

Aus der Professur für Agrartechnologie und Verfahrenstechnik
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Untersuchungen zum Anbau und zur Verwertung von Steinklee

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae)
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von:

Dipl.-Ing. agr. Ines Ingeborg Bull
Huckstorf

Rostock, den 9. Oktober 2013

Gutachter:

Prof. em. Dr. Norbert Makowski

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Prof. Dr. Norbert Kanswohl

Universität Rostock, Professur für Agrartechnologie und Verfahrenstechnik

Prof. Dr. Olaf Christen

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Allgemeinen Pflanzenbau/
Ökologischen Landbau

Datum der Einreichung: 9. Oktober 2013

Datum der Verteidigung: 2. Oktober 2014

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	viii
Zusammenfassung	1
Summary.....	2
1 Einleitung und Zielstellung.....	3
2 Wissensstand.....	6
2.1 Pflanzenporträt.....	7
2.1.1 Merkmale und Eigenschaften	7
2.1.2 Standortansprüche.....	10
2.1.3 Entwicklungsphysiologie.....	12
2.1.4 Inhaltsstoffe	14
2.1.5 Züchtung – Sorten und Herkünfte	18
2.2 Nutzungshistorie	25
2.3 Nutzungsrichtungen.....	27
2.3.1 Futternutzung.....	27
2.3.2 Bodenverbesserung und Gründüngung/ Vorfruchtwert.....	27
2.3.3 Einsatz zur Biogasgewinnung.....	32
2.3.4 Bienenweide/ Honigproduktion.....	34
2.3.5 Samenbau.....	34
2.3.6 Thermische Verwertung	35
2.4 Anbauverfahren	35
2.4.1 Fruchtfolgestellung	35
2.4.2 Aussaat.....	38
2.4.3 Pflege/ Düngung	43
2.4.4 Krankheiten und Schädlinge.....	44
2.4.5 Ernte/ Schnitt	48
2.4.6 Konservierung/ Silage	49

2.4.7	Ertragspotential und Anbausicherheit.....	50
2.4.8	Anbau von Steinklee auf trockenen Sandböden	54
2.4.9	Anbau von Steinklee unter salinen Bedingungen	54
3	Aufgabenstellung	55
4	Material und Methoden.....	58
4.1	Fruchtfolgeversuch	64
4.2	Versuche zur Optimierung der Produktionstechnik.....	66
4.2.1	Herkunftsvergleiche.....	66
4.2.2	Aussaattermin	67
4.2.3	Kalkung.....	68
4.2.4	N-Düngung	68
4.2.5	Unkrautbekämpfung	69
4.2.6	<i>Sitona</i> spp.....	70
4.2.7	Praxisversuch.....	71
4.3	Ertragspotential/ Ertragsbildung.....	72
4.4	Vorfruchtwert und N-Fixierung.....	73
4.5	Inhaltsstoffe	74
4.6	Statistische Auswertungsverfahren.....	74
4.7	Silierversuche	75
4.8	Kalkulation der Methanausbeute	76
4.9	Gärversuche	77
5	Ergebnisse und Diskussion	79
5.1	Ergebnisse aus dem Fruchtfolgeversuch	79
5.1.1	Ertragsvergleich der Fruchtfolgen	79
5.1.2	Vergleich der Leguminosen: Steinklee – Luzerne.....	82
5.1.3	Fruchtfolgestellung: Vorfrucht – Steinklee	83
5.1.4	Fruchtfolgestellung: Steinklee – Nachfrucht	83
5.1.5	Fruchtfolgevergleich: Nachfrucht Silomais in Hauptfrucht- oder Zweitfruchtstellung.....	84

5.1.6	Fruchtfolgevergleich: Silomaisanbau nach einer Kleeernte oder zwei Steinkleeschnitte im 2. Jahr	85
5.2	Herkunft	87
5.2.1	Charakterisierung der geprüften Herkünfte	91
5.3	Produktionstechnik	95
5.3.1	Aussaattermin	95
5.3.2	Kalkung.....	96
5.3.3	N-Düngung	98
5.3.4	Unkrautbekämpfung/ Pflege	99
5.4	Ergänzende Beobachtungen zur Entwicklungsphysiologie aus den Versuchen	100
5.4.1	Winterhärte	101
5.4.2	Vergleich einjähriger und zweijähriger Formen	102
5.4.3	Ertragsbildung.....	103
5.5	Ertragspotential	105
5.6	Vorfruchtwert	109
5.7	N-Fixierung.....	114
5.8	Zum Auftreten von Krankheiten und Schädlingen, insbesondere von <i>Sitona</i> spp.....	117
5.9	Praxisversuch.....	124
5.10	Substratqualität	128
5.11	Silierversuche	132
5.12	Gärversuche	140
5.12.1	Methanerträge	160
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	162
7	Schlussfolgerungen.....	169
	Literaturverzeichnis	175
	Anhang	211

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Unterarten (ssp.), Ökotypen (oecot.) und Formen (f.) des Weißen Steinklees nach CYBOPOB (1950).....	8
Tab. 2: Rohrnährstoffgehalte und Verdaulichkeiten (VQ) für Weißen Steinklee und Luzerne (1. Schnitt).....	15
Tab. 3: <i>Melilotus albus</i> , Sortenbeschreibungen nach 1990	21
Tab. 4: <i>Melilotus officinalis</i> , Sortenbeschreibungen nach 1990.....	23
Tab. 5: Cumarinarmer Züchtungen von <i>Melilotus albus</i>	24
Tab. 6: Heizwert ausgewählter Biomassen.....	35
Tab. 7: Beschriebene Fruchtfolgestellungen und Nachfrüchte.....	36
Tab. 8: Beschriebene Saatzeiten für gemäßigte Breitengrade	40
Tab. 9: Bodenparameter vor Versuchsbeginn.....	58
Tab. 10: In den Versuchen verwendete Herkünfte von <i>Melilotus albus</i>	62
Tab. 11: In den Versuchen verwendetes Saatgut von <i>Melilotus officinalis</i>	63
Tab. 12: Anbauplan des Fruchtfolgeversuches.....	65
Tab. 13: Verwendete Sorten im Fruchtfolgeversuch.....	65
Tab. 14: Übersicht der Versuche zur Produktionstechnik	66
Tab. 15: Prüfvarianten und Aufwandmengen im Versuch zur Unkrautbekämpfung	69
Tab. 16: Bodenparameter vor Versuchsbeginn.....	72
Tab. 17: Untersuchungen in den kontinuierlichen Gärversuchen	79
Tab. 18: Erntetermine in der 1. und 2. Anlage	81
Tab. 19: Cumarinegehalt im Erntegut vom Herbstaufwuchs des Ansaatjahres	88
Tab. 20: Vergleich ein- und zweijähriger Wuchsformen	90
Tab. 21: Relatives Ertragsniveau im Herkunftsversuch (Drillsaat).....	91
Tab. 22: Prüfvarianten und pH-Werte des Bodens im Parzellenversuch (Kalkung)	96
Tab. 23: Prüfvarianten und pH-Werte des Bodens im Gefäßversuch.....	97
Tab. 24: Erträge, TS- und N-Gehalt im ersten Vegetationsjahr in Abhängigkeit von der Kalkung (Gefäßversuch)	97
Tab. 25: Erträge in Abhängigkeit von der Kalkung (Parzellenversuch).....	98
Tab. 26: Ertrag im Ansaatjahr in Abhängigkeit von einer N-Düngung zur Saat.....	98
Tab. 27: Ertrag im Ansaatjahr nach unterschiedlicher Unkrautbekämpfung	100
Tab. 28: Angaben zur Wurzelmasse des Steinklees in der Literatur	109
Tab. 29: Wurzelmasse zu verschiedenen Terminen, Herkunft UKR, Gülzow.....	112
Tab. 30: Angaben zum Stickstoffertrag zweijähriger Formen des Steinklees in der Literatur	115
Tab. 31: Ergebnisse der Ertragsschätzung im Praxisversuch	126

Tab. 32: Mögliche Erntetermine beim Steinklee: Schnittzeit, Stoppellänge, Technik.....	128
Tab. 33: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees nach Frühlingsblanksaat in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium.....	129
Tab. 34: Inhaltsstoffe im Erntegut ein- und zweijähriger Herkünfte im Herbst des ersten Vegetationsjahres nach Frühlingsblanksaat.....	130
Tab. 35: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees im Herbst des zweiten Vegetationsjahres in Abhängigkeit von der Herkunft.....	131
Tab. 36: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	132
Tab. 37: Charakterisierung der Erntesubstrate	133
Tab. 38: Beschreibung der Siliervarianten im ersten Silierversuch.....	134
Tab. 39: Charakterisierung der Substrate zu Silierbeginn	135
Tab. 40: Bewertung der Gärqualität nach verschiedenen Methoden (DLG 1999; DLG 2006) und Gärverluste der Laborsilagen.....	135
Tab. 41: Gärsäuregehalte und Kennwerte der Gärqualität der Laborsilagen	136
Tab. 42: Charakterisierung der Erntesubstrate für den zweiten Silierversuch	137
Tab. 43: Beschreibung der Siliervarianten für den zweiten Gärversuch	137
Tab. 44: Bewertung der Gärqualität nach verschiedenen Methoden (DLG 1999; DLG 2006), Gärverluste und Cumaringehalte der Silagen	138
Tab. 45: Gärsäuregehalte und Kennwerte der Gärqualität der Silagen	139
Tab. 46: Zusammensetzung und Benennung der Substratvarianten im kontinuierlichen Gärversuch	140
Tab. 47: Parameter der eingesetzten Substrate und Substratmischungen.....	142
Tab. 48: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2010.....	153
Tab. 49: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2011.....	154
Tab. 50: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2012.....	155
Tab. 51: Mittleres Methanbildungspotential von Steinklee (Weißbach-Methode) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanzen	155
Tab. 52: CSB-Werte vor und nach der Fermentation und nach der Ausgärungsphase und Cumaringehalte der Gärreste.....	159
Tab. 53: Spezifisches Methanbildungspotential und Methanertrag der ertragreichsten Herkunft (KRAJOVA) im Herkunftsversuch	160
Tab. 54: Spezifische Methanbildungspotentiale und Methanerträge der Ernteschnitte im Fruchtfolgeversuch, 1. Anlage	161
Tab. 55: Spezifische Methanbildungspotentiale und Methanerträge der Ernteschnitte im Fruchtfolgeversuch, 2. Anlage	161

Tab. 56: Methoden der Laboranalysen und Abkürzungen der Parameter	211
Tab. 57: Biomasseerträge des Steinklees in den Herkunfts- und Saatzeitversuchen nach Drillsaat.....	213
Tab. 58: Biomasseerträge des Steinklees in den Herkunftsprüfungen nach Pflanzung.....	214
Tab. 59: Angaben zum Biomasseertrag von Steinklee in der Literatur.....	215

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Biosynthese von Cumarin und Dicumarol	17
Abb. 2: Typische U-förmige Fraßstellen am Blattrand (links und Mitte) und Jungpflanze im empfindlichen Stadium (rechts).....	46
Abb. 3: Witterungsverlauf am Standort Gülzow in den Jahren 2009 - 2012	60
Abb. 4: schematische Darstellung eines Bodenelektors.....	70
Abb. 5: Kumulierter Biomasseertrag der geprüften Fruchtfolgeglieder	80
Abb. 6: Kumulierte Erträge der Fruchtfolgeglieder, unterteilt nach Fruchtarten und Ernteschnitten.....	81
Abb. 7: Abhängigkeit des Ertrags im Ansaatjahr von der Herkunft bei Frühjahrsblanksaat.....	87
Abb. 8: Anteil der Einzelschnitte am Gesamtertrag nach Frühjahrsblanksaat.....	87
Abb. 9: Abhängigkeit des Ertrags im Ansaatjahr von der Herkunft	88
Abb. 10: Bestand im 2. Vegetationsjahr: Parzelle mit einjährigen (links) und zweijährigen (rechts) Herkünften	89
Abb. 11: Kumulierter Trockenmasseertrag (2 Schnitte) in Abhängigkeit von der Unkrautbekämpfung.....	100
Abb. 12: unterschiedliche Wurzel Ausbildung einjähriger (links) und zweijähriger (rechts) Herkünfte, Aufnahme nach Winter	102
Abb. 13: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (ШУКИС & ГУРКОВА 2006).....	103
Abb. 14: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Fruchtfolgeversuch, 2010-2011, UKR).....	104
Abb. 15: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Herkunftsprüfung, 2010-2011, UKR).....	104
Abb. 16: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Herkunftsprüfung, 2011-2012, UKR).....	104
Abb. 17: Biomasseerträge des Steinklees, gruppiert nach Aussaatvarianten und Ernteterminen	108
Abb. 18: Biomasseerträge des Steinklees in den Versuchen 2008-2012	108
Abb. 19: Entwicklung der Wurzelmasse von <i>M. albus</i> im Vegetationsverlauf	112
Abb. 20: Entwicklung des Wurzel-Spross-Verhältnisses von <i>M. albus</i> im Vegetationsverlauf.....	113

Abb. 21: Pflanzen mit N-Mangel-Symptomen (links) und gesunde Jungpflanzen (rechts) bei gleichem Aussaattermin	118
Abb. 22: Anzahl der mit 4 bzw. 6 Eklektoren in überwinterten Beständen gefangenen <i>Sitona</i> -Käfern	120
Abb. 23: Fraßaktivität von <i>Sitona</i> -Käfern an den Blättern von überwinterten Steinkleepflanzen in 4 bzw. 6 unterschiedlichen Parzellen.....	120
Abb. 24: Anzahl der mit 6 Bodenelektoren in neuausgesäten Beständen gefangenen <i>Sitona</i> -Käfern	123
Abb. 25: Fraßaktivität von <i>Sitona</i> -Käfern an den Blättern von neuausgesäten Steinkleepflanzen in 6 unterschiedlichen Parzellen	123
Abb. 26: unterschiedliche Jungpflanzenentwicklung auf einem Schlag	125
Abb. 27: Einfluss einer Sandüberwehung im Keimpflanzenstadium auf die Länge des Hypokotyls, die Blatt- und Wurzelentwicklung	125
Abb. 28: Substratzugabe und Methanproduktion, Gärversuch 2010	147
Abb. 29: Substratzugabe und Methanproduktion, Gärversuch 2011	148
Abb. 30: Substratzugabe und Methanproduktion, Gärversuch 2012	149
Abb. 31: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2010	150
Abb. 32: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2011	151
Abb. 33: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2012	152
Abb. 34: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2010	156
Abb. 35: FOS/ TAC im Gärversuch 2010	156
Abb. 36: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2010	156
Abb. 37: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2011	157
Abb. 38: FOS/ TAC im Gärversuch 2011	157
Abb. 39: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2011	157
Abb. 40: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2012	158
Abb. 41: FOS/ TAC im Gärversuch 2012	158
Abb. 42: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2012	158
Abb. 43: Abbaugrad der zugeführten oTS im Gärrest	159

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADE	Tschechische Sorte „Adela“, Weißer Steinklee
ARG	Argentinische Herkunft, Weißer Steinklee
BBCH	Code der Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen
BEL	Tschechische Sorte „Bela“, Weißer Steinklee
BIE	Deutsche Sorte „Bienenfließ“, Weißer Steinklee
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DM	dry matter
DüV	Düngeverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
FOS	flüchtige organische Säuren
FOS/ TAC	Parameter zur Bewertung des Biogasprozesses
FoTS	fermentierbare organische Substanz (nach Weißbach)
G	Galega
GD	Grenzdifferenz
GELB	Deutsche Herkunft des Gelben Steinklees
GPS	Ganzpflanzensilage
GQ	Gärqualität
GÜ	Gülzower cumarinarmer Zuchtstamm, Weißer Steinklee
GV	Gärverlust
HPLC	high performance liquid chromatography
IPK	Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung
KAN	Kanadische Herkunft, Weißer Steinklee
KRA	Tschechische Sorte „Krajova“, Weißer Steinklee
KUS	Estnische Sorte „Kuusiku 1“, Weißer Steinklee
LALLF	Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei MV
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV
M	Mais
MSB	Milchsäurebakterien
n	Anzahl
n. b.	nicht bestimmt
N _{min}	pflanzenverfügbare mineralischer Stickstoff im Boden
NFE	N-freie Extraktstoffe
NSL	Neuseeländische Herkunft, Weißer Steinklee

oTM	organische Trockenmasse
oTS	organische Trockensubstanz
PG	Prüfglied
PK	Pufferkapazität (von Biomasse)
RA	Rohasche
RFa	Rohfaser
RFe	Rohfett
SE	Standardfehler
SK	Steinklee
spp.	species pluralis
ssp.	subspecies
TAC	Wert zur Beschreibung der Karbonatkonzentration
Tab.	Tabelle
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse
TM _k	Trockenmasse, korrigiert auf flüchtige Substanzen
TS	Trockensubstanzgehalt
UKR	Ukrainische Herkunft, Weißer Steinklee
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VK	Vergärbarkeitskoeffizient (zur Silierfähigkeit)
VQ	Verdaulichkeit der Rohnährstoffe
WWF	World Wildlife Fund
XA	Rohasche (in den Formeln zur Berechnung der FoTS)
XF	Rohfaser (in den Formeln zur Berechnung der FoTS)
z. T.	zum Teil

Zusammenfassung

Unter den aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden auf den trockenen Sandstandorten Norddeutschlands nur sehr wenige Fruchtarten angebaut. Bekannte Probleme enger Fruchtfolgen verstärken sich in diesen Regionen durch das insgesamt niedrige Ertragsniveau und das Fehlen bodenfruchtbarkeitsfördernder Kulturen.

Weißer und Gelber Steinklee (*Melilotus albus* und *M. officinalis*) sind tiefwurzelnde überwinternde Leguminosen, die auch auf Sandböden und bei niedrigen Jahresniederschlagsmengen hohe Erträge bringen können. Ihre Einbeziehung in die Fruchtfolge fördert den Humusaufbau, verbessert die Bodenstruktur, verringert den Bedarf an N-Düngern und erhöht die Artendiversität. Blühende Bestände sind eine hervorragende Bienenweide. Der Anbau als Energiepflanzen für Biogasanlagen ermöglicht ihre wirtschaftliche Verwertung. Für die moderne Tierfütterung ist cumarinreicher Steinklee nicht geeignet.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht in der Beschreibung der Kulturpflanze Steinklee und der Ermittlung der Anbau- und Nutzungsmöglichkeiten unter den heutigen Produktionsbedingungen. Dafür wurden neben einer Literaturrecherche Feldversuche zur Produktionstechnik und zur Einordnung in die Fruchtfolge durchgeführt. In den Versuchen standen die Aussaatzeit, die Kalkung und die Pflege der Bestände, das Fruchtfolgeglied Steinklee-Silomais und Herkunftsprüfungen im Vordergrund. Empfehlungen zum Umgang mit *Sitona* spp. erfolgen auf der Grundlage von ergänzenden Beobachtungen zum Auftreten dieser gefährlichen Schädlinge. Außerdem wurden die Siliereigenschaften von Steinkleebiomasse und ihr möglicher Einsatz zur Biogasgewinnung im Labormaßstab geprüft.

Bei Beachtung der besonderen Anforderungen und Eigenschaften des meist zweijährigen Steinklees kann Biomasse von 25 - 80 dt TM ha⁻¹ im Ansaatjahr und 100 - 150 dt TM ha⁻¹ im Hauptnutzungsjahr geerntet werden. Das entspricht Methanerträgen von ca. 1200 - 2850 m³ CH₄ ha⁻¹ und ca. 3000 m³ CH₄ ha⁻¹.

Untersuchungen der wertgebenden Inhaltsstoffe belegen die starke Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanzen. Bekannte Futtermitteltabellenwerte wurden bestätigt und können um Angaben zu den Terminen „vor Überwinterung“, „vor dem Knospenstadium“, „Knospenstadium“ und „nach der Vollblüte“ ergänzt werden.

Aufgrund seiner kurzen Kulturdauer ist Steinklee gut für eine Einordnung in Ackerbaufruchtfolgen geeignet. Sowohl aus Ansaaten im März/ April als auch nach einer Grünroggenernte Anfang Mai können sich leistungsstarke Bestände entwickeln. Aussaattermine nach Anfang Juli bleiben ertraglich unbefriedigend. Termine zwischen Mitte Mai und Anfang Juli, Untersaaten und Gemenge wurden nicht geprüft.

Die Wahl des Umbruchtermins der Steinkleekultur kann sehr flexibel gehandhabt werden. Es sind im zweiten Vegetationsjahr des Steinklees alle Varianten der Nachfruchtstellung (Hauptfrucht, frühe Zweitfrucht, späte Zweitfrucht, Sommerzwischenfrucht, Winterung) möglich. Mit Beginn der Vollblüte hat der Steinklee sein Biomassemaximum erreicht. Spätere Erntezeitpunkte sind aus ertraglicher Sicht nicht sinnvoll. Frühe Umbruchtermine führen zu höheren N-Rückständen für die Nachfrucht. Steinklee ist wegen der intensiven Durchwurzelung des Bodens und der N-Fixierung eine günstige Vorfrucht für Mais.

Summary

Under current economic conditions only a few crops are grown on dry sandy soils in northern Germany. Known issues of crop rotations with high proportion of maize increase because of the low yield level in this regions and the absence of crops with positive effects for the soil fertility.

White and yellow sweet clover (*Melilotus albus* and *M. officinalis*) are deep-rooted overwintering legumes with high biomass yields on sandy soils with low precipitation. The cultivation of sweet clover promotes humus formation, improves soil structure, reduces the need of nitrogen-fertilizer and increases biodiversity. The biomass can be used as energy plant for biogas-fermentation. It is not suitable for modern animal nutrition.

The objective of literature review and field experiments was the description of the growth of sweet clover and cultivation methods. Origin tests, trials for sowing time, liming, weed control, nitrogen-fertilization and the follow crop maize were the basis for cultivation recommendations. The occurrence of sweet clover weevils was observed for two years. Also experiments for ensiling and biogas fermentation were carried out with sweet clover biomass.

This work assesses the yield potential of biennial sweet clover of 25 – 80 dt DM ha⁻¹ in the first year and 100 – 150 dt DM ha⁻¹ in the second year. This corresponds to methane yields of 1200 - 2850 m³ CH₄ ha⁻¹ and about 3000 m³ CH₄ ha⁻¹.

Essential ingredients depend on the development of the plants. Known data listed in feed tables were validated. Data for the stages „before winter“, „before bud“, „bud“ and „after flowering“ were added.

Because of its short life cycle sweet clover is ideal for arable crop rotations. It grows well if it is sown between March and May. Sowing on dates later than the beginning of July has low yields in first and second year. Cover crops, mixed seed and sowing dates between mid-May and beginning of July were not tested.

Sweet clover can be terminated at variable dates. The subsequent crop can sow between spring and autumn. Sweet clover has its maximum growth at full bloom stage in the second year. Later harvests give lower biomass yield. Early termination dates give more N-yield for the following crop but lower sweet clover biomass. Sweet clover has a good preceding crop effect for subsequent maize crop.

1 Einleitung und Zielstellung

Die Biogaserzeugung ist ein wichtiger Bestandteil im Energiekonzept der Bundesrepublik Deutschland. Da Silomais mit hohen Erträgen, kostengünstig und mit bewährter Technologie angebaut werden kann, dominiert sein Einsatz als Kosubstrat mit fast 80% der in Biogasanlagen eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe (FNR 2012). Die Ergebnisse des Projektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA), in dem verschiedenste Energiefruchtfolgen miteinander verglichen werden, bestätigen die ökonomische Vorzüglichkeit von Energiefruchtfolgen mit hohem Silomaisanteil (REUS 2011).

Probleme einseitiger Biomassefruchtfolgen

Mit der Zunahme der Maisanbauflächen sind in den letzten Jahren Probleme deutlich geworden, die durch eine übermäßige Verengung der Fruchtfolge verursacht werden. Besonders in Regionen mit hoher Biogasanlagenkapazität und dort, wo zusätzlich Mais für die Tierfütterung anbaut wird, kann der Maisanteil kritische Werte in der Fruchtfolge und in der Feldflur übersteigen und zu einer Verringerung der Biodiversität mit langfristigen nachteiligen Auswirkungen auf die Agrarökosysteme führen. Außerdem sinkt durch die Vereinheitlichung der Landschaftsräume die Akzeptanz des Energiepflanzenanbaus bei der Bevölkerung.

