.7.2019

Abb. 11: Stark verunkrauteter Bereich mit Weißem Steinklee im ebenen Teil von Eckpfad-West 15.7.2019

Abb. 12: Stark verunkrauteter Bereich mit Weißem Steinklee im hängigen Teil von Eckpfad-West 15.7.2019

Abb. 13: Gut entwickelte Leguminosenbestände im hängigen Teil von Eckpfad-West am 25.7.2019

Abb. 14: Stark verunkrauteter Bereich mit Weißem Steinklee im hängigen Teil von Eckpfad-West 15.07.2019