Hohe Anbaukonzentrationen einer Fruchtart begünstigen die Ausbreitung artspezifischer Schädlinge und Krankheiten. Zurzeit sind es Maiszünsler und Maiswurzelbohrer, die sich in maisdominierten Fruchtfolgen in Deutschland ausbreiten. Auch Fusarien müssen in diesem Zusammenhang beachtet werden, die bis in nachfolgende Getreidekulturen (v.a. Weizen) schädigend wirken. Problemunkräuter können sich vermehren. Eine Diversifizierung der Anbaufolgen in zeitlicher und räumlicher Dimension wird deshalb gefordert (KARPENSTEIN-MACHAN & WEBER 2010; MEISS 2010; MÜLLER et al. 2013).

Im Vergleich zu anderen Kulturbeständen sind Maisfelder besonders anfällig für Wasser- und Winderosion. Dieser Gefährdung kann durch spezielle Anbautechniken in Grenzen begegnet werden. Tatsächlich bedeutet ein hoher Maisanteil aber in der landwirtschaftlichen Praxis ein erhöhtes Erosionspotential (LUNG 2002).

„Mais wird in den gängigen Modellen zur Humusbilanzierung als stark humuszehrend bewertet“ (STRAUB et al. 2009). Auch wenn diese Einschätzung zur Zeit kritisch diskutiert wird, ist die Gefahr einer negativen Humusbilanz in maisdominierten Fruchtfolgen vorhanden (TLL 2009; PETERS 2010; GURGEL & STÖLKEN 2011). STRAUB et al. (2009) fordern deshalb auch für den Energiepflanzenanbau die Einhaltung von Fruchtfolgegrundsätzen, nach denen „immer sogenannte tragende Fruchtarten, in der Regel Blattfrüchte (z. B. Zuckerrüben, Kartoffeln oder Raps) oder mehrjähriges Ackergras bzw. Gras-Leguminosen-Gemenge sowie Hülsenfrüchte mit abtragenden Fruchtarten (in der Regel Halmfrüchte) kombiniert werden.“

Probleme trockener Sandböden

Unter den Standortbedingungen trockener Sandböden treten weitere Schwierigkeiten auf. Es handelt sich um humusarme Böden ohne Grundwassereinfluss, deren Wasserspeicherkapazität gering ist, und Standorte mit geringen Jahresniederschlagsmengen (um 500 mm). Wasser stellt hier den hauptsächlich ertragsbegrenzenden Faktor dar. Damit hängt die Ertragsbildung in besonderem Maße von der Jahreswitterung ab. Die witterungsbedingten Ertragsschwankungen sind auf den sandigen Böden trockener Lagen aus diesem Grund wesentlich größer als auf besseren Böden und in feuchten Lagen. Aufgrund ihrer Körnungsstruktur neigen viele Sandböden zur stärkeren Dichtlagerung als andere Böden. Verdichtungen in der Pflugsohle und im Unterboden grenzen Wachstum und Entwicklung der meisten Feldfrüchte häufig weiter ein.

Während auf den mittleren und guten Ackerböden der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit trotz hoher Entnahmemengen von Biomasse gewährleistet werden kann, bewirkt die gleiche Produktionsweise auf grundwasserfernen Sandböden erhebliche Probleme bei der Humusreproduktion. Die erzielbaren Gesamterträge sind hier zu gering, um die Humusbilanz eines Maisanbaus in der Fruchtfolge allein über die Strohrückführung in Folgejahren auszugleichen. Auch eine nur geringe Tierhaltung und der damit verbundene Umfang des Feldfutterbaus kann die Bilanz nicht ausgleichen (MAKOWSKI 2004a).

Das Artenspektrum der angebauten Kulturpflanzen auf Sandböden Nordostdeutschlands hat sich in den letzten 50 Jahren stark reduziert (LITTERSKI 2005). Der Hauptgrund sind die veränderten Wirtschaftsbedingungen, die auch den Rückgang der Viehbestände und parallel der Futteranbaufläche begründen. Die Ausbreitung der Anthracnose bedingte den Ausfall der Gelben Lupine (*Lupinus luteus* L.), eine für die Bodenfruchtbarkeit dieser Böden wichtige Art. Heute werden auf diesen Standorten vorrangig Mais und Winterroggen - in geringem Umfang noch Hirse und Triticale - angebaut, da nur mit diesen ausreichend hohe und sichere Erträge erzielt werden.

Anbau von Biomasse zur Biogasproduktion auf trockenen Sandstandorten

„In der Praxis muss es das Ziel sein, die Wasserreserven der [Sand-]Standorte optimal zu nutzen. Grundvoraussetzung dafür ist, dass sich die Böden in einem optimalen Kulturzustand befinden. Dazu gehört eine ausgeglichene Humusbilanz, die in Abhängigkeit von der organischen Düngung in engen Silomaisfruchtfolgen negativ ausfallen kann. Bodenverdichtungen müssen verhindert bzw. gebrochen werden, damit die Maiswurzeln den Boden tiefreichend erschließen können. Die Bodenbearbeitung zu Mais muss wasserschonend erfolgen, damit der Mais die Winterniederschläge optimal nutzen kann“ (ERHARDT 2011). Die organische Düngung und die Mengen an Wurzel- und Ernterückständen haben den größten positiven Effekt auf die Gehalte an organischer Bodensubstanz auf Sandböden (ELLMER & BAUMECKER 2008).

Eine wichtige Maßnahme, den o. g. Problemen zu begegnen, ist die Eingliederung des Maisanbaus in mehrgliedrige Fruchtfolgen. Schon 2006 formulierten DLG und WWF in einem gemeinsamen Positionspapier zur Nachhaltigkeit der Bioenergienutzung die Notwendigkeit, das Kulturartenspektrum zu erweitern und entsprechende Anbausysteme zu entwickeln (DLG & WWF 2006). Während auf den besseren Böden dafür eine Reihe von bewährten Kulturpflanzen zur Verfügung stehen (FNR 2011), fehlt auf den grundwasserfernen Sandstandorten eine ökonomisch nutzbare und Bodenfruchtbarkeit aufbauende Pflanzenart.

Einen ersten Hinweis auf eine mögliche Eignung des Steinklees für diese Aufgaben lieferte MAKOWSKI (2004b). Nach einer Prüfung verschiedener Arten in Rein- und Mischkultur mit dem Ziel der Erweiterung des Artenspektrums im Energiepflanzenanbau, kommt DIETZE (2010) zu dem Schluss, dass „der Bokharaklee¹ auf den Sandböden wieder Anbauberechtigung erhalten [dürfte], da er als massenwüchsige Leguminose für Low-Input-Systeme prädestiniert scheint.“ Bei Vergleichen der Kulturen nach ökonomischen Kriterien und nach der Energieeffizienz schnitten die Varianten Bokharaklee (Weißer und Gelber Steinklee) und Mischungen mit Bokharaklee günstig ab, da die Stickstoffdüngung als bedeutende Inputgröße stark reduziert oder ganz weggelassen werden kann (DIETZE 2010). Besonders bemerkenswert ist dabei, dass der Vergleich für alle Kulturen nur auf das Aussaatjahr bezogen wurde und somit die Vorteile einer zweijährigen Nutzung des Steinklees nicht berücksichtigt wurden.

Mit dem Steinklee wurde eine Pflanze wiederentdeckt, mit der vor Jahrzehnten auf grundwasserfernen Sandstandorten hohe Erträge erzielt wurden. Auch wenn das Ertragsniveau auf besseren Böden ansteigt, fällt der Ertragsunterschied zu leichten Böden deutlich geringer als bei den herkömmlichen Futterleguminosen aus (WILLARD 1926).

¹ Bokharaklee ist ein anderer Name für den Weißen Steinklee „*Melilotus albus*“ vgl. Abschnitt 2.1

Steinklee ist auf diesen Standorten die einzige überwinternde und nach dem Wegfall der Gelben Lupine die einzige tiefwurzelnde Leguminose (VETTER & SCHARAFAT 1964). Er gilt als eine besonders effektive Pflanze bezüglich Stickstofffixierung und Verbesserung der Bodenstruktur. Durch die intensive Durchwurzelung und Lockerung von Verdichtungen mit einer durchdringenden Pfahlwurzel kann die nachfolgende Bodenbearbeitungsintensität reduziert werden (Organic Agriculture Centre of Canada 2008). Mit dem Anbau von Steinklee kann „die Humusbilanz deutlich verbessert werden. So könnte auch in viehlosen Betrieben erstmalig Biomasse auf Dauer zur Energiegewinnung ohne Beeinträchtigung der Humusbilanz erzeugt werden“ (SCHELUTO et al. 2007).

Zielstellung

Mit der vorliegenden Arbeit soll zum einen das verlorengegangene Wissen zur landwirtschaftlichen Nutzung des Steinklees zusammengestellt werden. Eine umfangreiche Literaturrecherche liefert deshalb die Grundlage für die Beschreibung dieser Kulturpflanze und ihres Anbaus. Zum anderen dienen Feldversuche zu Fragen der Fruchtfolgestellung und der Produktionstechnik der Anpassung des Produktionsverfahrens an die Bedingungen der modernen Landwirtschaft. Außerdem sollen das Potential und die Einsatzgrenzen einer Nutzung von Steinklee als nachwachsender Rohstoff für die Biogasproduktion und als Gründüngungspflanze für trockene Sandstandorte unter den Bedingungen der modernen Landwirtschaft geprüft werden. Zum Einsatz von Steinkleebiomasse im Biogasprozess liegen bisher fast keine Erfahrungen vor. Mit Silierversuchen sollen ältere Erfahrungen zur Silierbarkeit verifiziert werden. Gärversuche im Labormaßstab dienen der Einschätzung des Methanbildungspotentials und der Beschreibung des Gärprozesses. Schließlich geht es auch um den Erhalt einer vergessenen Kulturpflanze. Die Förderung des Projektes erfolgte durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe.

2 Wissensstand

Der allgemeine Kenntnisstand über den Steinklee ist im Vergleich zu anderen landwirtschaftlich genutzten Arten gering. In modernen deutschen Monografien zu Futterbaukulturen, in denen der Steinklee überhaupt Erwähnung findet, sind die Angaben knapp und lückenhaft (VOIGTLÄNDER et al. 1987; SNEYD 1995; LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b; HOF & RAUBER 2003; KOLBE et al. 2006). In vielen aktuellen Standardwerken des Pflanzenbaus wird der Steinklee gar nicht behandelt. Der Zeitraum der 1930er bis 1960er Jahre war international eine Periode intensiverer Steinkleeforschung. Aus dieser Zeit stammen die jüngsten umfassenden Darstellungen des Forschungsstandes zu dieser Kulturart und ihren Anbaubedingungen (SPECHT 1939; BLECKEN 1948; CYBOPOB 1950;

SMITH & GORZ 1965; KREUZ 1965; SCHLOSSER-SZIGAT 1966; PETERSEN 1967). In Deutschland wurden Forschung und Züchtung mit Steinklee nach Ende der 1960er Jahre fast vollständig eingestellt.

2.1 Pflanzenporträt

2.1.1 Merkmale und Eigenschaften

Steinklee gehört zur Gattung *Melilotus* der Familie *Fabaceae*. Der Weiße Steinklee wird im deutschen Sprachraum auch nach einer Herkunftsregion (Buxoro², Usbekistan) auch Bokharaklee (GRAICHEN 1863) oder Riesen-Honigklee genannt (engl. sweet clover, russ. Donnik). Er ist in Eurasien von Europa bis Südosibirien beheimatet³ und als Kulturpflanze seit dem 18. Jh. weltweit verbreitet (IPK Gatersleben o. J.). Landwirtschaftlich werden vor allem zwei Arten dieser Pflanzengattung genutzt: der Gelbe Steinklee *Melilotus officinalis* (L.) und der Weiße Steinklee *Melilotus albus* (Medik.). Sie sind eng miteinander verwandt (KRZAKOWA & GRZYWACZ 2010). Gegenstand dieser Arbeit ist der Weiße Steinklee. Der Gelbe Steinklee ähnelt in Biologie und Nutzung dem Weißen. Beide Arten werden auch gemeinsam in Mischungen angebaut. Einige Saatgutherkünfte sind sogar nur als Mischungen dieser Arten vorhanden (vgl. Abschnitt 5.2.1). Deswegen wurde der Gelbe Steinklee in einige Aufzählungen und Versuche der vorliegenden Arbeit integriert. Die meisten Erkenntnisse können mit geringen Einschränkungen auf den Gelben Steinklee übertragen werden.

Die einzelnen Arten der Gattung *Melilotus*, ihre Systematik und Verbreitung hat CYBOPOB (1950) detailliert beschrieben. Es handelt sich um krautige ein- und zweijährige Pflanzen. Die Laubblätter sind stets dreizählig mit gestieltem Endblatt. Die Blüten sitzen endständig in vielblütigen verlängerten Trauben. Eine genaue botanische Beschreibung findet sich z. B. bei HEGI (1923) und PETERSEN (1967). CYBOPOB (1950) unterscheidet eine Reihe von Unterarten, Ökotypen und Formen vor allem bei *M. albus*, *M. officinalis* und *M. dentatus*, aber auch den anderen Arten dieser Gattung. Auch wenn diese Gliederung im Einzelnen umstritten ist (BENNETT et al. 2001), zeigt sie doch den großen Formenreichtum der Art (Tab. 1).

² im Deutschen meist Buxara genannt

³ in einigen Regionen wahrscheinlich nicht autochthon sondern verwildert

Tab. 1: Unterarten (ssp.), Ökotypen (oecot.) und Formen (f.) des Weißen Steinklees nach CYBOPOB (1950)

Unterart	Ökotyp	Form
Nördliche Unterart – ssp. <i>borealis</i>		
	sibirisch-flachländischer Ökotyp – oecot. <i>sibiricus</i>	
		gelbsamige Form – f. <i>lutescens</i>
		geflecktsamige Form – f. <i>maculatus</i>
		einjährige Form – f. <i>annuus</i>
		ganzblättrige Form – f. <i>integrifolius</i>
	Sandboden-Ökotyp – oecot. <i>arenarius</i>	
	Salzboden-Ökotyp – oecot. <i>salinus</i>	
	Ökotyp der Niederungen – oecot. <i>alluvialis</i>	
	vieltängeliger Ökotyp – oecot. <i>multicaulis</i>	
		luzerneartige Form – f. <i>medicagoides</i>
	Weide-Ökotyp – oecot. <i>pascuus</i>	
	Nordeuropäischer Ökotyp – oecot. <i>septentrionalis</i>	
Südliche Unterart – ssp. <i>australis</i>		
	östlicher Steppentyp – oecot. <i>orientostepposus</i>	
	asiatischer Vorgebirgstyp – oecot. <i>submontanus</i>	
	europäischer Steppentyp – oecot. <i>europaosteppus</i>	
		kleinblättrige Form – f. <i>parvifolius</i>
		großblättrige Form – f. <i>grandifolius</i>
	Ökotyp der Niederungen – oecot. <i>allivialis</i>	
	Ökotyp der Kalkböden – oecot. <i>calcareus</i>	
Maritime Unterart – ssp. <i>maritimus</i>		
	gewöhnliche Form – f. <i>vulgaris</i>	
	rundblättrige Form – f. <i>rotundifolius</i>	

Der Weiße Steinklee *M. albus* ist eine sehr anpassungsfähige Pflanzenart. Wuchshöhe und Wurzelform variieren stark in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen. Außerdem werden verschiedene Wuchsformen beschrieben. BLECKEN (1948) und SPECHT (1939) unterscheiden drei Wuchsformen, die „aufrecht wachsende“, die „buschige“ und die „kriechende“. Auf Ruderalflächen werden die Pflanzen häufig 1,00 – 1,50 m groß, unter günstigen Bedingungen können sie jedoch bedeutend größer werden (BLECKEN 1948)⁴. Blühende Pflanzen im zweiten Vegetationsjahr wachsen aufrechter und höher

⁴ In der Literatur werden als Maximalgrößen genannt: 2,4 m (GRAICHEN 1863), 3 m (LANGETHAL 1851), 3,5 m (PETERSEN 1967).

als im ersten Jahr. Das Wurzelsystem wird durch eine kräftige weißliche pfahlförmige Primärwurzel geprägt. Verzweigungen und Feinwurzeln sind je nach den Bodenbedingungen unterschiedlich ausgeprägt. Die Wurzeln reichen je nach Pflanzenalter und Bodenbedingungen häufig bis ca. 75 cm Tiefe⁵. Es wurden aber auch Wurzeltiefgänge über zwei und sogar drei Meter genannt. Auf flachgründigen Böden können die Seitenwurzeln stärker als die Hauptwurzel ausgebildet sein (SPECHT 1939; BLECKEN 1948; KUTSCHERA 1960).

M. officinalis lässt sich fast nur anhand der Blütenfarbe von *M. albus* unterscheiden. Pflanzen dieser Art blühen früher, reifen schneller und bleiben kleiner als *M. albus* (GOPLIN 1980; HENNING & WHEATON 1993; MEYER 2005; RHYKERD & HANKINS 2007). Außerdem sollen sie trockentoleranter sein (TURKINGTON et al. 1978; KUTSCHERA 1960), was zum einen in der allgemein früheren Abreife (SMITH & GORZ 1965; CLARK 2007) und zum anderen höheren Wuchsleistungen auf extrem trockenen Standorten begründet ist (KÖSEOĞLU 1970)⁶. Auch die von WILLARD (1926) im Vergleich zu *M. albus* gemessenen höheren Wurzel-Stängel-Verhältnisse im Herbst des Ansaatjahres stärken diese Einschätzung. Im Allgemeinen soll der Weiße dem Gelben Steinklee im Biomasseertrag überlegen sein (PETERSEN 1967). CLARK (2007) schätzt *M. officinalis* anders als die vorgenannten Autoren generell als ertragreicher ein. Nach SPECHT (1939) ist die Wuchsform des Gelben im Vergleich zum Weißen Steinklees vor allem im ersten Vegetationsjahr mehr kriechend und niederliegend. In der Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe ähneln sich beide Arten stark. Hier sind die Unterschiede zwischen einzelnen Individuen größer als die zwischen den Arten (WILLARD 1926).

Steinklee lebt in der Regel mit Bakterien der Art *Rhizobium meliloti*⁷ in Symbiose. Rhizobien der gleichen Art bilden auch die Knöllchen in Luzernewurzeln aus.⁸ Dies soll ein Grund dafür sein, dass mit dem Anbau von Steinklee die Wachstumsbedingungen für Luzerne verbessert werden können. Allerdings unterscheiden sich Luzerne und Steinklee in ihrem Einfluss auf die Diversität der verschiedenen Rhizobienstämme (THURMAN & BROMFIELD 1988), so dass Kenntnisse über die Rhizobien-Pflanzen-Symbiose nicht prinzipiell gleichartig für beide Pflanzenarten gelten müssen. Es ist bekannt, dass - wie bei anderen Leguminosen auch - in Bezug auf die N-Fixierung und Nodulation verschieden effektive Rhizobienstämme vorkommen. Die Effektivität eines

⁵ Andere Autoren geben übliche Wurzellängen mit 1,20 bis 1,80 m an (ТУЖИЛИН et al. 2002).

⁶ Gegensätzliche Ergebnisse von KÖSEOĞLU (1970), die allerdings auf dem Sonderstandort Steinbruchhang gewonnen wurden, weisen darauf hin, dass die Einordnung beider Arten bezüglich ihrer Trockentoleranz von weiteren Faktoren beeinflusst wird.

⁷ In der Literatur auch *Ensifer meliloti* oder *Sinorhizobium meliloti* genannt (BROMFIELD et al. 2010; DRAGHI et al. 2010).

⁸ Der Handel bietet für die Impfung von Luzerne- und Steinkleesaatgut dieselben Präparate an (Rhizobiengruppe II).

Stammes kann zusätzlich je nach Pflanzenart (auch zwischen Steinklee und Luzerne)⁹ differieren. Interessant erscheint, dass seltene säuretolerante Stämme gefunden wurden, die aber heute für den breiten Anbau noch nicht verfügbar sind. Außer *Rhizobium meliloti* vermögen noch einige weitere Bakterienarten mit Steinklee effektiv Stickstoff zu fixieren (HIRSCH o.J.; BROMFIELD et al. 2010; DRAGHI et al. 2010).

Charakteristisch für die ursprünglichen Formen sind ein hoher Cumaringehalt und dessen intensiver Duft. Die Blütezeit währt von Juli bis September (BLECKEN 1948). Die Blüten werden vorzugsweise von Insekten bestäubt (DESAI 2004). Selbstbefruchtung ist weniger ausgeprägt und hat einen geringeren Samenansatz zur Folge (SPECHT 1939). Während der sehr langen Blühperiode ist der Steinklee eine außerordentlich ergiebige Bienenfutterpflanze. Mit zunehmender Reife fallen die Blätter leicht ab und die Stängel verholzen. Die Samen reifen zu ein bis selten drei in einer genetzten Hülse. Das Tausendkorngewicht liegt meist zwischen 1,5 und 2,0 g, jedoch mit einer beträchtlichen Variationsbreite bis 50% (GERDES 1953). Steinklee hat einen hohen Anteil hartschaliger Samen, die über viele Jahre lebensfähig bleiben (SMITH & GORZ 1965; HIRSCH o.J.). Bei Saatgut, welches in heißen trockenen Sommern geerntet wurde, ist dieser Anteil besonders hoch (DRAKE & RUNDLES 1919; ROEMER & SCHEFFER 1953; MERIPOLD 2008). Durch Scarifikation lässt sich eine ausreichend hohe Keimfähigkeit der Saatgutpartien erreichen (DESAI 2004). Heutiges Handelssaatgut hat Keimfähigkeitsraten zwischen 80 und 99 %. Die natürliche Hauptkeimperiode umfasst den Zeitraum vom Winter bis zum Frühjahr. Winter-Keimlinge können auch im gefrorenen Boden überleben, dagegen überstehen im Spätsommer oder Herbst gekeimte Pflanzen den Winter nicht (TURKINGTON et al. 1978; BASKIN & BASKIN 1988; ASSCHE et al. 2003).

2.1.2 Standortansprüche

Steinklee wächst unter verschiedensten Boden- und Klimabedingungen. Er ist winterhart, nässe- und (nach der Etablierung) sehr dürreverträglich, salztolerant und kann auch auf sandigen Böden mit geringer Bodenfruchtbarkeit beachtliche Bestände bilden (GRAICHEN 1863; SPECHT 1939; ТУЖИЛИН et al. 2002). Deswegen gilt er als „Luzerne der Sandböden“. Reine Sandböden sind allerdings für den Anbau nicht geeignet (SIMON 1960a; PÄTZOLD 1961; SIMON & BRÜNING 1964; DANCS 1964; KÖSEOĞLU 1970). Steinklee kann auf solchen Standorten zwar überleben, die Bewirtschaftung bleibt aber unrentabel (SIMON & ZAJONZ 1962b). Nach SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ (1962)¹⁰ benötigt Steinklee auf Sandböden Lehmadern in 80 – 100 cm Tiefe für ein Wachstum ohne Depressionen. Seine Trockentoleranz erreicht der Steinklee mit unterschiedlichen

⁹ und sogar zwischen unterschiedlichen Stämmen einer Leguminosenart (THURMAN & BROMFIELD 1988)

¹⁰ ähnlich (SIMON 1962)

Strategien. Während Trockenphasen kann die stomatäre Leitfähigkeit stark verringert werden, um das Überleben der Pflanzen im ersten Vegetationsjahr bei verminderter Produktivität zu sichern. Im zweiten Vegetationsjahr findet unter Verbrauch der Wurzelspeicherstoffe ein rasches Wachstum im Frühjahr statt, so dass die pflanzliche Entwicklung vor einer hochsommerlichen Trockenperiode abgeschlossen sein kann (FAENSEN-THIEBES 1992).

KUTSCHERA (1960) schätzt die Trockentoleranz von *M. albus* nach Auswertung natürlicher Vorkommen etwas geringer als die von *M. officinalis* ein¹¹. Als Mindestmengen der jährlichen Niederschlagssumme für das Wachstum wurden 457-508 mm für den Weißen und 254-305 mm für den Gelben Steinklee bestimmt (HANNAWAY & MCGUIRE 1982). Die ökologische Spannweite reicht von 90 bis 1600 mm (DUKE 1983). Dass Messungen der Wurzelmassen höhere Werte beim Gelben als beim Weißen ergaben, unterstützt diese Einschätzung genauso wie eine bessere Biomasseentwicklung unter Trockenstressbedingungen (SPECHT 1939; KÖSEOĞLU 1970). Sind die Überwinterungsorgane (Speicherwurzel und Erneuerungsknospen)¹² erfolgreich ausgebildet, ist Steinklee sehr winterhart (SMITH & GORZ 1965). Sowohl Wintertemperaturen unter -30°C als auch kurze Kälteeinbrüche von -3 bis -6 °C im Frühjahr werden ertragen (KUTSCHERA 1960; ТУЖИЛИН et al. 2002).

Eine wesentliche Standortvoraussetzung ist nach allgemeiner Ansicht ein ausreichend hoher pH-Wert. DRAKE & RUNDLES (1919) sehen im Vorhandensein von Kalk sogar die wichtigste Standortbedingung für das Gedeihen von Steinklee. Für die untere Grenze der Anbausicherheit werden pH-Werte von 5,5 bis 6,2 angegeben. Als optimal eingeschätzte pH-Werte liegen zwischen 5,8 und 8. Die ökologische Spannweite reicht von pH 4,8 bis 8,2 (DUKE 1983). Eine Kalkung vor der Saat gilt als empfehlenswert. (SMITH & GORZ 1965; SCHLOSSER-SZIGAT 1966; SIMON 1960b; SPECHT et al. 1960; BLECKEN 1948). Nach ТУЖИЛИН et al. (2002) wird das höchste Biomassewachstum auf sandigen Lehmböden schon ab pH 5,6 erreicht. Einen starken Ertragsabfall erwarten sie erst unterhalb von pH 5,2. Der Kalkanspruch des Steinklees ist jedoch umstritten. Einige Forscher stufen den Anspruch an die Bodendurchlüftung und eine ausreichende Wasserversorgung zur Jugendentwicklung als vorrangig ein (KUTSCHERA 1960; PÄTZOLD 1961; PETERSEN 1967; KÖSEOĞLU 1970). Schon 1970 wurden säuretolerante Steinkleepopulationen beschrieben (TURKINGTON et al. 1978).

Die Standortbedingungen wirken auch indirekt über die Beeinflussung der Leguminosen-Rhizobien-Symbiose auf die Biomasseleistung der Pflanze. Die grundlegende Voraussetzung für die N-Fixierung sind eine hohe Photosyntheseleistung und ein gesundes

¹¹ gleichlautend (CLARK 2007)

¹² vgl. Einfluss der Schnittnutzung auf die Winterhärte, Abschnitt 2.4.5

Wachstum der Pflanze. Zusätzlich sind aber auch gute Durchlüftungsverhältnisse, ein ausreichender Bodenwassergehalt, eine neutrale bis schwach saure Bodenreaktion und die Verfügbarkeit von Mg, Ca, K, P und den spezifischen Spurenelementen Mo¹³ und B für die Ausbildung funktionsfähiger Knöllchen wichtig (BECK 1968; KLATT 2008; OTTOW 2011). *Rhizobium meliloti* reagiert besonders empfindlich mit verringertem Wachstum auf niedrige Boden-pH-Werte. Unterhalb von pH 5,5 stellt er das Wachstum ein (DRAGHI et al. 2010).¹⁴

2.1.3 Entwicklungsphysiologie

Steinklee treibt im Ansaatjahr einstängelig aus. Die Seitentriebe bleiben dem Haupttrieb bis zum Herbst untergeordnet. Nach einer für feinkörnige Leguminosen typischen langsamen Jugendentwicklung, in der feine Wurzeln in die Tiefe wachsen und die Knöllchenbildung beginnt, zeigen die Pflanzen zuerst ein stärkeres oberirdisches Biomassewachstum. Die Wurzelbildung bleibt dahinter zurück. Erst im Spätsommer des Ansaatjahres nimmt die Wurzelmasse schnell zu (SPECHT 1939; KASPERBAUER et al. 1961). Speicherstoffe - vor allem in Form von leicht löslichen Kohlenhydraten - werden in die Hauptwurzel eingelagert und Erneuerungsknospen für den Austrieb im folgenden Frühjahr an der Wurzelkrone gebildet (SMITH & GORZ 1965). Im Herbst ziehen kontraktile Zellen diese Wurzelkronenknospen unter die Erdoberfläche (TURKINGTON et al. 1978). Die Wurzel mit Erneuerungsknospen hat nach der Überwinterung ein hohes Regenerationsvermögen und treibt auch nach starken Beschädigungen aus restlichen Knospen wieder aus.¹⁵ Die Wurzelentwicklung im Herbst des ersten Vegetationsjahres zeigt eine photoperiodische Abhängigkeit. Unter Langtagsbedingungen wird weniger Wurzelmasse als im Kurztag gebildet, außerdem bleiben die Erneuerungsknospen bei Tageslängen über ca. 13 Stunden unterentwickelt. Die Temperatur hat auf diese Vorgänge keinen Einfluss. Die Bildung von Erneuerungsknospen und die Einlagerung von Speicherstoffen sind vom Vorhandensein oberirdischer Blattmasse abhängig. Eine Reduktion durch Schnitt oder Beweidung wirkt sich deshalb direkt auf die Winterfestigkeit und das Wachstum der Pflanzen im Folgejahr aus (vgl. Abschnitt 2.4.5). Die oberirdischen Pflanzentriebe sterben nach den ersten stärkeren Frösten ab. Bei Ansteigen der Temperaturen nach dem ersten Winter treiben die Pflanzen mit mehreren¹⁶ Trieben sehr kräftig aus. Dazu werden die in der Wurzel gespeicherten Nährstoffe ausgelagert. Zu

¹³ ,die durch saure Bodenreaktion negativ beeinflusst wird.

¹⁴ Wesentliche Standortansprüche, die dem Steinklee zugeschrieben werden, scheinen also eher durch die Ansprüche der Rhizobien bestimmt zu werden. Dies könnte die Schwierigkeiten bei der Züchtung eines „säuretoleranten“ Steinklees erklären, da evtl. nicht der entscheidende Symbiosepartner züchterisch beeinflusst wurde.

¹⁵ Dies ist eine Ursache der häufig befürchteten Verunkrautung der Folgefrucht nach einem Umbruch im Herbst vor der Überwinterung oder im folgenden Frühjahr.

¹⁶ nach PÄTZOLD (1961); KASPERBAUER et al. (1961) berichtet von bis zu 30 Erneuerungsknospen, von denen nur wenige im Frühjahr austreiben und die restlichen als Reserve dienen.

Blühbeginn im zweiten Jahr erreichen die Pflanzen ihre maximale oberirdische Biomassensmenge. Blütenknospen bilden sich nur unter Langtagsbedingungen und hauptsächlich im zweiten Wachstumsjahr. Niedrige Temperaturen verzögern den Blühbeginn. ТУЖИЛИН et al. (2002) nennen das Erreichen einer mittleren Temperatursumme von 1300 – 1600 Grad Celsius als Auslöser der Blühphase. Nach anderen Autoren ist die Tageslichtdauer der entscheidende Faktor (s. S. 14). Im zweiten Vegetationsjahr werden keine Speicherstoffe in die Wurzeln eingelagert und keine Überwinterungsorgane angelegt. Nach der Samenbildung im zweiten Jahr oder spätestens mit Beginn der Frostperiode sterben die Pflanzen ab. Die Blüte und die Triebneubildung kann bis zum Frost anhalten (BRUMMUND 1958; SCHLOSSER-SZIGAT 1964; SMITH & GORZ 1965; SCHLOSSER-SZIGAT 1966; PETERSEN 1967; TURKINGTON et al. 1978).

Während der vegetativen Phase gebildete Sprosstriebe haben kürzere Internodien und sind weniger verholzt als die Triebe der generativen Phase. Blühende Pflanzen zeigen dadurch einen aufrechteren und höheren Wuchs als vor der Blüte (SCHLOSSER-SZIGAT 1964).

Einjährige und zweijährige Formen des weißen Steinklee

Einjähriger Steinklee *Melilotus albus* Desr. var. *annua* Coe ist eine Form des zweijährigen Steinklees. Diese Form beschrieb COE (1917) erstmalig wissenschaftlich. Nach Smith entstand sie als Mutation aus der zweijährigen Form Ende des 19. Jahrhunderts in Alabama (SMITH 1927). СΥΒΟΡΟΒ (1950) kennt autochthone einjährige Formen aus dem südlichen Westsibirien. Am Forschungsinstitut für Futterpflanzen Troubsko wurde die einjährige Sorte „Adela“ 1997 durch einfache Auslese aus einer zweijährigen Herkunft gezüchtet (HOFBAUER 2010). Aus anderen Ländern sind weitere einjährige Sorten bekannt (Tab. 3).

Morphologisch unterscheiden sich einjährige Formen von zweijährigen im ersten Wachstumsjahr durch ein weniger ausgeprägtes Wurzelsystem, fehlende Wurzelknospen, längere Internodien der Keimpflanzen und eine stärkere Verholzung des Stängels im Herbst (SMITH 1927; COE 1917; PIETERS & KEPHART 1921). Die einzelnen Zellen sind größer, außerdem kommen neben normalen Pollen auch viermal größere vor (SMITH 1927; BECKER-DILLINGEN 1929). Die Einjährigen bilden genau wie die Zweijährigen im ersten Jahr nur einen Haupttrieb mit kürzeren Seitentrieben (СΥΒΟΡΟΒ 1950).

Die beiden Formen unterscheiden sich vor allem im Blühverhalten. Die Zweijährigen bilden unter unseren Klimabedingungen im ersten Jahr keine oder deutlich weniger Blü-

ten aus. Sie kommen erst im 2. Vegetationsjahr zur Vollblüte.¹⁷ Einjährige Formen erreichen dieses Stadium schon im ersten Vegetationsjahr.

Der Wechsel in die generative Phase wird vor allem durch die Photoperiode und die Temperatur bestimmt. Während die Einjährigen auch in Zeiten mit längeren Nächten (bis zu ca. 12 Stunden Dunkelheit) Blüten bilden, beginnt die Blüte der Zweijährigen erst bei Dunkelperioden unter 6 bis 7 Stunden. Unter Dauerlicht blühen auch zweijährige Formen deutlich früher (HIRSCH o.J.). Eine vorhergegangene Vernalisation verringert den Anspruch an die Tageslänge, so dass in einem zweiten Vegetationsjahr die Blüte in Norddeutschland schon bei Dunkelperioden unter 8 Stunden einsetzt. (TURKINGTON et al. 1978) berichtet, dass zweijährige Formen bei sehr zeitiger Aussaat im Frühjahr in die volle generative Phase wechseln können. Zwischen den Herkünften zweijähriger Formen bestehen außerdem graduelle Unterschiede bezüglich der photoperiodischen Ansprüche. Nach dem Jahr der Vollblüte überwintern beide Formen nicht mehr (CYBOPOB 1950; KASPERBAUER et al. 1961; SMITH & GORZ 1965; SCHLOSSER-SZIGAT 1966).

Unter den Klimabedingungen nördlicher Breitengrade haben einjährige Arten eine langsamere generative Entwicklung. Durch ihre längere Wachstumszeit bilden sie hier mehr Biomasse als in südlicheren Zonen. Die Zweijährigen verhalten sich entgegengesetzt, ihre Entwicklung beschleunigt sich in nördlichen Regionen (CYBOPOB 1950).

Während der ersten Vegetationsperiode teilweise blühende zweijährige Pflanzen sollen nach SMITH (1927) Kreuzungen zwischen beiden Formen sein.

2.1.4 Inhaltsstoffe

Die Gehalte an wertbestimmenden Inhaltsstoffen sind, wie bei anderen Pflanzenarten auch, abhängig von der Sorte bzw. Herkunft, vom Entwicklungsstadium, den Standortbedingungen, der Aussaatmethode (Blanksaat oder Untersaat) und dem Aussaattermin (WILLARD 1926; CYBOPOB 1950; STÄHLIN 1969).

In einigen Sammelwerken über Futterwerte der Kulturpflanzen finden sich Werte zu Inhaltsstoffen des Steinklees. Manchmal fehlen die nötigen Angaben zum Entwicklungsstadium (DUKE 1983; SNEYD 1995). Häufig wird das Vegetationsjahr nicht benannt (SIMON 1960a; STÄHLIN 1969; BECKER 1969; KOCH 1969; NEHRING et al. 1970; BEYER et al. 1986). Für alle Werte, bei denen nichts Gegenteiliges vermerkt ist, kann

¹⁷ Dieses Phänomen beschreibt Blecken wie folgt „Der Bokharaklee [...] ist eine zweijährige Pflanze, d. h. sie trägt erst im zweiten Lebensjahre Blüte und Frucht. So sollte es sein; in Wirklichkeit gibt es wohl Sorten des Bokharaklees, die im ersten Jahre ihres Lebens keine Blüten haben, andere Herkünfte tragen dagegen schon im ersten Lebensjahre einige, andere sogar viele Blüten und demgemäß auch etwas mehr oder sogar beträchtlich viel Samen“ (BLECKEN 1948). Gleiche Beobachtungen finden sich bei BRUMMUND (1958); DANCS (1964); PIETERS (1925); SMITH (1927); SPECHT (1939); CYBOPOB (1950); SCHLOSSER-SZIGAT (1964) und anderen. TURKINGTON et al. (1978) fand eine Abhängigkeit der Blütenbildung vom Keimtermin. Vor März gekeimte Pflanzen blühten im gleichen Jahr, während später gekeimte erst im Folgejahr Blüten ausbildeten.

aber angenommen werden, dass sie sich auf das zweite Vegetationsjahr beziehen, da mit dem damals üblichen Untersaatverfahren keine nennenswerten Erträge im Ansaatjahr erzielt werden. Zusätzlich liefern Versuchsberichte Ergebnisse der Futterwertbestimmung, die jedoch auf konkrete Anbaubedingungen bezogen sind. Die Werte aus dem Futtermitteltabellenwerk geben einen Überblick über erwartbare Biomassequalitäten zu drei Entwicklungsstadien im zweiten Vegetationsjahr (Tab. 2, dargestellt im Vergleich zu den Werten von Luzerne).

Tab. 2: Roh Nährstoffgehalte und Verdaulichkeiten (VQ) für Weißen Steinklee und Luzerne (1. Schnitt), Auszug aus der Futtermitteltabelle Rind (NEHRING et al. 1970)

Parameter	Einheit	vor der Blüte		Beginn der Blüte		Vollblüte	
Art		Steinklee	<i>Luzerne</i>	Steinklee	<i>Luzerne</i>	Steinklee	<i>Luzerne</i>
TS	%	15	16,6	19	18,9	22	20,6
RP	g kg ⁻¹ TM	190	221	155	192	130	175
RFa	g kg ⁻¹ TM	250	261	290	305	325	340
RFe	g kg ⁻¹ TM	37	34	30	26	25	25
RA	g kg ⁻¹ TM	110	111	95	97	80	90
NFE	g kg ⁻¹ TM	413	373	430	380	440	370
VQ RP	%	72	80	66	77	61	74
VQ RFe	%	58	50	54	46	50	41
VQ RFa	%	60	55	55	52	49	49
VQ NFE	%	76	79	72	76	68	72
Ca	g kg ⁻¹ TM	17,3	19,8	13,5	18,6	13	18,0
P	g kg ⁻¹ TM	3,2	3,5	2,6	3,0	2,2	2,7

Genau wie bei anderen Leguminosen sind junge Triebe sowohl im ersten als auch im zweiten Vegetationsjahr besonders proteinreich und enthalten nur wenige Faserstoffe. Mit zunehmendem Alter steigt der Rohfaseranteil und die Protein- und Energiegehalte nehmen ab. Mit Beginn der generativen Entwicklung verstärkt sich dieser Trend. Da die Hauptblüte bei zweijährigen Formen erst im zweiten Vegetationsjahr einsetzt, sind die Stängel vor der Überwinterung dünner und weniger stark verholzt als im Frühsommer des zweiten Jahres und damit von höherer Qualität (DRAKE & RUNDLES 1919; WILLARD 1926; SPECHT 1939; CYBOPOB 1950).

Sekundäre Inhaltsstoffe

Steinklee enthält neben Cumarin weitere typische sekundäre Inhaltsstoffe. EHLERS et al. (1997) wiesen Cumarin, Melilotsäure, o-Cumarsäure, 3,4-Dihydrocumarin, Ethylmelilotat, Anethol und Benzoesäure im Extrakt von *Melilotus officinalis* nach. WÖRNER & SCHREIER (1990) identifizierten 84 flüchtige Aromastoffe in *M. officinalis*. Steinklee

gehört zu den Leguminosen mit relativ geringem Tanningehalt. Goeritz et al. stellten durchschnittliche Gehalte an löslichen Tanninen von 0,08% TM fest, wogegen tanninreiche Leguminosen wie Esparsette oder Hornklee 6,98 und 3,11% enthielten (GOERITZ et al. 2009).

Extrakte aus Steinklee enthalten biologisch aktive Substanzen. BLAESER et al. (2002) testeten bei einem Screening verschiedener Pflanzenextrakte auf fungizide Wirkung, unter anderem Extrakte aus *M. officinalis*. Sie stellten hemmende aber auch fördernde Wirkungen auf jeweils verschiedene phytopathogene Pilze fest.

Cumarin

Cumarin ist ein in einigen Pflanzenarten natürlich vorkommender sekundärer Inhaltsstoff. Die physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften der verschiedenen natürlichen Cumarinderivate werden jeweils durch ihre spezielle Struktur bestimmt. Beispielsweise haben Hydroxycumarine wie das Dicumarol eine Vitamin-K-antagonistische Wirkung. Sie hemmen die Biosynthese von Prothrombin und einigen anderen Gerinnungsfaktoren und bewirken dadurch eine verzögerte Blutgerinnung nach Erschöpfung des Prothrombin-Vorrates im Körper von Säugern. Die Voraussetzung dafür sind eine Hydroxylierung in der C-4-Stellung und ein lipophiler Rest an C-3 (LOEW et al. 2009; Thieme 2012).

Die pflanzliche Biosynthese des Cumarins beschreibt HEB (2008), (Abb. 1). In Steinkleezellen liegt es vor allem als o-Cumarinsäure- β -glucosid vor und wird in Vakuolen gespeichert. Zellverletzungen heben diese Separierung des o-Cumarinsäure- β -glucosid auf und eine sonst räumlich getrennte β -Glucosidase hydrolysiert das Gucosid. Die so entstehende o-Cumarinsäure wandelt sich spontan durch Lactonisierung in Cumarin (MATILE 1984; HEB 2008). Im Pflanzengewebe wirkt Cumarin meist als Inhibitor, z. B. auf die Samenkeimung¹⁸ oder die Zellstreckung (BLACKSHAW et al. 2007). Steinkleekeimlinge beeinträchtigen durch Cumarinabgabe für einige Tage nach der Aussaat ihre Nachbarpflanzen (SCHLOSSER-SZIGAT 1960; KNAPP 1967). Als Bitterstoff schützt es die Pflanzen vor Fraßschäden. Es sind aber auch Hemmwirkungen auf Mikroorganismen zur Infektionsabwehr bekannt (WINK 1988; SCHALLER 2002; HEB 2008).

¹⁸ Das in den Samen enthaltene Cumarin hemmt auch die Keimung der Steinkleesamen selbst (BLAIM 1958).

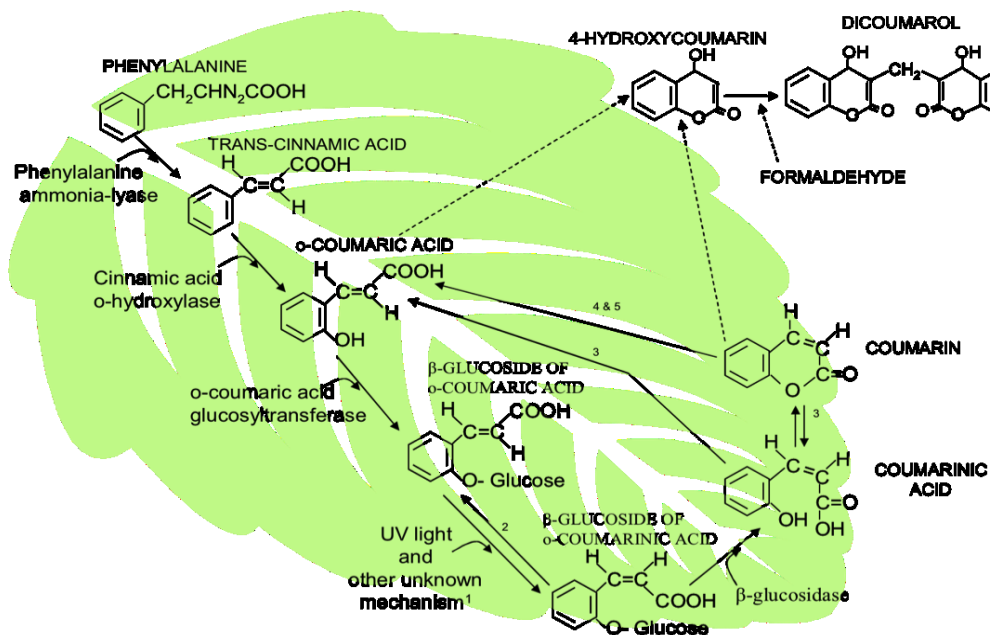


Abb. 1: Biosynthese von Cumarin und Dicumarol, Zusammenstellung der Ergebnisse mehrerer Autoren (DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006)

Die Cumarinegehalte in der Pflanzenfrischmasse beim Steinklee variieren. Allgemein zählen sowohl *M. albus* als auch *M. officinalis* zu den Arten im Pflanzenreich mit vergleichsweise hohen Cumarinegehalten. Cumarinreiche Herkünfte enthalten 0,2 – 3,5 % Cumarin in der TM (SCHLOSSER-SZIGAT 1961; MICKE 1962; PILLAI 1962; MEYER 2005; NAIR et al. 2010). Abhängigkeiten zu Klima- und Standortbedingungen wurden vermutet, aber nicht nachgewiesen (LANGETHAL 1851; UFER 1932). Vor allem das Entwicklungsstadium und die Art des Pflanzengewebes haben Einfluss auf den Cumarinegehalt. Blütenknospen und junge Blätter an den Triebspitzen enthalten mehr Cumarin als Wurzeln, Stängel und ältere und untere Blätter; außerdem werden zu Beginn der Blühperiode die höchsten Cumarinegehalten gemessen (GOPLIN et al. 1956; SCHLOSSER-SZIGAT 1963; DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006). SCHLOSSER-SZIGAT (1964) fand einen Zusammenhang zwischen Cumarinegehalt und Tageslichtdauer. Unter Langtagsbedingungen enthielten die Pflanzen mehr Cumarin und verwandte Verbindungen als unter Kurztagsbedingungen. Unter Stressbedingungen können die Mengen ansteigen (NAIR et al. 2010).

Ältere Untersuchungsmethoden erfassten aufgrund der verschiedenen Bindungsformen des Cumarins und ihrer Verteilung in der Zelle die Cumarinegehalten in der Pflanze nicht vollständig. Versuche, die vor 1960 durchgeführt wurden, können deshalb nur sehr eingeschränkt ausgewertet werden (KAHNT & SCHÖN 1962; SMITH & GORZ 1965).

Durch den Cumarinegehalt ist der Wert des Steinklees als Futterpflanze stark beeinträchtigt. Er bewirkt einen bitteren Geschmack, durch den die Futteraufnahme gemindert

wird. Darüber hinaus kann Cumarin oder o-Cumarinsäure bei ungünstigen Konservierungs- oder Lagerungsbedingungen (hohe Feuchte, „> 180g kg⁻¹“, hohe Temperatur, um „60 °C“, und bei aeroben Verhältnissen) unter der Einwirkung von Schimmelpilzen (*Penicillium*- und *Aspergillus*-Arten) zu Dicumarol gewandelt werden (SANDERSON et al. 1986; BICKEL-SANDKÖTTER 2001). Es besteht dann die Gefahr, dass Tiere, die solches Futter gefressen haben, an kleinen inneren oder äußeren Verletzungen verbluten (s. o.). Obwohl Steinklee in der Vergangenheit als Futter genutzt wurde, ist der Wert cumarinreicher Pflanzen unter den heutigen Wirtschaftsbedingungen aus diesen Gründen für die Tierernährung eingeschränkt. Der Anbau cumarinarmer Sorten oder die Futterkonservierung mit Propionsäure können der Dicumarolbildung in sehr hohem Maße vorbeugen (SANDERSON et al. 1986). Weitere Gründe für einen möglichst geringen Cumarin Gehalt von Futterpflanzen sind eine mögliche Geschmacksbeeinträchtigung der erzeugten Produkte und die direkte Lebertoxizität des Cumarins (KAHNT 2008; NAIR et al. 2010). Cumarin wird allerdings von Säugetieren artspezifisch über verschiedene Wege metabolisiert. Dadurch entstehen bei einigen Spezies (Nagern) toxisch wirkende Verbindungen. Beim Menschen überwiegt ein Abbauweg, der zur Detoxifizierung führt (Thieme 2012). Die genauen Abbauprozesse bei Nutztieren sind nicht bekannt. Nach NAIR et al. (2010) sollte der anzustrebende Maximal-Cumarin-Gehalt einer Futterpflanze sicher unter 0,4 % TM und möglichst unter 0,02 % TM liegen.

2.1.5 Züchtung – Sorten und Herkünfte

Exkurs zum Begriff Herkunft

Während der Gebrauch der Termini „Sorte“ und „Landsorte“ in der Literatur einheitlich ist, sind zur „Herkunft“ bzw. zum „Herkunftswert“ unterschiedliche Beschreibungen zu finden. Der Begriff der Herkunft ist inhaltlich eng mit dem der Landsorte verbunden. Landsorten sind durch Auslese und Anpassung an unterschiedliche Standortbedingungen in verschiedenen Regionen entstanden. Die Region, in der eine Landsorte entstand, also ihre geographische Herkunft, war häufig namensgebend für die Landsorte. Über die Angabe einer Herkunft wird hier auf die besonderen vererbbaaren Eigenschaften einer Ausleseform verwiesen (ROEMER & SCHEFFER 1953). So beschreibt Petersen noch 1967 von vielen Leguminosen Herkünfte mit ihren Eigenschaften (z. B. „Altfränkische“, „Thüringer“, „Eifeler“ und „Pfälzer“ „als beste Herkünfte“ der Luzerne in Deutschland) (PETERSEN 1967). Im Saatgutwesen war damals die Herkunftsprüfung von Saatgutpartien zum Ausschluss von Täuschungen üblich. Anhand von typischen Beimengungen konnten allerdings nur Rückschlüsse auf das „Aufwuchs- und nicht auf das Ursprungsgebiet“ gezogen werden (ENGELMANN & HEYDEL 1962). Die Bedeutung von Herkunft als regionalem Ursprungsort von Populationen mit bestimmten vererbbaaren Eigenschaften wird von GÄDE (1998) „innerer Herkunftswert“ genannt.

Zusätzlich wurde der Begriff Herkunft oder Herkunftswert auch von Umwelten, die auf einen Vermehrungsbestand wirken, abgeleitet. Vgl. (FRIMMEL 1951) „Will man bei einem Saatgut die Tatsache unterstreichen, dass es von einem bestimmten Orte bezogen ist, dann spricht man von Herkunft. Man kann z. B. verschiedene Herkünfte e i n e r weitverbreiteten Zuchtsorte beziehen, indem man Nachbau derselben aus verschiedenen Gegenden beschafft.“ Ähnlich „Der Herkunftswert einer landwirtschaftlichen Kulturpflanze - einschließlich Getreide - hängt von ihrer Entwicklung in einer ihren Ansprüchen am besten zusagenden Umwelt ab, d. h. ihr Herkunftswert und damit die Ertragsleistung ist um so höher zu bewerten, je günstigere Bedingungen auf die Ausbildung der reproduktiven Organe einwirken“ (KRESS 1952). SCHEIBE et al. (1953) beschreiben die Beziehung zwischen der chemischen Zusammensetzung des Saatkorns, welches durch die Witterung in der Kornbildungsphase beeinflusst wird, und dem Ertrag. Da sich die Klimaregionen in ihrem typischen Witterungsverlauf unterscheiden, wurde ein Einfluss des Vermehrungsortes auf den Ertrag abgeleitet. In einer zu ihrer Zeit vielbeachteten Arbeit wies SAUCKEN (1960) einen über z. T. über mehrere Generationen wirkenden aber nicht erblichen Einfluss von Standortfaktoren des Saatgutvermehrungsortes auf Ertragskomponenten der Nachkommenschaften bei Hafer nach. Bemerkenswert sind die Feststellung von positiven Korrelationen zwischen der Temperatur während der Kornbildungsphase des Herkunftsjahres und dem Kornertrag des Nachbaues einerseits und der zwischen der Tageslänge zum Rispschieben und der Wuchshöhe andererseits. Auch in einigen moderneren Untersuchungen wird dem Herkunftswert Beachtung geschenkt. So beziehen STRUBE & STOLZ (2001) unterschiedliche Eigenschaften von Versuchspflanzen gleicher Sorte auf die „Saatgutherkunft“ aus unterschiedlichen Anbauverfahren. Umwelteinflüsse vom Ort der Saatgutvermehrung und durch technologische Faktoren durch den Züchter oder Vermehrer bezeichnet GÄDE (1998) als den äußeren oder modifikativen Herkunftswert.

Im modernen Saatgutwesen wird dieser Aspekt des Begriffes Herkunft kaum noch gebraucht. Er wurde vor allem durch den des Saatgutwertes ersetzt, der eindeutiger beschreibbar ist und eine genauere ursächliche Zuordnung von Modifikationswirkungen bietet¹⁹. Schon HOFFMANN & MUDRA (1971), FISCHBECK et al. (1985) und LAMPETER (1985) und benutzen den Herkunftsbegriff nur in Bezug auf den Ort der Entstehung von Landrassen. DIEPENBROCK et al. (2005), KEYDEL et al. (2006) und LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN (2000a) thematisieren den Herkunftswert von Saatgut in ihren Kapiteln zu Pflanzenzüchtung und Saatgutwesen überhaupt nicht.

In den Zeiten der verbreiteten Nutzung von Landsorten waren die verschiedenen Aspekte der Herkunft kaum zu unterscheiden, da Auslese und Vermehrung in einer Region

¹⁹ z. B. über TKG und Gesundheit

stattfanden. Bei einer Prüfung konnte nur indirekt über die Vermehrungsregion auf die genetischen Eigenschaften geschlossen werden. Beide Aspekte lassen sich im konkreten Fall auch deshalb schwer voneinander trennen, da alle Eigenschaften stets unter dem Einfluss der Umwelt nur als phänotypische Modifikation ausgebildet werden (HOFFMANN & MUDRA 1971).

Etwas abweichend zu der obigen Erläuterung wird der Begriff in Genbanken gebraucht. Hier werden „eindeutig unterscheidbare genetische Ressourcen derselben Art als "Herkunft" oder "Akzession" (engl. accession)" bezeichnet (BECKER 2011). Nach GÄDE (1998) wird Akzession in diesem Zusammenhang gleichwertig mit Sippe benutzt. Es kann eine aktuelle oder ältere Zuchtsorte, eine Landsorte, einen Stamm oder eine Wildpflanzenpopulation bezeichnen. Es wird nur eine Abgrenzung zu einem anderen Sortiment und keine systematische Rangstufe oder Modifikationswert ausgedrückt.

Die ursprünglicheren Steinklee-Populationen besitzen eine sehr große Variabilität (WILLARD 1926; SPECHT 1939)²⁰, (DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006). Mit verschiedenen Züchtungsmethoden wurde in der Vergangenheit Einfluss auf die Eigenschaften des Steinklees genommen²¹. Es kann davon ausgegangen werden, dass im heutigen Handelssaatgut nicht nur die ursprünglichen Wildformen vertreten sind. Nach den bisherigen eigenen Erfahrungen kann zum heutigen Handelssaatgut selten eine Information über die Herkunft und den genetischen Werdegang gegeben werden. Im Handel werden deshalb Saatgutpartien mit völlig unterschiedlichen Eigenschaften unter der gleichen Bezeichnung vertrieben, wie das Beispiel von Dietze aus Versuchen an der LFA 2006 – 2008 belegt: Im Projekt „Mischfruchtanbau“²² verwendeter Steinklee stammte aus Kanada, war sehr ertragsstark und zweijährig (im Handel als: „Weißer Steinklee, zweijährig, *Melilotus albus*“). Saatgut aus dem Jahr 2008 (Import aus Argentinien) war rein weißblühend und einjährig (im Handel als: „Weißer Steinklee, zweijährig, *Melilotus albus*“).²³

In der Literatur finden sich seit den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts Beschreibungen von Saatgut und Zuchtstämmen mit verschiedenen Eigenschaften. Es werden neben unspezifischem Handelssaatgut auch Landsorten und Sorten (v. a. aus Amerika stammend) beschrieben (besonders umfangreich SPECHT 1939; SMITH & GORZ 1965 und HIRSCH o.J.). Sogar über einjährige Sorten wird berichtet, wenngleich diese in Deutschland wahrscheinlich nicht angebaut wurden.²⁴ Schon 1930 gab es Züchtungsprojekte mit

²⁰ genauso eigene Beobachtungen

²¹ eine Zusammenstellung Züchtungsarbeiten bis 1963 gibt SMITH & GORZ (1965)

²² DIETZE et al. (2009)

²³ genauso bei Saatguteinkäufen 2009, 2010

²⁴ BECKER-DILLINGEN (1929) und auch PETERSEN (1967) kennen einjährige als Hubamklee bezeichnete Formen nur aus amerikanischen Berichten.

Weißem Steinklee in Deutschland (UFER 1930). Die Züchtung cumarinarmen Steinklees für die Tierfütterung war damals ein wichtiges Ziel der Arbeiten. Daneben wurde auch an der Verbesserung weiterer Eigenschaften wie Massenertrag, Feinstängeligkeit und Mehлтаuresistenz gearbeitet (SPECHT 1939; SCHLOSSER-SZIGAT 1960, 1961, 1962; ZACHOW 1963). Die einzige in Deutschland gezüchtete Steinkleesorte stammt von F. Berger und trug den Namen „Bienenfleiß“. Sie galt als besonders ertragreich und homogen, war cumarinreich, mehлтаuresistent und sicher zweijährig (DANCS 1964; PÄTZOLD 1961; PETERSEN 1967). Desweiteren gab es eine cumarinarme „Kraftborner Auslese“ (SCHEIBE et al. 1953). Die Steinkleezüchtung wurde in Deutschland Ende der 60er Jahre aufgegeben, als mit der Zunahme der mineralischen Stickstoffdüngung die Bedeutung des Leguminosenanbaus in Deutschland abnahm. Neuere Sortenbeschreibungen finden sich nur außerhalb Deutschlands²⁵ (Tab. 3, Tab. 4). In der Liste der OECD sind für das Jahr 2012 die Sorten Norgold, Yukon, Kusikuu 1 und Bela aufgeführt, bis 2011 waren noch 16 weitere russische Sorten gelistet (OECD 2012).

Tab. 3: *Melilotus albus*, Sortenbeschreibungen nach 1990 (unvollständige Liste)

Sorte	Quelle	Land	Besonderheiten
Common White	(HENNING & WHEATON 1993; HIRSCH o.J.; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, (Landsorte oder gemischte Sorten) größte Verbreitung
Krajova	(HOFBAUER 2010)	Tschechien	zweijährig, cumarinreich, beinhaltet 20-25% <i>M. officinalis</i>
Bela	(AGROGEN 2009)	Tschechien	zweijährig, cumarinreich
Kuusiku 1	(MERIPOLD 2008)	Estland	zweijährig
Bienenfleiß	(DANCS 1964; GÄDE 1993)	Deutschland	zweijährig, ertragreich, mehлтаuresistent, cumarinreich, zugelassen bis 1990
Denta	(DANCS 1964; SMITH & GORZ 1965; HENNING & WHEATON 1993; RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	zweijährig, späte Blüte, cumarinarm
Polara	(HENNING & WHEATON 1993; HIRSCH o.J.; MOYER et al. 2007; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	Kanada	zweijährig, cumarinarm, niedriger Ertrag, frühe Blüte
Selgo	(KURASZKIEWICZ 2004)	Polen	zweijährig

²⁵ Abweichend dazu benannte SNEYD (1995) die cumarinarme Sorte „Norgold“ als auf dem europäischen Markt erhältlich. Aktuell trifft das nicht zu.

Sorte	Quelle	Land	Besonderheiten
Arctic	(SPECHT 1939; DANCS 1964; MOYER et al. 2007; RHYKERD & HANKINS 2007)	Kanada	zweijährig, sehr winterhart, niedriger Ertrag, sehr frühe Blüte, cumarinreich
Alpha	(RHYKERD & HANKINS 2007)	Kanada	k. A.
Spanish	(RHYKERD & HANKINS 2007; SMITH & GORZ 1965)	USA, Kanada	zweijährig, hoher Ertrag im ersten Jahr, mittelfrühe Blüte
Evergreen	(SMITH & GORZ 1965; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, spätblühend, hochwachsend, grobstängelig
Sangamon	(RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	zweijährig, spätblühend
Brandon	(RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	frühe Blüte
Grundy County	(SPECHT 1939; RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	zweijährig, frühreifend, geringer Ertrag, hoher Samenertrag, niedrig wachsend, geringer RfA-Gehalt, cumarinreich
Willamette	(RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	zweijährig, hoher Ertrag im ersten Jahr, mittelfrühe Blüte
Cumino	(RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	frühe Blüte, cumarinarm
El Domador	(DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006)	Australien	zweijährig, frühe Blüte, moderat salztolerant
Мещерский 99	(ТУЖИЛИН et al. 2002)	Russland	zweijährig, hoch ertragreich, cumarinreich
Обский гигант	(ТУЖИЛИН et al. 2002)	Russland	zweijährig
Медет	(ШУКИС & ГУРКОВА 2006)	Russland	k. A.
Эней	(ШЛАПУНОВ 2008)	Weißrussland	k. A.
Коптевский	(ШЛАПУНОВ 2008)	Weißrussland	k. A.
Adela	(Výzkumný ústav pícninářský Troubsko o.J.)	Tschechien	einjährig, cumarinreich
Jota	(EVANS & THOMPSON 2006)	Australien	einjährig, cumarinarm, ertragsstark, salztolerant

Sorte	Quelle	Land	Besonderheiten
Hubam	(HIRSCH o.J.; BECKER-DILLINGEN 1929; RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	einjährig, mittelfrüh, Blüte vom Spätsommer bis zum Frost
Israel	(HIRSCH o.J.; SMITH & GORZ 1965; RHYKERD & HANKINS 2007)	USA	einjährig, späte Blüte, als Winterzwischenfrucht im Süden
Floranna	(HIRSCH o.J.; RHYKERD & HANKINS 2007)	USA	einjährig, als Winterzwischenfrucht im Süden
Emerald	(SMITH et al. o. J.)	USA	einjährig, vieltriebig

Tab. 4: *Melilotus officinalis*, Sortenbeschreibungen nach 1990 (unvollständige Liste)

Sorten	Quelle	Land	Besonderheiten
Common Yellow	(HENNING & WHEATON 1993; MOYER et al. 2007; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, (Landsorte oder Sortenmischung) größte Verbreitung, nach Moyer ähnlich Norgold
Yukon	(Alberta Agriculture, Food and Rural Development 2007; HENNING & WHEATON 1993; MOYER et al. 2007; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, frühe Blüte, etwas salztolerant, cumarinreich, ertragreich, sehr winterhart, verträgt Herbstfröste, weniger mahdempfindlich
Norgold	(SNEYD 1995; Alberta Agriculture, Food and Rural Development 2007; MOYER et al. 2007; HIRSCH o.J.; MEYER 2005)	Kanada	zweijährig, feinstängelig, sehr winterhart, etwas salztolerant, cumarinarm
Madrid	(HENNING & WHEATON 1993; RHYKERD & HANKINS 2007; SPECHT 1939; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, etwas spätere Sorte, hohe Toleranz zu Herbstfrösten
Goldtop	(HENNING & WHEATON 1993; RHYKERD & HANKINS 2007; MEYER 2005)	USA, Kanada	zweijährig, spätreifend, ertragreich
Erector	(RHYKERD & HANKINS 2007)	USA, Kanada	zweijährig, aufrechter Wuchs

Sorten	Quelle	Land	Besonderheiten
Омский Скопоспелов	(СТЕПАНОВ et al. 2005)	Russland	zweijährig, schnellwüchsig, mehltauresistent, cumarinarm
Судогодский	(ТУЖИЛИН et al. 2002)	Russland	zweijährig, ertragreich, früh- reif, cumarinreich
Сибирский	(ТУЖИЛИН et al. 2002)	Russland	cumarinreich

Züchtung cumarinarmer Sorten

Die Verringerung des Cumaringehaltes war seit den 1930er Jahren eines der Hauptziele der Steinkleezüchtung. Cumarinarne Stämme wurden züchterisch mit sehr unterschiedlichen Methoden geschaffen (Tab. 5). Smith gelang in Wisconsin eine Artbastardierung von *M. albus* und dem natürlich cumarinarmen *M. dentatus* (SMITH 1964). Scheibe und Hülsman behandelten Samen mit Mutationen auslösenden Chemikalien und Micke nutzte die Wirkung ionisierender Strahlen (MICKE 1962). Es wurden einige cumarinarme Stämme entwickelt, die aber keine Anbaubedeutung erreichten. Auf dem deutschen Markt sind cumarinarme Sorten oder Stämme aktuell nicht verfügbar. Cumarinreiche Stämme sind in der Regel ertragreicher als cumarinarme (PILLAI 1962; DANCS 1964; SANDERSON et al. 1986; MEYER 2005). DANCS (1964) vermutet eine positive Korrelation zwischen dem Cumaringehalt und der Winterfestigkeit beim Steinklee, Beobachtungen von PILLAI (1962) sprechen dagegen.

Tab. 5: Cumarinarne Züchtungen von *Melilotus albus*

Bezeichnung	Quelle	Zuchtmethoden
Acumar	(RUDORF & SCHWARZE 1958)	Bastardisierung mit <i>M. dentatus</i> in Deutschland
Cumino	(GREENSHIELDS 1958)	Bastardisierung mit <i>M. dentatus</i> in Saskachewan
Омский Скопоспелов	(СТЕПАНОВ et al. 2005)	k. A.
Denta	(SMITH 1964)	Bastardisierung mit <i>M. dentatus</i> in Wisconsin
Gülzower Zuchtstamm	(SCHLOSSER-SZIGAT 1960; 1962)	Weiterzüchtung der Artkreuzung <i>M. albus</i> x <i>M. dentatus</i> aus Wisconsin u. eigene Bastardisierungen zwischen <i>M. albus</i> x <i>M. dentatus</i> und <i>M. albus</i> x <i>M. officinalis</i>
Pioneer	(STEVENSON & WHITE 1940)	Selektion eines Stammes mit geringer β -

Bezeichnung	Quelle	Zuchtmethoden
		Glucosidase-Aktivität in Saskachewan
Polara	(GOPLEN 1971)	Einkreuzung von cumarinarmen Stämmen von <i>M. albus</i>
Norgold Art: <i>M. officinalis</i>	(GOPLEN 1981; Alberta Agriculture, Food and Rural Development 2007; HIRSCH o.J.; MOYER et al. 2007)	Einkreuzung von cumarinarmen Stämmen von <i>M. albus</i>

Die Cumarinsynthese und die β -Glucosidase-Aktivität werden durch voneinander unabhängige Gene bestimmt. Der niedrige Cumarinegehalt wird dabei vorrangig rezessiv vererbt. Der überwiegenden Fremdbestäubung wegen kreuzt dieses Merkmal bei freier Abreife deshalb zunehmend aus. Die Erhaltung cumarinarmer Sorten erfordert aus diesem Grund die kontinuierliche Arbeit des Züchters (SMITH & GORZ 1965).

Aktuelle Situation des Saatgutangebotes in Deutschland

Da in Westeuropa Steinklee heute kaum angebaut wird, finden hier keine Züchtung und kaum Saatgutvermehrung statt. Weder der Weiße Steinklee noch der Gelbe Steinklee sind im Artenverzeichnis zum Saatgutverkehrsgesetz²⁶ aufgeführt. Die Vermehrung und der Vertrieb dieser Pflanzenarten unterliegen deshalb hier keinen Kontrollbestimmungen. In der Regel sind zum Saatgut keine Informationen außer der Artbezeichnung erhältlich. Die in den vergangenen fünf Jahren in Deutschland gehandelten Saatgutpartien stammten aus Kanada, Argentinien, Neuseeland und der Ukraine. In der Regel ist in Deutschland nur eine Partie pro Jahr verfügbar. Gelber Steinklee wird in kleinen Mengen in Deutschland vermehrt, aber auch hier ist die ursprüngliche Herkunft unbekannt. Ein- und zweijährige Stämme lassen sich anhand von Saatgutmerkmalen nicht unterscheiden.

2.2 Nutzungshistorie

Die Verbreitung des Steinklees über seine Ursprungsgebiete hinaus begann im 17. Jahrhundert als Zier- und Medizinalpflanze in englischen Gärten (GRAICHEN 1863). Im 18. Jahrhundert gelangte er als Futter- und Gründüngungspflanze nach Skandinavien, Nordamerika und Mitteleuropa (SMITH & GORZ 1965). Mit dem 19. Jahrhundert wurde er auch in Neuseeland, Australien und Südamerika eingeführt. Eine gewisse Rolle spielt der Steinklee auch als Futterpflanze in tropischen Klimagebieten (YISEHAK 2008; IPK Gatersleben o. J.).

²⁶ BMELV (2012)

In Weißrussland und Russland haben der Steinkleeanbau und die Steinkleeforschung eine lange Tradition. Bis heute werden Steinkleekulturen dort zur Futterproduktion und Bodenverbesserung auf sonst ertragsschwachen Böden genutzt. Da die ursprünglichen Genzentren im Gebiet der ehemaligen Sowjetunion liegen, kann die Züchtung in diesen Ländern auf einen großen Fundus verschiedenster Formen zurückgreifen. Züchtungsfortschritte wurden allerdings kaum in die Saatgutproduktion eingeführt (СУВОРОВ 1950; SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007; ТУЖИЛИН et al. 2002; СТЕПАНОВ et al. 2005; ШЛЯПУНОВ 2008).

Eine größere Bedeutung erlangte der Steinklee zum Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts in den USA und im südlichen Kanada, wo er vor allem seiner bodenfruchtbarkeitsfördernden Wirkung wegen angebaut wurde (SMITH & GORZ 1965). Nach Mitte des 20. Jahrhunderts ging der Anbau drastisch zurück, was auf eine starke Ausbreitung der schädigenden Blattrandkäfer (hier vor allem *Sitona lineatus*), auf die Nachteile bei der Futternutzung und vor allem auf den erhöhten Einsatz mineralischer N-Dünger zurückgeführt wird (SMITH & GORZ 1965). In jüngerer Zeit nimmt das Interesse am Steinkleeanbau in Nordamerika nach einer Zeit fast völliger Bedeutungslosigkeit wieder zu. Die besonderen Fähigkeiten des Steinklees gewinnen unter den heutigen wirtschaftlichen Bedingungen, der Ressourcenverknappung (hohe Düngerpreise), der Rückbesinnung auf Fruchtfolgen und der Zunahme ökologisch wirtschaftender Betriebe neue Bedeutung (MOYER et al. 2007; SCHMIDT et al. 2007; Organic Agriculture Centre of Canada 2008; BLACKSHAW et al. 2010).

Jüngere Forschungen in Australien richten sich auf die Entwicklung produktiver Weidesysteme auf salinen Böden (EVANS & KEARNEY 2003; EVANS & THOMPSON 2006; DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006).

In Deutschland wurde Steinklee nur in sehr begrenztem Umfang und in den letzten 50 Jahren faktisch gar nicht mehr angebaut. Die Gründe dafür sind sein hoher Cumaringehalt und die daraus folgenden Nutzungseinschränkungen (s. S. 17), die teilweise unsicheren Anbauergebnisse und die allgemeine Verfügbarkeit mineralischer Stickstoffdünger ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Auch in den 1950er Jahren wurde der Steinkleeanbau in Deutschland nicht sicher beherrscht. Deshalb liegen aus dieser Zeit unterschiedliche Einschätzungen zur Anbauwürdigkeit vor. Einige Forschungsergebnisse aus den 1950-60er Jahren zu wichtigen Eigenheiten²⁷ des Steinklees fanden aufgrund des Anbaurückgangs keinen Eingang in übliche Anbauverfahren und gerieten wieder in Vergessenheit (s. Abschnitt 2.4.7). Heute ist der Steinklee als Kulturpflanze in Deutschland fast ohne Bedeutung. Die Kenntnisse über die Besonderheiten dieser zweijährigen

²⁷ z. B. die Abhängigkeit der Winterhärte von Aussaat- und Ernteterminen (BRUMMUND 1958)

Leguminosen und ihre Anbaubedingungen sind wenig verbreitet. Auch die speziellen Standortansprüche sind nicht ausreichend bekannt.

2.3 Nutzungsrichtungen

2.3.1 Futternutzung

Steinklee wird als Heu, Silage, Grünfutter und im Weidebetrieb zur Fütterung eingesetzt (DRAKE & RUNDLES 1919; SMITH & GORZ 1965; MEYER 2005; RHYKERD & HANKINS 2007). Für die intensive Landwirtschaft in Mitteleuropa hat er als Futterpflanze praktisch keine Bedeutung. Im Gehalt an Protein, Faser und Energie entspricht der Steinklee im jungen Stadium der Luzerne (CYBOPOB 1950; SIMON 1960b; PÄTZOLD 1961; PILLAI 1962; KREUZ 1965; PETERSEN 1967). Probleme entstehen aus dem relativ hohen Gehalt des bitter schmeckenden sekundären Pflanzenstoffes Cumarin, welches die Aufnahme des Futters durch die Tiere beeinflusst und bei Umwandlung in Dicumarol zur Hemmung der Blutgerinnung führt (s. S. 17f). Bei der Weidenutzung besteht letztere Gefahr nicht. Auch soll eine zeitlich begrenzte Fütterung (bis zu zwei Wochen) die mögliche Schädigung verhindern (HENNING & WHEATON 1993). Über die Futteraufnahme durch die verschiedenen Nutztierarten existieren unterschiedliche Angaben. Es gibt viele Berichte über einen relativ problemlosen Einsatz nach einer Gewöhnungszeit (GRAICHEN 1863; DRAKE & RUNDLES 1919; BECKER-DILLINGEN 1929; SPECHT 1939; SMITH & GORZ 1965; KOCH 1969; ИЛЪАНЪНОВ 2008), aber auch solche über völlige Ablehnung durch die Tiere (BLOMEYER 1889; SCHEIBE et al. 1953). Einige Autoren berichten über bessere Ergebnisse bei Fütterung in jungem Zustand, als Silage, nach dem Trocknen oder durch Mischung mit anderen Futterpflanzen (LANGETHAL 1851; SCHEIBE et al. 1953; SIMON 1960a; PÄTZOLD 1961; PETERSEN 1967; STÄHLIN 1969).²⁸

2.3.2 Bodenverbesserung und Gründüngung/ Vorfruchtwert

Steinklee besitzt einen außerordentlich hohen Vorfruchtwert. Die Hauptwirkungen sind in der Literatur umfassend benannt. Die wichtigste Rolle spielt dabei das sehr kräftige Pfahlwurzelsystem. Die Pflanzen sind in der Lage, Bodenverdichtungen zu durchdringen, den Untergrund zu erschließen und dadurch die Wasser- und Nährstoffversorgung auch für die Nachfrucht zu verbessern, schwerlösliche Phosphate aufzuschließen und in Symbiose mit *Rhizobium meliloti* Luftstickstoff zu binden. Die reiche Wurzelbildung führt zu Bodenlockerung, Humusaufbau und Beförderung der Bodenbiologie. Schwere undurchlässige Böden können so mit Steinklee landwirtschaftlich erschlossen werden (SPECHT 1939; GOPLEN 1980). Auf Sandböden bildet nur Schafschwingel mehr Wur-

²⁸ Auf unterschiedliche Erfahrungen mit Steinklee verweist auch BLECKEN (1948).

zelmasse als Steinklee, dieser allerdings mit einem viel weiteren C:N-Verhältnis (PÄTZOLD 1961). Die hohe Bodenbeschattung begründet einen guten Garezustand des Oberbodens. (BECKER-DILLINGEN 1929; BLECKEN 1948; REMER 1954; KUTSCHERA 1960; SIMON 1960a; KREUZ 1965; PETERSEN 1967). Das besondere Durchdringungsvermögen wurde in Gefäßversuchen belegt, in denen nur Steinkleepflanzen Bodensäulen mit hoher Verdichtung und unabhängig von der Bodenfeuchte durchdrangen (PFLEGER 1990).²⁹

Als Leguminose gehört Steinklee zu einer anderen Pflanzenfamilie als die heute auf Sandböden fast ausschließlich angebauten Gramineen Winterroggen und Mais. Sein Anbau ist deshalb auch aus phytosanitärer Sicht vorteilhaft. Gegenüber einigen Nematodenarten soll Steinklee als Neutral- oder Feindpflanze wirken (DECKER 1963; REENTS et al. 2009).

Nach dem Jugendstadium unterdrückt ein wüchsiger Steinkleebestand Unkräuter wirkungsvoll und hinterlässt für die Folgefrucht ein relativ unkrautfreies Feld (BERGER 1952). Dabei bestehen Unterschiede zwischen den Sorten, Unkrautarten und den Nutzungsvarianten. Steinkleemulch soll zusätzliche Effekte zeigen. Die Unkrautunterdrückung führen Moyer et al. auf die hohe Bodenbedeckung und auf allelopathische Effekte zurück und vermuten im Cumarin den Stoff mit der allelopathischen Wirkung. Daraus soll sich für ökologisch wirtschaftende Betriebe die Möglichkeit ableiten, mit dem Steinkleeanbau in einem Minimalbodenbearbeitungssystem N-Sammlung und Unkrautbekämpfung zu kombinieren (MOYER et al. 2007). Um Unkräuter effektiv durch eine Mulchschicht zu unterdrücken, sollte die Biomasseauflage mindestens 450 g m⁻² betragen (ALMEIDA, 1985 zit. in BRANDSÆTER et al. 2008). Diese Mengen lassen sich mit Steinklee nach der Überwinterung problemlos erzeugen.

Mit diesen guten Vorfruchteigenschaften kann die Ertragssicherheit und -höhe der Folgekulturen verbessert werden. Die N-Fixierung bringt ökonomische und ökologische Vorteile für die Folgefrüchte. Durch die Lockerungswirkung der Pfahlwurzeln wird eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität in der Fruchtfolge möglich.

„Die Wirkung der Frucht-, Folge' ist wesentlich abhängig von dem Einfluss der Wurzelentwicklung der Vorfrucht auf die Bodenstruktur, von Menge und Nährstoffgehalt der im Boden verbleibenden Wurzel- und Stoppelrückstände sowie von deren Zersetzungsgeschwindigkeit“ (SIMON et al. 1957). Die konkrete Wirkung auf den Ertrag der Nachfrucht hängt also neben dem unter den tatsächlichen Anbaubedingungen erreichten Biomassewachstum des Steinklees vom Zusammenspiel weiterer Faktoren ab. So wird die Mineralisationsrate von der Witterung (v. a. Bodenfeuchte und Temperatur) und der

²⁹ Vergleichspflanzen waren Ölrettich, Rotklee und verschiedene Gramineen.

Zusammensetzung des Pflanzenmaterials, der Menge an eingearbeitetem Material, vom Wasserverbrauch der Steinkleekultur und dem Wasserbedarf der Nachfrucht bestimmt (FOSTER 1990). Durch Unterschiede zwischen verschiedenen Boden- Klimaregionen und Fruchtfolgen können Vorfruchteigenschaften quantitativ kaum verallgemeinert werden.

Jeder Schnitt im Sommer des Ansaatjahres reduziert die Wurzelmasse im Herbst (GROYA & SHEAFFER 1985; SCHMIDT et al. 2007). Da große Wurzelmassen die Voraussetzung für einen kräftigen Neuaustrieb im Frühjahr oder eine hohe Gründüngungswirkung sind, sollte bis zum Herbst kein Schnitt erfolgen. Ein Sommerschnitt im ersten Jahr ist nur bei starkem Wachstum und dadurch entstehende Lagergefahr anzuraten.

In Versuchen von MOYER et al. (2007) erhöhte sich der Ertrag von Sommerweizen um bis zu 40% nach einer Steinkleevorfrucht im Vergleich zur sonst üblichen Brache. BLACKSHAW et al. (2001) berichten von 50-75 % Ertragssteigerung in ähnlichen Varianten. In Versuchen von MEYER (1987) erbrachten die Varianten Steinklee Gründüngung und Mineraldüngung mit 110 kg N ha⁻¹ den gleichen Weizenertrag. STICKLER & JOHNSON (1959b) erreichten nach Steinklee Gründüngung den gleichen Körnermaisenertrag wie mit einer Mineraldüngung von 85 kg N ha⁻¹. DUKE (1983) beziffert den Mehrertrag bei Mais durch Steinklee Gründüngung auf 13,8 %.

SIMON (1960b) schätzt den Mehrertrag auf sandigen Ackerböden mit 10% für die erste Nachfrucht. Eine positive Vorfruchtwirkung des Steinklees ist auch im zweiten Nachbaujahr noch im Ertrag messbar, wenngleich der Wert für die erste Nachfrucht am größten ist. Unter estnischen Anbaubedingungen bei Sommergetreidenachfrüchten fanden VIIL & VÖSA (2005) dafür ein Verhältnis von ca. 75 % zu 25 %. MEYER (2005) beschreibt einen Versuch mit einer vierjährigen positiven Vorfruchtwirkung nach zweijährigem Steinkleeanbau. Nach dreijährigem Futterbau unterschieden sich die Nachfruchterträge faktisch nicht von denen nach dreijährigem Rotklee- oder Luzerneanbau (SIMON et al. 1957)³⁰. In einem anderen langjährigen Fruchtfolgeversuch lies sich der hohe Vorfruchtwert des Steinklees mindestens bis zur 3. Nachfrucht auf trockenen Sandböden nachweisen (SIMON 1960a; RÜBENSAM & SIMON 1961). Dabei stieg der Vorfruchtwert im Unterschied zu Gras oder Klee gras mit zunehmender Bestandesdichte und Ertragshöhe an. Der Vorfruchtwert von Leguminosen und ausdrücklich auch von Steinklee lässt sich auf Sandböden durch geringe Mengen organischer Dünger über die Verbesserung der biologischen Aktivität weiter steigern (SIMON 1960b).

Da auf sandigen Standorten Wasser der wichtigste ertragsbegrenzende Faktor ist, kann eine Vorfruchtwirkung hier deshalb erst bei ausreichender Wasserversorgung der Nach-

³⁰ Geprüft wurden zwei Nachbaujahre mit den Kulturen Hafer-Kartoffeln, bzw. Kartoffeln-Hafer.

frucht wirksam werden (SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962; SIMON & ZAJONZ 1962b). Auf sehr leichtem Sand ist diese Wirkung also in besonderem Maße von der aktuellen Jahreswitterung abhängig, während mit zunehmendem Feinerdeanteil die Wurzelbildung des Steinklees zusätzlich zu einer günstigeren Wasserversorgung der Nachfrucht führt. Auf Sandböden bewirken Maßnahmen, die zu einer verzögerten Umsetzung der N-reichen Ernterückstände der Steinkleekultur führen, eine länger anhaltende Vorfruchtwirkung (SIMON & ZAJONZ 1962b; MOYER et al. 2007).

N-Fixierung und -Bereitstellung für die Nachfrucht

Ein Großteil des Verbrauches an Primärenergie durch konventionelle Landwirtschaft geht auf den Einsatzes von N-Düngemitteln zurück (HANSEN et al. 2001; BESTE & BECKER 2009; ZENTNER et al. 2011). Eine Verringerung des Einsatzes von N-Düngemitteln für die Nachfrucht trägt also zur Verbesserung der Energieeffizienz, der Ökobilanz und der Wirtschaftlichkeit des Kulturpflanzenanbaus bei. Selbstverständlich ist es dabei wichtig, den Stickstoff produktiv zu nutzen und einer potentiellen Auswaschungsgefahr anbaustrategisch zu begegnen.

Das N-Fixierungspotential von Leguminosen liegt allgemein im Bereich von 80 bis 300 kg (400) N ha⁻¹ (BECK 1968; HELDT et al. 2008). Die konkreten Standortverhältnisse verursachen dabei große Unterschiede unter Feldbedingungen (s. S. 11). Der Nodulationserfolg wird zusätzlich von den aktuell im Boden verfügbaren N- und P-Konzentrationen und der Temperatur variiert (OTTOW 2011)³¹. Außerdem beeinflussen die Genotypen der Symbionten und der Entwicklungs- und Gesundheitszustand der Wirtspflanze die Effektivität der N-Fixierung. Auch die Anbaubedingungen (Länge der zur Verfügung stehenden Wachstumszeit, Erntemaßnahmen) bestimmen über maximal erreichbaren N-Mengen. Im Mittel stammen ca. 70 % des in den Pflanzen enthaltenen Stickstoffs aus der Luft (SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN 2003). Die in der Literatur angegebenen Mengen zu den Stickstofferträgen des Steinklees umfassen aus den o. g. Gründen die weite Spanne von 60 – 300 kg ha⁻¹ (s. Tab. 30).

Etwa 60 % (15-80 %) des von Leguminosen hinterlassenen Stickstoffs stehen der ersten Nachfrucht zur Verfügung (KAHNT 1983; HARTMANN et al. 2006). Die N-Verfügbarkeit aus der Gründüngung für die Nachfrucht hängt von der Intensität der Bodenbearbeitung, dem Grad der Einarbeitung, der biologischen Aktivität des Bodens, der Witterung, der Menge und der Zusammensetzung der organischen Substanz (Rohfasergehalt, C:N-Verhältnis) und der zusätzlichen Mineraldüngung ab (KAHNT 1983; MEYER 1987). Die N-Mineralisation verläuft bei jungem Pflanzenmaterial schneller als bei älterem. Dieser Effekt ist bei Steinklee aufgrund der Zweijährigkeit stärker ausgeprägt als bei ausdauernden Leguminosen.

³¹ Die Reduzierung der N-Fixierung durch hohe Boden-N_{min}-Gehalte hat PIETSCH (2004) auch für *M. albus* sehr anschaulich belegt.

ernden Leguminosen und kann (in Grenzen) für die Anpassung an den N-Bedarf der Nachfrucht genutzt werden (WIVSTAD 1999; CLARK 2007). Für Gelben Steinklee bestimmten BRANDSÆTER et al. (2008) eine im Vergleich zu anderen Leguminosen (Weißklee, Winterwicke) verzögerte N-Mineralisation der Pflanzen, die sich durch vergleichsweise weitere C:N-Verhältnisse der Biomasse erklären. SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2003) ermittelten für unter Deckfrucht ausgesäten Gelben Steinklee vor der Überwinterung ähnliche C:N-Verhältnisse, Lignin-Gehalte und Mineralisationsraten wie bei anderen legumen Untersaaten. Da physiologisch ältere Steinkleepflanzen deutlich langsamer mineralisiert werden als jüngere und ihr N-Gehalt auch geringer ist, kann die Einarbeitung von älteren Pflanzen trotz größerer Aufwuchsmengen zu niedrigeren Nitratgehalten im Boden als bei jüngeren Pflanzen führen (FOSTER 1990).

Bei der Umsetzung der organischen Steinkleesubstanz wird nur ein Teil des Stickstoffs vollständig mineralisiert und von der Folgekultur aufgenommen. Ein Großteil wird in die organische Substanz des Bodens eingebaut und trägt über langfristige Humusbildung zum Humusniveau bei. Aus diesem wird Stickstoff mineralisiert, der von Folgekulturen aufgenommen wird. Der Effekt eines Steinkleeanbaus wirkt also langfristig (FOSTER 1990). Unter den trockenen Bedingungen von Nord-Dakota wies MEYER (1987) nach, dass nach einer Steinklee-Gründung 110 kg N ha^{-1} im ersten Jahr und 55 kg N ha^{-1} im zweiten Jahr von den Folgefrüchten genutzt werden können.

Es ist günstig, wenn die N-Mineralisation einer Gründung mit dem N-Bedarf der Folgefrucht parallel läuft. Zwischen der N-Aufnahme und der N-Effizienz der Kulturen bestehen aber Unterschiede, die zu großen Abweichungen der Wirksamkeit einer Leguminosengründung führen. Eine Anpassung der N-Mineralisation der Gründung mit der N-Aufnahme der Nachfrucht erfordert eine zeitliche und räumliche Annäherung der beiden Prozesse. Anders als Foster (s. o.) schlussfolgert BÄTH (2000) aus ihren Versuchen, dass ein Großteil des in Leguminosen enthaltenen Stickstoffs innerhalb eines Monats nach der Einarbeitung in den Boden mineralisiert wird (BÄTH 2000).

Überwinternde Leguminosen reduzieren die Gehalte an mineralischem Stickstoff im Boden auch während der Auswaschungsperiode. Nach einer Einarbeitung im folgenden Frühjahr sind im Vergleich zur (unkrautbewachsenen) Brache hohe N_{\min} -Gehalte in den oberen Bodenschichten und geringe in den tieferen Schichten zu finden (SOERSEN & THORUP-KRISTENSEN 2003).

Das hohe N-Anreicherungsvermögen des Steinklees bedingt die Gefahr von Auswaschungsverlusten nach dem Umbruch. Mit der anschließenden Bodenbearbeitung (erst kurz vor der Wiederbestellung) und der Wahl der Nachfrucht (mit hohem N-Bedarf) kann darauf Einfluss genommen werden (BLECKEN 1948).

P-Mobilisierung

Steinklee soll ein besonders hohes Vermögen haben, Bodenphosphorvorräte pflanzenverfügbar aufzuschließen (BLECKEN 1948; SMITH & GORZ 1965; KREUZ 1965; JOST 1988; Organic Agriculture Centre of Canada 2008; LOIDE 2010). ТУЖИЛИН et al. (2002) schreiben, dass Wurzelausscheidungen des Steinklees den Aufschluss besonders hoher Mengen schwer löslichen Phosphors aus dem Boden verursachen. VOLLERT (1964) wies experimentell hoch signifikante Erhöhungen bei der Lösung verschiedener schwer löslicher Phosphate durch Rhizosphärenprodukte von Steinkleewurzeln nach. Für die Leguminosen Weiße Lupine (*Lupinus albus*) und Weißklee (*Trifolium repens*) wurden weitere hoch effektive Funktionsmechanismen zur P-Aneignung nachgewiesen (OTTOW 2011). Dass auch Steinkleewurzeln über ähnliche Systeme verfügen, legen die o. g. Hinweise nahe.

Rekultivierung

Steinklee wird seit langem bei der Rekultivierung von Flächen (Halden, Tagebaugebiete, Ödland und durch Übernutzung degradierte Böden), zur Befestigung von Böschungen und als Erosionsschutzbegrünung eingesetzt (HEGI 1923; KUTSCHERA 1960; SIMON & ZAJONZ 1962a; SMITH & GORZ 1965; KÖSEOĞLU 1970; MAAS 1993). Für die Sanierung von mit polyzyklischen aromatischen Kohlenstoffen kontaminierten Böden sind Steinkleekulturen als besonders geeignet eingeschätzt worden (PARRISH et al. 2005; BADALÍKOVÁ et al. 2010).

Auf landwirtschaftlichen Flächen kann Steinklee zur Vorbereitung des Luzerneanbaues auf Böden, die für die Luzerne ungünstige Bedingungen bieten oder auf denen sie seit langem nicht angebaut wurde, eingesetzt werden. Die beschriebene positive Wirkung besteht wahrscheinlich in der sicheren Vermehrung der relevanten Rhizobien (s. S. 9) (BECKER-DILLINGEN 1929; BLECKEN 1948; SIMON 1960b).

2.3.3 Einsatz zur Biogasgewinnung

Die Verwertung von Steinkleesubstrat in Biogasanlagen wurde erstmals von MAKOWSKI (2004b) angeregt. Für die Bewertung des ökonomischen Ertrages einer Biogasgewinnung ist die mögliche Methanausbeute aus einem bestimmten Substrat von entscheidender Bedeutung.

Eine Methode, die mögliche Gasausbeute anhand der Ergebnisse der Weender Futtermittelanalyse und Tabellenwerten zur Verdaulichkeit einzuschätzen, werden von FRIEHE et al. (2010) beschrieben. Da für Steinklee dabei auf Angaben aus älteren Tabellenwerken zurückgegriffen werden muss, ist die Vergleichbarkeit so ermittelter Werte mit denen anderer Kulturen eingeschränkt. Außerdem sind nicht für alle Vegetationsstadien, für die eine Biomassevergärung möglich erscheint, Verdaulichkeitskennziffern vorhan-

den, so dass sich der Schätzfehler weiter erhöht. Die mit diesen Einschränkungen von DIETZE et al. (2009) berechneten theoretischen Methanausbeuten liegen für einen Herbstschnitt im Ansaatjahr bei $264 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ und für ein Gemenge aus Mais und Steinklee bei $291 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$.

Experimentelle Versuche zur Bestimmung des Methanbildungspotentials von Steinklee sind nur von KRYZEVICIENE et al. (2007), DIETZE (2010) und MENKE (2011) bekannt, wobei erstere nur ein Steinkleeergrasgemenge anbauten und vergoren. DIETZE et al. (2009) ermittelten in einem Laborversuch eine Methanausbeute von $231 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ für einen Steinklee-Herbstschnitt im Ansaatjahr und $270 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$ für einen Schnitt zum Blühbeginn im zweiten Vegetationsjahr. Diese Mengen lagen um 27 % bzw. 14 % unter den entsprechenden Werten für Silomais. Eine Mischung aus Mais- und Steinkleesubstrat erzielte eine von Methanausbeute von $254 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$. Für diese Analysen konnten allerdings verfälschende Probenahmefehler nicht ausgeschlossen werden (DIETZE 2010)³². KRYZEVICIENE et al. (2007) untersuchten das Biogaspotential einer Mischung von *Phalaris arundinacea* und *M. officinalis*, für die sie eine Ausbeute von $326 \text{ m}^3 \text{ Biogas t}^{-1} \text{ TM}$ aus Juni-Schnitten und $551 \text{ m}^3 \text{ Biogas t}^{-1} \text{ TM}$ aus September-Schnitten mit einem Methangehalt von 62,1% bzw. 64,4% ermittelten. Hier lagen die Varianten mit Steinklee unter den anderer Versuchsvarianten³³. Bei einem Vergleich verschiedener Winterzwischenfrüchte im Hohenheimer Biogasertragstest wurde für Gelben Steinklee (Erntetermin: Mai) ein spezifischer Methanertrag von $252 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg TM}^{-1}$ festgestellt. Alle mitgeprüften Leguminosen wiesen ein ähnliches Methanertragspotential auf. Die Methanerträge der Gramineen lagen um $50 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg TM}^{-1}$ höher (MENKE 2011).

Soweit eine Bewertung aus den o. g. Versuchen überhaupt zulässig ist, scheinen die Methanausbeuten von Steinklee geringer als die von Silomais auszufallen und entsprechen etwa den Werten für Luzerne (EDER et al. 2005; BELAU 2012). Ob zusätzlich das Cumarin des Steinklees den Biogasprozess negativ beeinflusst, kann aus diesen wenigen Analysen nicht abgeleitet werden. Hemmungen von Mikroorganismen durch Cumarin sind bekannt, die Wirkung ist allerdings artspezifisch. Schimmelpilze, Milchsäurebakterien und Mehлтаupilze sind beispielsweise nicht betroffen (s. S. 16, Abschnitte 2.4.6 und 2.4.4).

Bei der Monovergärung nachwachsender Rohstoffe treten in der Praxis immer wieder Prozessstörungen auf. Mangel an Spurenelementen ist dabei eine der möglichen Ursachen, mit der besonders bei einseitiger Maisvergärung zu rechnen ist (BAUER et al.

³² Die Ergebnisse von DIETZE et al. (2009) und DIETZE (2010) beziehen sich auf denselben Versuch. In DIETZE (2010) sind die Methanausbeuten nur graphisch dargestellt, weshalb die Einzelwerte aus DIETZE et al. (2009) zitiert werden.

³³ *Phalaris arundinacea* und Mischungen von *P. arundinacea* mit *Lupinus polyphyllus* und mit *Galega orientalis*

2011). Eine gemeinsame Vergärung von Mais- und Steinkleesubstrat könnte aus diesem Grund sogar vorteilhaft sein.

In den Wildpflanzenmischungen „Biogas“ der Firma Saaten-Zeller ist Steinklee (*M. albus* und *M. officinalis*) in Saatgutanteilen bis 10% enthalten (PROVOROV & SIMAROV 1990). Sollte Steinklee den Vergärungsprozess positiv oder negativ beeinflussen, wird sich das bei diesen Anteilen sicher auf den wirtschaftlichen Ertrag auswirken.

2.3.4 Bienenweide/ Honigproduktion

Der Wert des Steinklees als Bienenfutter- und Nektarpflanze ist unumstritten hoch (PÄTZOLD 1961; PRITSCH 1958; SMITH & GORZ 1965; SIMON 1960a). Die Nutzung von Sorten und Herkünften mit unterschiedlicher Reifezeit (Tab. 3, Tab. 4) ermöglicht eine Verlängerung der Blühperiode. Zusätzlich kann die Blütezeit durch einen Ernteschnitt vor Blühbeginn gestaffelt werden. Je nach den Anbaubedingungen und der Wüchsigkeit des Bestandes sollen 100 – 300 kg Honig ha⁻¹ (СУБОРОВ 1950; SCHELUTO et al. 2007; ШЛЯПУНОВ 2008); maximal sogar 500 oder 600 kg ha⁻¹ (KOSCHTSCHJEJEW 1990; ТУЖИЛИН et al. 2002; SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007; ДЗЮБЕНКО & ДЗЮБЕНКО 2008) gewonnen werden können. Steinklee gibt einen hellen festen Honig guter Qualität (LOVELL, H. B. (1956): Honey Plants Manual. Ohio zit. in (SMITH & GORZ 1965))³⁴.

Neben Honigbienen besuchen zahlreiche weitere Insekten aus den Familien der Bienen (v.a. *Halictidae*), Wespen (*Vespoidea*) und der Echten Fliegen (*Muscidae*) die Blüten des Steinklees. Außerdem lassen sich verschiedenste Arten von Käfern (*Coleoptera*), Schmetterlingen (*Lepidoptera*), Zweiflüglern (*Diptera*) und Hautflüglern (*Hymenoptera*) an Steinkleepflanzen finden (SMITH & GORZ 1965; TURKINGTON et al. 1978).

2.3.5 Samenbau

Der Samenbau ist beim Steinklee verhältnismäßig einfach. Technische Probleme, die sich aus der möglichen großen Wuchshöhe des Steinklees zur Zeit der Samenreife (> 2m) ergeben, können bei einer Samennutzung nach einem ersten Schnitt und/ oder auf sandigeren Böden vermieden werden (DESAI 2004). Abgesehen von ungünstigen Wuchsbedingungen kann mit einem Samenertrag von 7 bis 12 (maximal bis zu 20) dt ha⁻¹ aus einem ersten Schnitt und 4 bis 11 dt ha⁻¹ nach einer vorherigen Nutzung gerechnet werden (SPECHT 1939; BLECKEN 1948; SIMON 1960a; SPECHT et al. 1960; SMITH & GORZ 1965). Die Samengewinnung aus einem zweiten Schnitt ist mit einer ungleichmäßigeren Abreife und geringeren Samenqualität verbunden (SKIRDE 1957; BASKIN & BASKIN 1988). Hohe Samenerträge bedingten in der Vergangenheit relativ niedrige Saatgutkosten im Vergleich zu anderen schwieriger zu vermehrenden kleinkör-

³⁴ Die gleiche Beschaffenheit hatte ein Steinkleehonig aus dem Jahr 2011 in MV.

nigen Leguminosen (SIMON 1960a). In diesem heute nicht mehr vorhandenen Unterschied lag ein Vorzug des Steinklees als preisgünstige Gründüngungspflanze.

2.3.6 Thermische Verwertung

Steinklee Biomasse kann auch als Material für die thermische Verwertung eingesetzt werden. Dafür werden die abgetrockneten Stängel im Oktober mit einem Schwadmäher geerntet und nach einer Trockenzeit zu Ballen gepresst. Die weitere Verarbeitung verläuft analog zur Strohverbrennung und angepasst an die verwendete Brenntechnik. Der Heizwert dieser Stängel entspricht der anderer halmartiger Biomassen (Tab. 6). Im Verbrennungsvorgang wirkt der hohe Mineralstoffgehalt des Leguminosenstrohs nachteilig.

Tab. 6: Heizwert ausgewählter Biomassen³⁵ (ermittelt nach DIN 51900), verändert nach DIETZE (2008)

Biomasse	MJ kg ⁻¹ TM
Steinklee, trockene Stängel ³⁶	17,4
Steinkleeheu	17,0
Wiesenheu	16,8
Hanfstroh	16,7
Holzhackschnitzel	17,4
Miscanthus	17,4

2.4 Anbauverfahren

2.4.1 Fruchtfolgestellung

Im Reinanbau

Aus den Ansprüchen des Steinklees an den Aussaattermin und den verschiedenen Nutzungsregimen leiten sich die unterschiedlichen Stellungen in der Fruchtfolge ab (Tab. 7). Alle Kulturen, die im Herbst geerntet werden, sind als Vorfrüchte bei einer zeitigen Frühjahrsaussaat geeignet (ТУЖИЛИН et al. 2002). Für eine Aussaat unter Deckfrüchten können verschiedene Getreidearten gewählt werden, die als Grünschnitt, Ganzpflanze oder Körnerfrucht geerntet, unterschiedlich früh das Feld räumen (s. S. 41). Sommer- und Herbstsaatsorten nach der Getreideernte werden von einigen Autoren beschrieben, von anderen ausgeschlossen (s. S. 39). Bei der Wahl der Nachfrucht steht eine möglichst hohe Ausnutzung des Vorfruchtwertes der Steinkleekultur im Vordergrund. Die geplante Nutzungsdauer des Steinklees beeinflusst dabei den Fruchtwechselzeitpunkt.

³⁵ luftgetrocknet

³⁶ vom Oktober des zweiten Vegetationsjahres

Soll der Steinkleeanbau eine Luzerneansaat vorbereiten, kann diese nach jedem geplanten Zeitpunkt erfolgen (SIMON & WATZEK 2003).

Tab. 7: Beschriebene Fruchtfolgestellungen und Nachfrüchte

Umbruch im Herbst des ersten Vegetationsjahres zur Gründung	
Kartoffeln	(BLECKEN 1948; PETERSEN 1967; REMER 1952)
Umbruch im Frühjahr bis Mai ohne Schnitt zur Gründung	
Mais als Hauptfrucht	(DRAKE & RUNDLES 1919; WILLARD 1926; BECKER-DILLINGEN 1929)
Kartoffeln	(BLECKEN 1948; BECKER-DILLINGEN 1929; SIMON 1960a; REMER 1952; BERGER 1952; SIMON & WATZEK 2003)
Sommergetreide	(BECKER-DILLINGEN 1929)
Körnerleguminosen	(BECKER-DILLINGEN 1929)
Hirse	(CLARK 2007)
Umbruch nach einem frühen Schnitt/ (Weide)	
Mais als frühe Zweitfrucht	(MENKE & RAUBER 2008; SIMON & WATZEK 2003)
Mais als späte Zweitfrucht	(SIMON 1960a; SIMON & WATZEK 2003)
Hirse	(CLARK 2007)
Futterkohl	(SIMON & WATZEK 2003)
Umbruch nach ein bis zwei Ernteschnitten im Sommer	
nicht beschrieben	
Nutzung bis zum Herbst des zweiten Vegetationsjahres (Futter- oder Samenernte)	
Mais im folgenden Frühjahr	(DRAKE & RUNDLES 1919)
Kartoffeln im folgenden Frühjahr	(BLECKEN 1948)
Wintergerste, Winterweizen	(BERGER 1952)
Fruchtwechsel im Herbst des zweiten Vegetationsjahres ohne vorherige Nutzung	
Winterweizen	(CLARK 2007; MOYER et al. 2007)
Raps	(ZENTNER et al. 2011)

In der Literatur wird vor der Gefahr einer Verunkrautung der Folgefrüchte durch Steinklee gewarnt. Aufgrund seiner hohen Konkurrenzkraft unterdrückt der Steinklee oft andere Pflanzen. Zusätzlich können unter ungünstigen Bedingungen Getreidekörner den Cumaringeruch des Durchwuchses annehmen, was die Erntequalität beeinträchtigt. Zwei Strategien verhindern die Verunkrautung der Folgefrüchte mit Steinklee. Einer Vermehrung über Samen wird durch die Verwendung hoch keimfähigen Saatgutes (s. S. 10 und S. 38) und der Ernte der Steinkleepflanzen vor der Samenreife vorgebeugt. Dem Durchwuchs aus wiederaustriebsfähigen Wurzeln lässt sich durch tiefe Schnitfführung, Schnitt im generativen Stadium oder wenigstens nach dem Verbrauch der Wurzel-

speicherstoffe entgegenwirken (Triebhöhe mindestens 15-20 cm). Trotz der genannten Maßnahmen besteht vor allem bei frühen Terminen die Gefahr des Aufwuchses von Steinklee in der Folgefrucht. Dieser kann vorsorglich durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen wie tiefes Pflügen oder mehrfaches Zerschneiden mit Scheibenwerkzeugen begegnet werden. Unter den Bedingungen der konventionellen Landwirtschaft ist alternativ eine Herbizidspritzung z. B. im Nachauflauf des Maises möglich. Als Bodenbearbeitung vor dem Mais reicht mehrfaches Scheiben aus (DRAKE & RUNDLES 1919; BECKER-DILLINGEN 1929; SPECHT 1939; SIMON 1960a; SCHLOSSER-SZIGAT 1966; GLASS et al. 1990).

In wärmeren Klimaregionen ist es möglich, im Herbst ausgesäten Steinklee als Zwischenfrucht zur Gründüngung bis zum folgenden Frühjahr zu nutzen. Dafür eignen sich insbesondere die einjährigen Formen (SMITH & GORZ 1965; HENNING & WHEATON 1993; CLARK 2007).

Mischkultur

Verschiedene Autoren berichten von gelungenem Gemengeanbau mit Gräsern (GRAICHEN 1863; DRAKE & RUNDLES 1919; SMITH & GORZ 1965; SIMON 1960a, 1960b; HENNING & WHEATON 1993; GEBHART et al. 1993). Dafür ist allerdings eine höhere Wasserversorgung als für reinen Steinkleeanbau Voraussetzung. Eine Reduzierung der Steinkleeaussaatmenge auf 10 kg ha⁻¹ soll günstig sein (ШЛАПУНОВ 2008). Generell sollen Reinsaatensicherere und höhere Erträge bringen (SIMON 1962).

In Gemengen mit anderen Leguminosen verdrängt der konkurrenzstarke Steinklee viele Arten fast vollständig (SPECHT 1939; STICKLER & JOHNSON 1959a). Luzerne (*Medicago sativa* ssp. *×media*) kann dagegen Steinklee bei ihr zusagenden Bodenbedingungen im zweiten Vegetationsjahr unterdrücken (SPECHT 1939). Ein Anteil von 25% Steinklee an der gesamten Saatmenge erhöht die Anbausicherheit von Klee gras auf Trockenstandorten (BLECKEN 1948). Für einen gemeinsamen Anbau mit Rotklee hat sich die Aussaat in getrennten Reihen bewährt (SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007).

Eine andere Variante ist der gemeinsame Anbau mit einjährigen Futterpflanzen (z. B. Phacelia oder GPS-Getreide) (SIMON 1962). Hier überwintert nach der ersten Ernte allein der Steinklee und kann im Folgejahr variabel genutzt werden. Im Gierslebener Gemenge fungiert Steinklee als legumer Partner (je ha: 6-7 kg Einjähriges Weidelgras + 14-26 kg Hafer + 20-25 kg Weißer Steinklee) (ANONYM 1964). Über positive Erfahrungen mit Mais oder Hirse als Haupt- oder Zweitfrucht bei einer Aussaat bis Ende Mai berichten SPECHT (1939) und SCHEIBE et al. (1953). Um ungünstige Konkurrenzbedingungen zu vermeiden, hat es sich auf trockenen Standorten als günstig erwiesen, die Aussaat so zeitig als möglich vorzunehmen (KREUZ 1966). Diese Ergebnisse stammen allerdings aus einer Zeit, in der Unkräuter vorwiegend mechanisch bekämpft wurden,

wodurch ihre Übertragbarkeit auf heutige Verhältnisse eingeschränkt wird. ABDIN et al. (2000)³⁷ zeigten, dass eine Untersaat von Steinklee in Mais zur Unterdrückung von Unkräutern beitragen kann, bei hohem Unkrautdruck jedoch weitere Maßnahmen notwendig werden. In einer jüngeren Untersuchung zum gemeinsamen Anbau von Mais und Steinklee wird das Potential dieser Mischkultur für Sandböden herausgestellt, gleichzeitig aber auf den Untersuchungsbedarf zur modernen Produktionstechnik verwiesen (DIETZE 2010).

Bei SIMON (1960a) und SCHLOSSER-SZIGAT (1966) findet sich ein Hinweis auf einen Anbau als Stoppelfrucht im Gemenge (z. B. mit Sonnenblumen) bis Anfang Juli. Nach KREIL et al. (1983) kann eine solche Stoppelfrucht bis zum 5. August gesät werden. Kombinationen von 20 kg Steinklee mit 35 kg Sonnenblumen oder mit Erbsengemengen, z. B. 120 kg Futtererbsen + 10 kg Sonnenblumen werden empfohlen.

Aktuelle Beschreibungen einer Mischkultur als Streifenanbau mit Sonnenblumen, Hirse oder Mais stammen aus Nordamerika (CLARK 2007). Ähnliche Verfahren werden bei CTEKYPA (1982) für trockene Steppenböden genannt. Hier erfolgt im ersten Vegetationsjahr des Steinklees ein gemeinsamer Anbau mit verschiedenen Getreidearten, Hirsen, Sonnenblumen oder Gräsern in getrennten Streifen. Nach der Überwinterung soll nur der Steinklee als Reinkultur stehenbleiben.

Eine Sonderform des Mischanbaus schildern SIMON & BRÜNING (1964), die mit Steinklee als Unterkultur in Streifen zwischen Pappelpflanzungen das Wachstum der Bäume fördern. Diese Variante kann für moderne Kurzumtriebsplantagen neue Bedeutung erlangen.

Die Ertragsbewertung von verschiedenen Mischkulturarten untereinander und mit Silomais beruht in der Literatur häufig nur auf einem Vergleich der Biomasseerträge im Ansaatzjahr. Steinklee-Silomais-Gemenge erreichen dabei 70-90 % vom Ertrag des in Reinkultur angebauten Silomaises (KREUZ 1966; DIETZE 2010). Der Ertrag des Steinklees im zweiten Vegetationsjahr wurde in beiden Versuchen nicht bestimmt.

2.4.2 Aussaat

Steinkleesamen sind sehr klein, deshalb ist ein feines, gut abgesetztes Saatbett eine gute Voraussetzung für ein gleichmäßiges Auflaufen. Ein Anwalzen nach der Saat kann die Keimung bei Trockenheit verbessern und dadurch höhere Keimdichten bedingen. Die Keimphase des Steinklees dauert 9 bis 12 Tage, im zeitigen Frühjahr etwas länger (GRAICHEN 1863; HEGI 1923; BRUMMUND 1958; KÖSEOĞLU 1970). Die Saattiefe hängt von den Bodenbedingungen ab. Auf sandigen Böden und bei unzureichender Boden-

³⁷ Mehrere Kleearten, darunter *M. officinalis*, wurden auf ihre Eignung als Maisuntersaat geprüft.

feuchte haben sich Kornablagen in 2-3 cm Tiefe bewährt. Auf schwereren Böden mit höherem Wasserspeichervermögen sind Saattiefen von ca. 1-2 cm günstiger (SMITH & GORZ 1965; SCHLOSSER-SZIGAT 1966; ТУЖИЛИН et al. 2002). Ab Ablagetiefen > 5 cm kommt es zu deutlich verringerten Keimpflanzendichten, wenn auch einzelne Pflanzen Sandverwehungen bis zu 25 cm durchwachsen vermögen (SIMON & BRÜNING 1964). Die Angaben zur Standraumbemessung sind sehr weit gefächert und reichen von 10 bis 40 cm Reihenabstand. Sowohl Breit- als auch Drillsaat sind möglich, wobei die letztere zu bevorzugen ist (BECKER-DILLINGEN 1929; BLECKEN 1948; PETERSEN 1967; VOIGT-LÄNDER et al. 1987). Die Mindestkeimtemperatur beträgt 2 °C (ТУЖИЛИН et al. 2002). Zwischen > 5 und < 30 °C werden maximale Keimraten innerhalb von 5-10 Tagen erreicht (FAENSEN-THIEBES 1992; TOETZ 2000). Sehr trockene Verhältnisse zur Saat führen zu stark verminderter Keimung und zum Verbleiben von hartschalig gewordenen Samen im Boden. Mit der Aussaat in feuchten Boden oder unmittelbar vor Niederschlägen kann die Ausbildung der Hartschaligkeit vermieden werden (SIMON 1960a).

Die erforderliche Saatbettqualität für die optimale Bestandesetablierung kann sowohl mit einer konventionellen Bearbeitung als auch mit einer reduzierten Bodenbearbeitung erreicht werden (VIL & VÖSA 2005). Die übliche Aussaatmenge beträgt in Mitteleuropa 15-25 kg ha⁻¹ (BECKER-DILLINGEN 1929; SIMON 1960a). Bei guten Bedingungen (ausreichende Bodenfeuchte und hohe Keimfähigkeit) kann die Menge reduziert werden. Die Aussaat höherer Saatsmengen hat die Ausbildung dünnerer Stängel im Bestand zur Folge, was für eine Futternutzung von Vorteil ist (GRAICHEN 1863). In Nordamerika werden für meist trockenere Standorte geringere Mengen von 7-12 (-20) kg ha⁻¹ empfohlen (HANNAWAY & MCGUIRE 1982; FRAME 2005; CLARK 2007). Für extreme Trockengebiete sollen, um die knappen Wasserressourcen nicht durch zu viele Pflanzen vorzeitig zu erschöpfen, noch geringere Saatsmengen (4-5 kg ha⁻¹) vorteilhaft sein (CLARK 2007). Mit innovativen Verfahren der Saatgutbehandlung wie Mantelsaat und exakter Saatgutablage kann die Saatsmenge auch unter den Standortbedingungen Mecklenburg-Vorpommerns auf 4-6 kg ha⁻¹ reduziert werden (SIMON 2013). Im ersten Vegetationsjahr ist eine Anzahl von ca. 250 Pflanzen m⁻² als optimal anzunehmen (FAENSEN-THIEBES 1992).

Allgemein wird eine Aussaat im Frühjahr empfohlen. Dabei sollen sowohl frühe Termine (Februar) als auch späte Frühjahrsaussaaten beispielsweise nach einer Futterroggen- oder Wickroggenernte möglich sein (KREUZ 1965; SIMON 1962). Über weitere Saattermine existieren unterschiedliche Angaben (Tab. 8). Nach mehreren Autoren sollen auch Ansaaten im Sommer und Herbst erfolgreich sein (BLECKEN 1948; SIMON 1960a; KÖNIG 1962; SIMON 1962; KAHNT 2008). SIMON (1962) beschreibt eigene gelungene Aussaatversuche im Juni und nach der Roggen- und Sommergerstenernte. Auch SCHLOSSER-SZIGAT (1966) empfiehlt, um das Wurzelwachstum zu fördern, die Aussaat zu Zei-

ten mit möglichst kurzer Tageslänge. Dagegen belegen Untersuchungen von BRUMMUND (1958), dass Aussaaten nach Mitte August aufgrund ungenügender Ausbildung von Überwinterungsorganen zu großen Anteilen auswintern. Gleiche Ergebnisse fanden DRAKE & RUNDLES (1919), PÄTZOLD (1961) und ВНИИТИОУ (1993-1995) zit. in (ТУЖИЛИН et al. 2002), BRANDSÆTER et al. (2002), BRANDSÆTER et al. (2008)³⁸. Aktuelle Anbauversuche in Mecklenburg-Vorpommern bestätigen die letzteren Erkenntnisse (DIETZE et al. 2009). Vermutlich beeinflussen regionale Standortfaktoren und auch die Herkunft des Saatgutes den Erfolg solcher Spätsommersaaten. In drei jüngeren Untersuchungen mit Steinklee kanadischer Herkunft konnten Mitte August und im September gesäte Bestände überwintern. Ertraglich wurden sie im Folgejahr jedoch von anderen Pflanzenarten deutlich übertroffen (PIETSCH 2004; GOERITZ et al. 2009; MENKE 2011)³⁹.

Tab. 8: Beschriebene Saatzeiten für gemäßigte Breitengrade

Frühjahr	Sommer	Herbst	Quelle
zeitiges Frühjahr	Juli-Aug.	k. A.	(GRAICHEN 1863)
Ende März-Anfang Apr. als Untersaat in Getreide	k. A.	k. A.	(DRAKE & RUNDLES 1919)
Frühjahr	k. A.	k. A.	(BECKER-DILLINGEN 1929)
Frühjahr	bis Au.	Herbst/ Okt.	(SPECHT 1939)
Winter, Frühjahr	im Sommer nach der Getreideernte	Herbst/ Okt.	(BLECKEN 1948)
Frühjahr als Untersaat	k. A.	k. A.	(REMER 1952)
Frühjahr		ungünstig, mit Auswinterung	(BERGER 1952)
zeitiges Frühjahr	k. A.	Herbst	(GOETJES 1955)
ab März	bis Mitte/ Ende Juli	ausgeschlossen	(BRUMMUND 1958)
ab Feb.	im Juni u. Juli	bis 15. Sept.	(SIMON 1960a)
ab Anfang März	bis Mitte Juli	k. A.	(SIMON 1960b)
März	k. A.	im Herbst bis Ende Sept.	(KÖNIG 1962)

³⁸ Brandsæter et al. untersuchten die Winterhärte von *M. officinalis* in Gefäß- und Parzellenversuchen.

³⁹ Eventuell kann die gelungene Überwinterung auf Standortbedingungen zurückgeführt werden. Eine Versuchsfläche liegt in der Nähe von Wien, wodurch sich eine von Norddeutschland etwas abweichende Tageslängendynamik ergibt (PIETSCH 2004). Die Winter der Versuchsjahre einer anderen Untersuchung waren ungewöhnlich mild (MENKE 2011). Die Witterung der Versuche von GOERITZ et al. (2009) ist leider nicht ausreichend beschrieben.

Frühjahr	Sommer	Herbst	Quelle
März, Apr., Mai	Juni, Juli	bis Ende Sept.	(SIMON 1962)
k. A.	Anfang Juli	k. A.	SCHMIDT (1963) zit. in (SCHLOSSER-SZIGAT 1966)
März, Apr.	k. A.	k. A.	(DANCS 1964)
zeitiges Frühjahr	nicht empfohlen	Spätsommer	(SCHLOSSER-SZIGAT 1966)
März bis Ende April	k. A.	möglich, aber nicht bewährt	(PETERSEN 1967)
März, April	bis Ende Juli	ausgeschlossen	(KÖSEOĞLU 1970)
k. A.	bis 5. Aug.	k. A.	(KREIL et al. 1983)
ab Mitte März	bis Juli	k. A.	(VOIGTLÄNDER et al. 1987)
zeitiges Frühjahr	nicht empfohlen	nicht empfohlen	(HENNING & WHEATON 1993)
ab März	k. A.	bedingt möglich	(SNEYD 1995)
Frühjahr, ab 5-6°C Bodentemperatur	nach früher Ge- treideernte	eingeschränkt	(ТУЖИЛИН et al. 2002)
Frühjahr	k. A.	ausgeschlossen: Spätsommer und Herbst	(MEYER 2005)
Frühjahr	möglich, aber geringer Ertrag	k. A.	(RHYKERD & HANKINS 2007)
k. A.	k. A.	Aug./ Sept.	(MENKE & RAUBER 2008)
ab April	durchgängig	bis Anfang Sept.	(KAHNT 2008; 2009)
Frühjahr	bis nach der Ern- te der Winterge- rste	ausgeschlossen	(DIETZE 2010)
k. A.	1. Julidekade	k. A.	(MERIPOLD et al. o.J.)

Über die Wirksamkeit einer Impfung mit Rhizobien berichten verschiedene Autoren. Anbausicherheit und Ertragshöhe lassen sich mit einer Behandlung steigern, wenn aufgrund der Schlaghistorie keine der artspezifischen Rhizobien (*Rhizobium meliloti*) in ausreichender Anzahl zu erwarten sind (DRAKE & RUNDLES 1919; BLECKEN 1948; SIMON 1960b; CYBOPOB 1950; SCHLOSSER-SZIGAT 1966). Bei einem erstmaligen Anbau oder nach 10-jähriger Anbaupause kann von einem positiven Ertragseffekt einer Rhizobienimpfung ausgegangen werden (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b).⁴⁰ Da unterschiedlich effektiv nodulierende und unterschiedliche effektiv N-fixierende Stämme von

⁴⁰ Diese Zeitangabe ist für Körnerleguminosen belegt, kann aber auch für kleinkörnige Leguminosen übernommen werden (MAKOWSKI 2013).

Rhizobium meliloti existieren, kann sich eine Impfung u. U. auch bei wiederholtem Anbau lohnen (MEYER 2005; BROMFIELD et al. 2010). Bei geringem Boden-pH wird eine Impfung generell empfohlen (ТУЖИЛИН et al. 2002).

Bei einer starken Gefährdung durch Blattrandkäfer kann durch die Wahl eines späten Aussaattermins die Bestandesetablierung in eine Phase geringer Aktivität von *Sitona* spp. gelegt werden. In Estland wird für diese Strategie eine Saat in der ersten Julidekade empfohlen (MERIPOLD et al. o.J.).

Untersaat

Die Bestandesetablierung kann als Blanksaat oder als Untersaat in Sommer- oder Wintergetreide erfolgen (BECKER-DILLINGEN 1929; SPECHT 1939; SIMON 1960a; SMITH & GORZ 1965)⁴¹. Steinklee verträgt nur wenig Beschattung. Die Aussaatstärke des Getreides soll um 15 -30 % gegenüber der üblichen Aussaatmenge reduziert werden, um dem Lichtbedarf des Steinklees zu genügen⁴². Steinklee wird mit 18 – 20 kg ha⁻¹ gesät (BRUMMUND 1958; ТУЖИЛИН et al. 2002; SCHELUTO et al. 2007; ШЛАПУНОВ 2008). BLECKEN (1948) schlägt aus diesem Grund ein Lichtschachtverfahren mit getrennten Saatzeilen für Winterroggen und Steinklee vor.⁴³ SIMON (1962) verlangt aus dem gleichen Grund einen Reihenabstand der Getreidedeckfrucht von mindestens 20 cm. Obgleich der Steinklee allgemein als sehr trockentolerant gilt, besteht in ausgeprägten Trockenperioden die Gefahr des Vertrocknens nach der Getreideernte. Unter günstigen Wachstumsbedingungen kann der Steinklee die Deckfrucht dagegen leicht überwachsen. Bei späten Saatterminen ist diese Gefahr geringer. Als Deckfrüchte eignen sich vor allem Winterroggen und Hafer (SIMON 1960a; SPECHT 1939), aber auch Sommergerste, Wintergerste und Winterweizen werden genannt (DRAKE & RUNDLES 1919; BLECKEN 1948; SCHELUTO et al. 2007). Für eine Untersaat in Winterroggen gibt SIMON (1960b) eine leicht erhöhte Aussaatmenge des Steinklees von 25 bis 30 kg ha⁻¹ an. Ein möglichst hoher Schnitt und ein früher Termin bei der Ernte der Deckfrucht⁴⁴ begünstigen das weitere Wachstum des Steinklees (SMITH & GORZ 1965; BRUMMUND 1958). Einige Autoren halten den Steinklee nicht oder nur eingeschränkt für Untersaaten geeignet. So berichten BARTELS (1957), BRUMMUND (1958) und auch SPECHT et al. (1960) über unbefriedigende Versuchsergebnisse nach der Einsaat von Steinklee unter Getreide im Ansaat- und im folgenden Hauptnutzungsjahr. Unter Trockenstressbedingungen sind

⁴¹ Bei (Malik und Waddington, 1988) zit. in BLACKSHAW et al. (2010) findet sich der Hinweis auf Raps als mögliche Deckfrucht.

⁴² Hier muss berücksichtigt werden, dass frühere Erfahrungen mit dem Deckfruchtverfahren von deutlich dünner stehenden schwach gedüngten Getreidebeständen mit geringerer Konkurrenzkraft und geringeren Getreideerträgen ausgehen. VOIGTLÄNDER et al. (1987) empfehlen deshalb für kleinkörnige Leguminosen die heute übliche Saatmenge der Deckfrucht um 30 bis 40 % zu reduzieren oder die sicherere Form der Blanksaat zu wählen.

⁴³ Es sollen aber auch einfache Saatmischungen zu einem ausreichenden Aufgang führen (BLECKEN 1948).

⁴⁴ z. B. Wintergerste, Grünfüttergetreide oder GPS, evtl. Winterroggen

Blanksaaten zudem sicherer als Untersaaten im Anbau (BRUMMUND 1958). Auch der gemeinsame Anbau mit einjährigen Futterpflanzen kann als Aussaat unter Deckfrucht angesehen werden, da in diesen Mischungen allein der Steinklee überwintert (s. S.37). Eine Steinkleeuntersaat beeinflusst den Ertrag der Deckfrucht häufig negativ (BLACKSHAW et al. 2001).

2.4.3 Pflege/ Düngung

Bis zum Bestandesschluss können aufgrund der für Leguminosen typisch langsamen Jugendentwicklung bei hohem Unkrautdruck Pflegemaßnahmen notwendig werden. Steinklee durchläuft, wie alle Leguminosen, nach dem Auflaufen eine Phase intensiven Wurzelwachstums während derer die Stängel- und Blattentwicklung stagniert. In dieser Periode, die ungefähr 40 bis 60 Tage dauert (BRUMMUND 1958), kann Unkrautkonkurrenz zu Ertragseinbußen führen. Eine wichtige Vorbeugung ist deshalb ein unkrautarmer Saatbett. Auch die Nutzung einer Deckfrucht kann günstig sein (WILLARD 1926; DUKE 1983). Da Steinklee in den letzten Jahrzehnten kaum angebaut wurde, liegen auch keine praxisrelevanten Erkenntnisse über die Wirkung und Verträglichkeit zur Nutzung chemischer Pflanzenschutzmittel vor. Demzufolge ist aktuell kein Mittel für einen Einsatz in Steinkleebeständen zugelassen. Nach Beobachtungen von DIETZE (2010) verträgt Steinklee "Leguminosen schonende Herbizide". Auch mechanische Unkrautbekämpfung kann zum Erfolg führen (BLECKEN 1948). So werden ein Striegelstrich 3 bis 4 Tage nach der Aussaat und andere mechanische Maßnahmen im Nachauflauf bei fachgerechter Durchführung gut vertragen (ТУЖИЛИН et al. 2002). Ein Schröpfschnitt bietet eine spätere Eingriffsmöglichkeit (SIMON 1960a). Nach Bestandesschluss und besonders im zweiten Vegetationsjahr sind Steinkleepflanzen sehr konkurrenzstark und unterdrücken Unkräuter gut. In einigen Anbausystemen wird diese Konkurrenzstärke sogar gezielt als Unkrautmanagementmaßnahme genutzt (MOYER et al. 2007; Organic Agriculture Centre of Canada 2008).

Eventuell entstandene Bodenverkrustungen behindern die Keimphase und frühe Jugendentwicklung. Sie können wie für andere Kleearten auch, mechanisch mit Rauwalzen oder Striegeln gebrochen werden (ТУЖИЛИН et al. 2002).

Eine Kalkung zur Absicherung eines ausreichenden Boden-pH-Wertes kann zu den Vorfrüchten oder vor der Saat erfolgen. Versuchsergebnisse zeigen, dass der Steinklee auf Kalkung vor der Saat mit deutlichem Ertragszuwachs reagiert (DRAKE & RUNDLES 1919; SCHEIBE et al. 1953). In der Phase zwischen Keimung und Jugendentwicklung reagiert er besonders empfindlich auf einen geringen pH-Wert, weswegen eine zusätzliche Keimbettkalkung (mit 20 dt $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$) empfohlen wird (SIMON 1960b, 2009).

Düngungsempfehlungen in der vorliegenden Literatur gründen sich vor allem auf ältere praktische Erfahrungen. Eine P-Düngung vor der Saat soll Aufgang, Jugendentwicklung

und Knöllchenbildung fördern. Eine ausreichende K- und Mg-Versorgung ist für die Gewährleistung eines gesunden Pflanzenwachstums notwendig (SPECHT 1939; SIMON 2009). Empfehlungen zur Düngungshöhe finden sich nur in der russischen Literatur. Danach reicht bei gutem Versorgungszustand des Bodens mit Phosphor und Kali die Grunddüngung zu den Vorfrüchten innerhalb der Fruchtfolge aus. Auf nährstoffarmen Böden bzw. bei Nährstoffgehalten unter 7 mg P oder 7 mg K je 100 g Boden wird eine Düngung von 60-90 kg P ha⁻¹ und 60-90 kg K ha⁻¹ vor der Saat empfohlen. Auch nach stark zehrenden Kulturen (Mais, Rüben, Kartoffeln), bei mangelnder Bodenfruchtbarkeit und nach der Deckfruchternte soll eine ergänzende Düngung von 30 kg P ha⁻¹ und 30 kg K ha⁻¹ im Herbst oder nächsten Frühjahr ertragswirksam sein (ТУЖИЛИН et al. 2002; ШЛАПУНОВ 2008). Aufgrund der biologischen Verwandtschaft können auch Düngungsempfehlungen aus dem Luzerneanbau übertragen oder alternativ die Düngermengen nach Bodennährstoffgehaltsklassen und Pflanzenentzug berechnet werden. Nach HARTMANN et al. (2006) sind für die Grunddüngung von Luzerne bei optimaler Bodenversorgungsstufe 85 kg P₂O₅ ha⁻¹ und 200 kg K₂O ha⁻¹ je Hauptnutzungsjahr einzuplanen.

Die Abdeckung eines Bedarfes an den Mikronährstoffen Mo, Bo und evtl. Co kann über eine Saatgutbehandlung oder Blattdüngung erfolgen (ТУЖИЛИН et al. 2002; ШЛАПУНОВ 2008).

Wie viele Leguminosen hat auch Steinklee einen hohen Schwefelbedarf. Zur Vorbeugung von Wachstumsdepressionen sollte deshalb die Schwefelversorgung beachtet werden (ASHFORD & BOLTON 1961; CLARK 2007).

Der Steinklee bedarf bei funktionierender Rhizobiensymbiose keiner N-Düngung. Eine früher übliche Startstickstoffgabe zur Förderung der Jugendentwicklung von Leguminosen wird heute nicht mehr generell empfohlen (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b). Auch für die Versorgung der Getreidedeckfrucht bei Steinkleeuntersaat sollen 45 kg N ha⁻¹ ausreichen (RHYKERD & HANKINS 2007). N-Mangel zeigt sich beim Steinklee unter anderem durch rote Pigmentierung der Stängel (ASHFORD & BOLTON 1961), und deutet auf Probleme bei der Stickstofffixierung.

2.4.4 Krankheiten und Schädlinge

Verschiedene phytopathogene Pilze sind als Krankheitsverursacher an Steinklee bekannt, bleiben jedoch in der Regel unterhalb von Schadgrenzen (MENOLD 2010). Am häufigsten treten in Mitteleuropa Echter und Falscher Mehltau (*Perenospora spp.* und *Erysiphe pisi* bzw. *Erysiphe polygoni*) in Erscheinung (SCHRÖCK 1948; SCHIEBLICH 1959; SMITH & GORZ 1965; VOIGTLÄNDER et al. 1987; ТУЖИЛИН et al. 2002). Während der Keimphase kann ein Befall mit Pilzen der Gattungen *Pythium*, *Rhizoctonia* und anderen zu Pflanzenausfällen und später zu Wurzelfäulen führen (SMITH & GORZ 1965;

KLINKOWSKI 1974). In Russland gelten zusätzlich *Fusarium oxysporum* und *Pseudopeziza medicaginis* als häufige und schädliche Krankheitserreger (ТУЖИЛИН et al. 2002). Eine verbreitete Wurzelkrankheit in Nordamerika beim Steinklee wird durch *Phytophthora cactorum* verursacht. Gefährdet sind Pflanzen im Frühling nach der Überwinterung (SMITH & GORZ 1965).

Weitere phytopathogene Pilze, die Steinklee befallen können, werden von BECKER-DILLINGEN (1929), СУБОПОВ (1950), SMITH & GORZ (1965), DUKE (1983), VOIGTLÄNDER et al. (1987), BOEREMA et al. (2004) SMITH et al. (o. J.) und ТУЖИЛИН et al. (2002) genannt.

Steinklee ist Wirtspflanze für verschiedene Viren (SMITH & GORZ 1965; GE 1993; ТУЖИЛИН et al. 2002). Ertragsbeeinträchtigungen durch Virosen sind aus Deutschland nicht bekannt (KREUZ 1965).

Im Herbst werden Steinkleebestände, wie andere überwinternde Arten auch, leicht Zufluchtsstätte für Feldmäuse (KLINKOWSKI 1974). Die Bekämpfung entspricht der bei mehrjährigen Futterkulturen.

Neben den Blattrandkäfern (s. u.) lebt eine große Anzahl weiterer potentiell pflanzengefährlicher Insekten an Steinklee, wirtschaftlich bedeutsame Schäden wurden jedoch bislang nicht beschrieben (HEGI 1923; SCHIEBLICH 1959; SMITH & GORZ 1965; KLINKOWSKI 1974; MENOLD 2010; ТУЖИЛИН et al. 2002).

Sitona spp.

Einige der als Blattrandkäfer (Gattung *Sitona*) bezeichneten Arten, können im Leguminosenanbau bedeutende Schäden anrichten (SEIDEL et al. 1990; KAUFMANN et al. 2011). Sie sind ursprünglich in Europa, im mediterranen Raum und im Mittleren Osten verbreitet und leben meist oligophag auf verschiedenen Leguminosen.

Die Art *Sitona cylindricollis* ist bis heute in Nordamerika der gefährlichste Schädling für den Steinklee. Die Vernichtung von Neuansaat durch den Fraß adulter Käfer war dort einer der Gründe für den drastischen Rückgang der Steinkleeanbaufläche im vorigen Jahrhundert (SMITH & GORZ 1965; CLARK 2007). Nach ТУЖИЛИН et al. (2002) ist die Art *S. cylindricollis* auch in Russland der häufigste Blattrandkäfer im Steinklee. Außerdem werden die Arten *S. crinitus*, *S. humeralis*, *S. puncticollis* und *S. griseus* in Steinkleebeständen gefunden (ДАВИДЬЯН 2008a, 2008b, 2008c, 2008d; LOMPE 2011). In Deutschland soll *S. lineatus* die verbreitetste Art aus der Gattung *Sitona* sein, die bevorzugt an Erbsen, aber auch an Luzerne, Rotklee, Ackerbohne und Steinklee gefunden wird (KLINKOWSKI 1974). SCHRÖCK (1948) nennt ausdrücklich die Arten *S. lineatus* und *S. griseus* als gefährlichste Steinkleeschädlinge.

Der Lebenszyklus der verschiedenen an Futterleguminosen lebenden *Sitona*-Arten ähnelt sich. Es überwintern meist die adulten Käfer im Boden abseits ihrer Befallsflächen oder im Bestand ihrer mehrjährigen Wirtspflanzen in der obersten Boden- und Streuschicht. An den ersten warmen Tagen im Frühjahr (März-April) verlassen sie ihr Winterquartier und erscheinen schlagartig in Leguminosenbeständen. Dort erfolgt die Eiablage (ungezielt auf den Boden), die Entwicklung der Larven im Boden und der Schlupf der Jungkäfer. Bei Nahrungsmangel z. B. durch Schnitt oder Abreife der Futterpflanzen migrieren die adulten Käfer auch während der Vegetationsperiode. Für *S. cylindricollis* beobachteten HEIDEWIG & THORSTEINSON (1961) zusätzlich Ausbreitungsflüge im Mai. Üblich ist eine Generation pro Jahr (HEIDEWIG & THORSTEINSON 1961; STEIN 1967; KLINKOWSKI 1974; FREUDE et al. 1981/ 1983; HEINZE & BASEDOW 1983; ТУЖИЛИН et al. 2002; ANONYM 2002; CURCULIO-Institute 2006; ДАВИДЬЯН 2008a, 2008b, 2008c, 2008d).

Die Schäden, die die an Wurzelknöllchen und Wurzeln fressenden Larven verursachen, sind schwer einzuschätzen. Häufig übertreffen sie die Verluste an oberirdischer Blattmasse. Zusätzlich wirken die Fraßstellen an den Wurzeln als Eintrittspforten für bodenbürtige Pilze oder Viren. Die Imagines ernähren sich von den Blättern. Die typischen halbmondförmigen Fraßkerben am Blattrand kennzeichnen den Blattfraß durch *Sitona*-Käfer (Abb. 2).



Abb. 2: Typische U-förmige Fraßstellen am Blattrand (links und Mitte) und Jungpflanze im empfindlichen Stadium (rechts)

Junge Keimlinge, und bei hohem Befall auch Jungpflanzen, sind besonders gefährdet, von den Käfern abgefressen zu werden. Ältere Pflanzen überwachsen die Schädigung in den meisten Fällen. Extremer Befall im Spätsommer/ Herbst kann den Aufwuchs des Steinklees im Folgejahr beeinträchtigen. An den Fraßstellen der Blätter sind die Käfer selten zu finden, da sie sich bei geringsten Erschütterungen zu Boden fallen lassen. Obwohl *Sitona*-Käfer weit verbreitet sind, werden nur selten Schadgrenzen im Steinklee erreicht (KLINKOWSKI 1974; CRAIG 1978; AESCHLIMANN 1980; HENNING & WHEATON 1993; ANONYM 2002; ДАВИДЬЯН 2008a). Die Witterung hat einen bedeutenden Einfluss

auf die Entwicklung der Käferpopulation (SMITH & GORZ 1965). CLARK (2007) berichtet von einem 12-15 jährigem Zyklus bei der Art *S. cylindricollis*.

In der Literatur sind kaum Angaben über Schadschwellen zu finden. Das Schadensausmaß wird entscheidend durch das Entwicklungsstadium der Steinkleepflanzen bestimmt. Je jünger die Pflanzen sind, desto schädlicher wirkt der Käferfraß. Neben der Zerstörung oder Schwächung von Jungpflanzen kann auch der Austrieb im zweiten Vegetationsjahr geschädigt werden. Dafür wurde ab einer Anzahl von 4,5 bis 9 Käfern je Pflanze eine signifikante Ertragsreduktion und ab 18 Käfern je Pflanze ein Totalausfall festgestellt (CRAIG 1978). Für Futterleguminosen gelten allgemein $> 10\%$ zerstörte Blätter oder > 10 Käfer m^{-2} als Bekämpfungsrichtwert (ANONYM 2002). ТУЖИЛИН et al. (2002) empfehlen für Steinklee eine Insektizidbehandlung erst ab Käferzahlen von 20-40 Imagines je Pflanze oder $> 50\%$ Blattflächenverlust. Eventuell lässt sich der Befall durch die Aussaat von Köderpflanzen, die nach dem Zuflug der Käfer behandelt werden, eingrenzen (ДАВИДЬЯН 2008d). Die adulten Käfer können mit handelsüblichen Insektiziden bekämpft werden (ANONYM 2002; MOYER et al. 2007; ДАВИДЬЯН 2008b; MENOLD 2010). Es muss dabei beachtet werden, dass es in Deutschland keine Insektizidzulassung für Steinklee gibt.

Verschiedene Anbaustrategien können vorbeugend zur Befalls- oder Schadensbegrenzung angewandt werden. Dazu zählen die Einhaltung räumlicher (500-1000 m) und zeitlicher Abstände (3-5 Jahre) zwischen den Beständen (SMITH & GORZ 1965; KLINKOWSKI 1974; CLARK 2007; ДАВИДЬЯН 2008a, 2008b; Menold & Monika 2010); der gemeinsame Anbau mit Nicht-Fraßpflanzen wie Getreide oder Lein (CLARK 2007); die Beschleunigung des Jugendwachstums durch Bodenbearbeitung und eine Start-Stickstoffdüngung (KLINKOWSKI 1974; ДАВИДЬЯН 2008a); eine möglichst zeitige Aussaat im Frühjahr (ДАВИДЬЯН 2008d) oder eine Verschiebung der Saatzeit in den Frühsommer (SMITH & GORZ 1965; MERIPOLD et al. o.J.) und erhöhte Saatmengen (SMITH & GORZ 1965).

Bodenbearbeitungsmaßnahmen stören die Entwicklung der Käfer. Sie sind zur Bekämpfung bei hohen Populationsdichten geeignet (SMITH & GORZ 1965; ДАВИДЬЯН 2008a; MENOLD 2010).

Es existieren natürliche Parasiten, Prädatoren und Krankheiten, die eine wichtige Rolle für die Dynamik von *Sitona*-Populationen spielen, wobei das jeweilige Vorkommen regional unterschiedlich ist (SMITH & GORZ 1965; AESCHLIMANN 1980; MILBRATH & WEISS 1998; ДАВИДЬЯН 2008a, 2008b, 2008c, 2008d).

Steinklee gilt als weitgehend selbstverträglich (SIMON 1960a; HENNING & WHEATON 1993). Die oben beschriebenen Krankheiten und Schädlinge lassen die Einhaltung von empfohlenen 4-5-jährigen Anbaupausen trotzdem angeraten sein (ТУЖИЛИН et al.

2002). Die wichtigste Maßnahme zur Gesunderhaltung der Bestände besteht in der Förderung von Aufgang und Jugendentwicklung.

2.4.5 Ernte/ Schnitt

Bezüglich der Nachtriebsfähigkeit nach einer Schnittnutzung bestehen beim Steinklee entscheidende Unterschiede zu anderen kleinkörnigen Leguminosen. Während einer Vegetationsperiode bildet Steinklee nach einem Schnitt fast ausschließlich aus Stängelknospen neue Triebe. Zusätzlich regeneriert er sich beim Schnitt im generativen Stadium nur ungenügend. Aufgrund dieser Besonderheit der Wiederaustriebsfähigkeit führen ein Ernteschnitt unterhalb der untersten noch aktiven Stängelknospen und ein Schnitt nach Blühbeginn zu Pflanzenausfällen und schwachem Nachwachsen. Eine wiederholte Steinkleenutzung während eines Jahres setzt deshalb einen vorhergehenden Schnitt im vegetativen Stadium⁴⁵ mit entsprechend hoher Stoppel voraus (CYBOPOB 1950; BRUMMUND 1958; SIMON 1960a; SPECHT et al. 1960; DANCS 1964; PETERSEN 1967; GLASS et al. 1990; RHYKERD & HANKINS 2007).

Über das Schnittregime lässt sich die Erntegutqualität beeinflussen, da die Entwicklung des Protein- und des Rohfasergehaltes gegenläufig sind (BECKER-DILLINGEN 1929; SPECHT 1939; PILLAI 1962). Die Beachtung der o.g. physiologischen Besonderheiten hat jedoch Priorität, da davon der Wiederaustrieb grundsätzlich abhängt.

Zum Einfluss eines Nutzungstermins im ersten Jahr auf den Wiederaustrieb im Folgejahr gibt es ausführliche Untersuchungen (BRUMMUND 1958), andere zusammengefasst von SMITH & GORZ (1965). Jeder Schnitt im ersten Vegetationsjahr führt zu einer Beeinträchtigung des Wachstums im zweiten Jahr. Besonders kritisch ist die Phase, in der die Erneuerungsknospen gebildet und Speicherstoffe in die Wurzel eingelagert werden. Eine Entfernung der photosynthetisch aktiven Biomasse während dieser Zeit führt zu einem dramatischen Rückgang der Winterfestigkeit. Dabei schadet ein Schnitt um so mehr, je später er nach Beginn dieser Entwicklungsphase durchgeführt wird. Ein früherer Schnitt verringert die Winterhärte nur in geringem Umfang, vorausgesetzt die Pflanzen können bis zum Herbst ausreichend Blattmasse bilden. Auch eine Nutzung kurz vor Beginn der Vegetationsruhe ist wenig schädlich.⁴⁶ Für die Klimabedingungen Norddeutschlands wurde ermittelt, dass die Pflanzen zwischen Mitte August und Anfang Oktober besonders empfindlich auf einen Schnitt reagieren (BRUMMUND 1958)⁴⁷. Nach den Erfahrungen von DIETZE (2010) sollen hier schon Ernteschnitte ab Mitte September

⁴⁵ Die Ausbildung eines geringen Anteils von Blüten im ersten Vegetationsjahr hat keinen Einfluss auf die Wiederaustriebsfähigkeit (BRUMMUND 1958).

⁴⁶ gleichlautende Angaben bei ТУЖИЛИН et al. (2002)

⁴⁷ ermittelt an der Sorte „Bienenleiß“

unproblematisch sein. In Bezug auf die Schnittempfindlichkeit und die Winterhärte bestehen Unterschiede zwischen den Herkünften (SPECHT 1939).

Wird der Steinklee unter einer Deckfrucht oder im Sommer ausgesät, ist der mögliche Biomasseaufwuchs im Ansaatjahr begrenzt. Das Anbauziel besteht dann in der Etablierung überwinternder Bestände mit einem hohen Biomassepotential im Folgejahr. Nur unter günstigen Bedingungen und bei früher Deckfruchternte kann im Herbst ein Schnitt oder eine Beweidung durchgeführt werden (BECKER-DILLINGEN 1929; SCHEIBE et al. 1953; SPECHT et al. 1960). Frühjahrsblanksaaten erbringen schon im ersten Vegetationsjahr relevante Erntemengen in ein bis zwei Schnitten (Mitte Juli und im Herbst) (BRUMMUND 1958). Im zweiten Vegetationsjahr sind verschiedene Nutzungsregime möglich: 1. eine ausschließliche Gründüngung mit Umbruch vor der Folgefrucht, 2. eine frühe Nutzung (meist als Ernteschnitt) Mitte Mai mit nachfolgender früher Zweitfrucht (Mais oder Hirse), 3. Nutzung der hohen Aufwuchsmengen bis zum Sommer in ein bis zwei Schnitten, anschließend Aussaat einer späten Zweit- oder Stoppelfrucht (DRAKE & RUNDLES 1919; PETERSEN 1967; SIMON 1960a), (s. Abschnitt 2.4.1).

Über eine maximal mögliche Nutzungshäufigkeit sind verschiedene Aussagen in der Literatur zu finden. Nach GRAICHEN (1863) kann der Steinklee 3 bis 4 mal pro Jahr geschnitten werden, jeweils bei einer Wuchshöhe von >30 cm. SIMON (1960a) geht von nur ein bis zwei Schnitten im zweiten Vegetationsjahr aus, da der Steinklee nach dem zweiten, spätestens aber nach dem dritten Schnitt kaum wieder austreibt. Nach PETERSEN (1967) soll schon der zweite Schnitt kaum lohnen. Die höchsten Biomassemengen pro Jahr werden bei geringer Schnitthäufigkeit (mit ein bis zwei Schnitten) erreicht (EVANS & THOMPSON 2006).

Es gibt einzelne Berichte, dass der Steinklee 4 bis 5 Jahre ausdauern könne, wenn er immer vor der Blüte geschnitten würde (JEPPE 1848; TURKINGTON et al. 1978). Länger ausdauernde Bestände sollen auch durch mehrfache Selbstaussaat entstehen, dafür wirkt eine geringe organische Düngung im Frühjahr fördernd (LANGETHAL 1851; DRAKE & RUNDLES 1919; BLECKEN 1948; SIMON & BRÜNING 1964; EVANS 2001; EVANS & KEARNEY 2003). In natürlichen Pflanzengemeinschaften sind beide Steinkleearten nur unter extremen Standortverhältnissen längerfristig ausdauernd. In der Regel geht ihre Bestandesdichte innerhalb weniger Jahre zurück (KÖSEOĞLU 1970; FAENSEN-THIEBES 1992; TOETZ 2000).

2.4.6 Konservierung/ Silage

Normalerweise läuft die Silierung in mehreren Phasen ab. Zuerst wird in der aeroben Phase der im Futterstock enthaltene Sauerstoff veratmet und durch CO₂ ersetzt. Kann durch eine ordnungsgemäße Abdeckung kein neuer Sauerstoff ins Silo eindringen, sind nach Abschluss dieser Phase keine sauerstoffabhängigen Bakterien und Pilze mehr ak-

tiv. Die folgende Hauptgärphase dauert bei Umgebungstemperaturen über 15°C ungefähr eine Woche. Während dieser Zeit setzen sich die Milchsäurebakterien gegen konkurrierende Mikroorganismen durch, da durch ihre Gärprodukte (v. a. Milchsäure, aber auch Essigsäure) der pH-Wert stark abgesenkt wird, so dass nur noch Milchsäurebakterien in diesem sauren anaeroben Milieu wachsen können. Für diesen Prozess sind ausreichend verfügbarer Pflanzenzucker, wenig den pH-Wert puffernde Substanzen und eine genügend große Menge gleichmäßig verteilter Milchsäurebakterien notwendig. Sind diese Bedingungen erfüllt, entsteht eine lagerstabile Silage, die bis zur Auslagerung keinen wesentlichen Stoffumsetzungen mehr unterliegt. Wird der pH-Wert aufgrund ungünstiger Siliervoraussetzungen nicht ausreichend abgesenkt, beginnt eine Fehlgärungsphase mit hohen Nährstoff- und Energieverlusten, der pH-Wert steigt dabei wieder an (PAHLOW 2006).

Es ist hinreichend bekannt, dass die Silierung von Grünfutter ein bewährtes Verfahren zur Futterkonservierung ist. Steinklee enthält, wie andere Leguminosen, im Vergleich zu den klassischen Gärsubstraten wenig leicht fermentierbare Kohlenhydrate und größere Mengen pH-Wert puffernd wirkender Proteine. Deshalb ist er den schwer silierbaren Pflanzen zuzuordnen. Um trotzdem gute Silagen herzustellen, können verschiedene Strategien zur Anwendung kommen. Entweder wird der TS-Gehalt durch Anwelken nach einem Schnitt erhöht oder das Erntegut wird gemeinsam mit zucker- oder stärkereichem Material einsiliert. Substratmischungen mit Melasse, Silomais, Sudangras, Kartoffeln, Rübenschnitzeln, Getreidegrünschnitt oder -ganzpflanzen ergeben hochwertige Silagen. Außerdem können Silierhilfsmittel zugesetzt werden (SIMON 1960a). Das Erntegut vom ersten Herbst und vom Schnitt ab der Vollblüte des zweiten Jahres soll für eine Silierung ohne Vorbehandlung ausreichend hohe Trockensubstanzgehalte haben (DRAKE & RUNDLES 1919). Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts ist die Gefahr der Dicumarolbildung durch Schimmelpilze bekannt (s. S.16). Qualitativ hochwertige Steinkleesilage ohne Schimmelbesatz wurde erfolgreich in der Tierfütterung eingesetzt (s. Abschnitt 2.3.1).

2.4.7 Ertragspotential und Anbausicherheit

Seit seiner Einführung hat der hohe Massenwuchs des Steinklees beeindruckt. Erträge bis zu 100 dt TM ha⁻¹ und unter optimalen Bedingungen bis 180 dt TM ha⁻¹ sollen möglich sein (PILLAI 1962; SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962; MAAS 1993; LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b; EVANS 2001; EVANS & THOMPSON 2006; SCHMIDT & KLÖBLE 2007; SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007; CLARK 2007; DIETZE et al. 2009; BLACKSHAW et al. 2010). BRUMMUND (1958) schätzt ihn als „ertragfähigste Futterleguminose der leichten und leichtesten Böden“ ein. Ähnlich positive Einschätzungen finden sich, abgesehen von der noch älteren und ausländischen Literatur, bei (BLECKEN

1948; BERGER 1952; SCHEIBE et al. 1953; REMER 1954; SIMON 1960b; KÖNIG 1962; PETERSEN 1967; SCHLOSSER-SZIGAT 1966).

Andere Autoren schätzen die Anbauwürdigkeit des Steinklees weniger gut ein. Es gibt Angaben über deutlich geringere Erträge oder weit nach unten reichende Ertragsspannen (BECKER-DILLINGEN 1929: 35-120 dt TM ha⁻¹; VOIGTLÄNDER et al. 1987: 40-60 dt TM ha⁻¹). Auch die Ergebnisse mehrerer Versuchsreihen aus den 1950er bis 1960er Jahren in Deutschland zur Bestimmung der Anbauwürdigkeit müssen beachtet werden. Einzelne Auswertungen wurden damals veröffentlicht. PÄTZOLD (1961), BARTELS (1957), SPECHT et al. (1960), STEIKHARDT (1964) und DANCS (1964) halten den Steinklee demnach für nicht oder nur eingeschränkt anbauwürdig. Die Gründe für eine schlechte oder ungleichmäßige Bestandsentwicklung werden in niedrigen Boden-pH-Werten, in der Heterogenität von Standorten und in der Beschattung durch die Deckfrucht vermutet. Genaue Nachweise gelangen zu der Zeit nicht.

Den sehr unterschiedlichen Bewertungen liegen verschiedene Einflussfaktoren auf das Wachstum zugrunde. Ein Großteil der negativen Einschätzungen zur Anbauwürdigkeit beruht auf Versuchsergebnissen, in denen der Steinklee als Untersaat in Getreide gedrillt wurde. Die Aussaat unter einer Deckfrucht ist einerseits wirtschaftlich interessant und wurde deshalb auch häufig durchgeführt. Andererseits gilt diese Aussaatmethode bei Steinklee als besonders schwierig (s. S. 41) und führt offensichtlich vermehrt zu Mindererträgen.

Bei vielen Leistungsvergleichen von Leguminosenarten liegt die schlechte Einstufung des Steinklees zusätzlich in der Schwierigkeit, Arten mit unterschiedlicher artspezifischer Vegetationslänge gerecht zu bewerten. Für eine Auswertung müssen deshalb die Rahmenbedingungen der Anbauversuche kritisch betrachtet werden. Ungünstige Erntemaßnahmen führen zu vergleichsweise niedrigen Erträgen. Mehr als zwei Schnitte pro Jahr und Schnitttermine vor Anfang Oktober im Ansaatjahr oder nach Blühbeginn im zweiten Vegetationsjahr benachteiligen den Steinklee, wenn Folgeschnitte geplant sind, aus physiologischen Gründen (s. S. 48f).⁴⁸ Auch sehr späte Aussaattermine, wie sie im Stoppelfruchtanbau (BARTELS 1964; PIETSCH 2004; GOERITZ et al. 2009; MENKE 2011) realisiert werden, können die Ursache für eine ungenügende Winterhärte des Steinklees sein. Das schlechte Abschneiden der Steinkleevarianten wird in einigen Versuchen auf diese Weise mit verursacht worden sein.⁴⁹

⁴⁸ Die wichtigen Forschungsergebnisse von BRUMMUND (1958) blieben unpubliziert und wurden deshalb nicht beachtet.

⁴⁹ „kein Nachwuchs“ zum dritten Schnitttermin bei BARTELS (1957) ; 1. Schnitt im zweiten Vegetationsjahr erst am 1. Juni, bei insgesamt 3 Schnitten; zusätzlich wurde hier der vorhergehende Herbsttertrag nicht berücksichtigt (DAL 1955); Schnitt Ende August im Ansaatjahr und zwei Schnitte im Knospenstadium im zweiten Jahr (DANCS 1964); sehr später erster Schnitt im zweiten Vegetationsjahr (SPECHT et al. 1960). Auch in einer jüngeren Arbeit ist dieser

Im Vergleich mit ausdauernden Leguminosen wird der Steinklee also durch ungünstige Aussaattechnologien und -termine, häufigen Schnitt und längere Kulturdauer benachteiligt. Sein Ertragspotential kann er in solchen Vergleichen nicht ausschöpfen. Die extrem unterschiedliche Bewertung des Steinklees kann mit diesen Gründen wahrscheinlich nicht vollständig erklärt werden. Da die Anbaugrenzen für Steinklee noch nicht genau bestimmt sind (s. Abschnitt 2.1.2), müssen die Versuchsergebnisse auch auf Standortunterschiede zurückgeführt werden. Außerdem können weitere bislang unbekannte Faktoren ein Grund dafür sein, dass der Steinklee wächst „wann er will und nicht wann er soll“ (PETERSEN 1967). Dass bei längerer Versuchsdauer und nur einmaliger Aussaat der Steinklee im Ertrag fast immer hinter Luzerne und Rotklee zurückfällt, ist unstrittig (DANCS 1964; SPECHT et al. 1960).

Das hohe Massenwachstum des Steinklees findet hauptsächlich während des Frühjahrs nach der Überwinterung statt. Im ersten Jahr ist der mögliche Biomasseertrag geringer. Auch die Anbautechnologie beeinflusst das Ertragspotential eines Steinkleebestandes in entscheidendem Maße. Dabei hängt die Biomasseleistung sowohl vom Aussaatverfahren als auch vom Saattermin ab. Diese Zusammenhänge wurden für die Bewertungen des Steinklees nicht immer ausreichend genau beschrieben und beachtet.

In einem Vergleich verschiedener Pflanzenarten zur Nutzung als Winterzwischenfrucht vor Silomais (Aussaat August/ September 2006, Lößboden, Ernte Mai 2007) wurde Gelber Steinklee mit einem Trockenmasseertrag unter 40 dt ha⁻¹ zu den ertragschwächsten Arten eingeordnet. Der nachfolgende Energiemais profitierte aber vom Steinklee und erreichte ca. 150 dt TM ha⁻¹. Gedüngt wurden ausschließlich 30 kg N ha⁻¹ als Strohausgleichsdüngung vor der Kleeaussaat. Nach Gräsern und Getreide als Winterzwischenfrucht fiel der Maisertrag deutlich geringer aus (MENKE & RAUBER 2008).

Selbstverständlich bestimmt der Aussaatzeitpunkt die Länge der Wachstumsperiode und damit das Ertragspotential bis zum ersten Frost. Untersaaten in Getreide liefern im Ansaatjahr deutlich geringere Erträge als Blanksaaten. Die Aufwuchshöhe im Herbst erreicht auch nach einer frühen Deckfruchternte nur ca. 20 cm. Ähnlich verhält es sich mit späten Saatterminen im Sommer (SIMON 1960a; HENNING & WHEATON 1993).

In Bezug auf die Beziehung zwischen der Vorwinterentwicklung und dem Ertrag im zweiten Vegetationsjahr finden sich in der Literatur verschiedene Aussagen. Während BRUMMUND (1958) nachwies, dass die „überwinterten Aussaaten [...] in ihrem Wachstum im zweiten Vegetationsjahr keine Unterschiede in Abhängigkeit vom Saattermin des Vorjahres“ aufwiesen, berichten RHYKERD & HANKINS (2007), dass die Erträge von Spätsommeransaaten im zweiten Vegetationsjahr um ca. 25 % unter denen von Früh-

Fehler bei drei Ernteschnitten, die zudem am Entwicklungsstadium der Luzerne ausgerichtet wurden, pro Jahr voraussehbar (PIETSCH 2004).

jahrsaussaaten liegen und nur die spät gesäten Pflanzen in der Regel nach der Vollblüte im Juli absterben. Für die Standortbedingungen in Ohio konstatiert WILLARD (1926), dass das oberirdische Ertragsmaximum im zweiten Vegetationsjahr um so eher erreicht wird, je besser das Wurzelsystem vor Winter entwickelt war. Im Frühjahr unter Hafer gesäter Steinklee und Sommerblanksaaten erzielen - zeitlich versetzt - so ein ähnliches Ertragsniveau. Frühjahrsblanksaaten wurden nicht verglichen. Bei genauer Durchsicht von Brummunds Messreihen lässt sich feststellen, dass seine Aussage nur auf Aussaaten bis Anfang Juli⁵⁰ uneingeschränkt zutrifft. Bei späteren Aussaaten sinkt die Wüchsigkeit im zweiten Vegetationsjahr.⁵¹ Die Ergebnisse von WILLARD (1926), BRUMMUND (1958) und RHYKERD & HANKINS (2007) widersprechen sich also nicht.

Die Biomasseerträge einer Untersaat bleiben auch im zweiten Vegetationsjahr hinter denen einer Blanksaat zurück. In einem Anbauvergleich ermittelte SPECHT (1939) einen Ertragsunterschied von ca. 50 % bezogen auf die gesamte Erntemenge in zwei Jahren. Vergleiche aus Nordamerika zeigen, dass das Ertragspotential im zweiten Vegetationsjahr von Untersaaten um 80-50 % unter dem von Blanksaaten liegt (BLACKSHAW et al. 2010). Bei HENNING & WHEATON (1993) findet sich der Hinweis, dass im Spätsommer oder Herbst gesäte Bestände eine ca. 30 % geringeren Gesamtbiomasseertrag bringen als Frühjahrsaussaaten.

Ein Schnitt im Ansaatjahr kann im Vergleich mit ungeschnittenen Beständen zu einer Ertragsreduzierung im Folgejahr führen. Dieser Effekt tritt nicht in jedem Jahr auf. Der Gesamtertrag beider Vegetationsjahre liegt in der Regel bei der im ersten Jahr geschnittenen Variante über der der ungeschnittenen (um 50-100 % in Versuchen von MEYER & NORBY 1994).

Die Biomasseerträge werden natürlich auch durch die Standortbedingungen beeinflusst. VIL & VÖSA (2005) stellten innerhalb von vier Jahren witterungsbedingte Ertragschwankungen von 44 % bezogen auf das erste Erntejahr fest. MOYER et al. (2007) dokumentierten Ertragsunterschiede von 30 % in drei Jahren bezogen auf den Junischnitt des zweiten Vegetationsjahres. Weniger als 150 mm Niederschlag bis zum Blühbeginn im zweiten Vegetationsjahr führen zu Ertragseinbußen (ТУЖИЛИН et al. 2002). Auf Sandböden erreichte Steinklee im ersten Vegetationsjahr in Untersuchungen von DIETZE (2010) 67 % des Trockenmasseertrages von Silomais am gleichen Standort. Bei wiederholtem Anbau von Steinklee in einer Fruchtfolge können die Erträge ansteigen (SIMON 1960a).

⁵⁰ Diese Zeitspanne scheint von den konkreten Witterungs- und Standortbedingungen abhängig. Unter günstigen Wachstumsbedingungen kann sie bis Anfang August reichen.

⁵¹ Zur Beziehung von Winterhärte und Aussaattermin s. S. 39f.

2.4.8 Anbau von Steinklee auf trockenen Sandböden

Zur Anbauwürdigkeit von Steinklee auf leichten Böden gibt es verschiedene Berichte. Blecken nennt den Steinklee „die Gründüngungspflanze der leichten Sandböden schlechthin“ (BLECKEN 1948). Auch GRAICHEN (1863), LANGETHAL (1851), SPECHT (1939) und SCHELUTO et al. (2007) empfehlen den Steinklee vor allem für diese Standorte, da er hier andere Futterpflanzen in Ertragshöhe und -sicherheit übertrifft und seine bodenverbessernden Eigenschaften besonders zur Wirkung kommen.

PÄTZOLD (1961) kommt dagegen nach mehrortigen Versuchen zu dem Ergebnis, dass vor einer intensiven Nutzung eine weitere Züchtung auf Säureverträglichkeit notwendig sei, da die Biomassebildung nicht sicher und hoch genug war. Sobald die Forschung über säuretolerante Rhizobien zu praxistauglichen Ergebnissen führt, sollte der Steinkleeanbau auf diesen Böden deutlich sicherer werden (s. S. 11). Ein niedriger Boden-pH-Wert allein schließt eine gute Bestandesentwicklung allerdings nicht aus. Einem evtl. höheren Anspruch der Jungpflanzen kann mit einer Keimbettkalkung entsprochen werden. Wichtig sind außerdem weitere Standortbedingungen (PETERSEN 1967), (s. Abschnitt 2.1.2). „Kiesige Böden (Moränenprofile) mit Ackerzahlen ab etwa 20 sind zum Anbau als Futterhauptfrucht wesentlich besser geeignet als weiche Sande gleicher Bonität (Talsande)“ (SIMON 1960b).

Auf leichten Böden besteht im Frühjahr die Gefahr der Verwehung der jungen Saat durch Sandstürme (PÄTZOLD 1961). Dieser Gefahr kann durch Aussaat unter einer Getreidedeckfrucht begegnet werden (BERGER 1952; GOETJES 1955). Nach Ausbildung der Primärwurzel zeigen die Jungpflanzen eine hohe Wuchsenenergie. SIMON & BRÜNING (1964) beobachteten im ersten Vegetationsjahr das Durchwachsen einer bis zu 25 cm starken Sandüberwehung.

Die Wurzel des Steinklees wächst nach der Keimung sehr rasch in die Tiefe und kann so mit einer zunehmenden Bodenaustrocknung Schritt halten. Bleibt auf diese Weise die Wasserversorgung gesichert, ertragen die Pflanzen starkes Austrocknen des Oberbodens (KÖSEOĞLU 1970).

Auf extrem leichten Böden und zur Kultivierung von sandigem Ödland sind Steinklee- bzw. Steinklee-Schafschwingel-Ansaaten anderen Kulturarten im mehrjährigen Vorfruchtwert überlegen. Das Ertragsniveau bleibt aber insgesamt niedrig und vor allem von der aktuellen Niederschlagsverteilung abhängig (GRAICHEN 1863; SIMON & ZAJONZ 1962b).

2.4.9 Anbau von Steinklee unter salinen Bedingungen

Die Toleranz des Steinklees gegenüber alkalischen und salinen Bodenverhältnissen ist seit langem bekannt (HEGI 1923; SMITH & GORZ 1965; VOIGTLÄNDER et al. 1987). Bei-

de Arten⁵² sind moderat tolerant gegenüber einem erhöhten Bodensalzgehalt, vertragen aber Staunässe und Überflutung kaum. Diese Widerstandsfähigkeit steigt bei niedrigeren Temperaturen und wenn die Wasserstände 45 cm nicht überschreiten. Generell übersteht Steinklee eine Überflutung mit Meerwasser besser als Luzerne. Anders als bei Luzerne steigt bei hohen Boden-Salzgehalten die Verdaulichkeit der organischen Substanz des Steinklees durch einen erhöhten Stärkegehalt der Blätter und verringerten Ligningehalt der Stängel. Deshalb wird der Futterwert nicht negativ beeinflusst (DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ 2006). Wenn auch der Ertrag durch Salzeinfluss beeinträchtigt wird, ist Steinklee unter diesen Bedingungen doch ertragreicher als Luzerne (EVANS & KEARNEY 2003). Auf salinen Böden wurden in Australien Trockenmasseerträge von mehr als 100 dt ha⁻¹ erzielt (EVANS 2001; EVANS & KEARNEY 2003; EVANS & THOMPSON 2006).

3 Aufgabenstellung

Der Anbau einer neuen Energiepflanze muss in praxisübliche Fruchtfolgen integrierbar sein. Ein Vergleich von Beispielfruchtfolgen soll Antworten zu erzielbaren Fruchtfolgeerträgen und möglichen Nachfruchtstellungen liefern. Saatzeitversuche dienen der Einschätzung der Biomassebildung nach verschiedenen möglichen Vorfrüchten.

Mit einer Frühlingsaussaat im März/ April kann Steinklee sicher etabliert werden. Zur Frage der Spätsommer- und Herbstsaaten existieren ältere Untersuchungen, auch wenn diese wenig bekannt sind. (s. Abschnitt 2.4.2) Über die Leistungsfähigkeit nach Ende April und vor Anfang August bestellter Bestände fehlen wissenschaftlich fundierte Ergebnisse. Gerade diese Termine bieten aber interessante Möglichkeiten für die Fruchtfolge, da sie die Aussaat nach einer Winterzwischenfrucht mit einem Ernteschnitt im Frühjahr, die Aussaat nach Getreideganzpflanzenernte oder sogar nach einer frühen Körnerfrucht wie Winterraps oder Wintergerste gestatten. Fast alle Düngungsempfehlungen beruhen bisher auf empirischen Beobachtungen. So wird in der Literatur häufig auf den Anspruch des Steinklees an die Bodenreaktion und die entsprechend hohe Ertragswirksamkeit einer Kalkung verwiesen. Die Frage des tatsächlichen Kalkanspruches ist aber strittig, da vermutlich weitere Standortfaktoren das Pflanzenwachstum ähnlich stark beeinflussen (s. Abschnitt 2.1.2). Es fehlt an ausreichend wissenschaftlich begründeten Düngungsempfehlungen. Im Rahmen der hier vorgestellten Versuche sollen Aussagen zur Ertragswirksamkeit einer Kalkung vor der Saat und zur Start-N-Düngung getroffen werden. Während der Jugendphase ist der Steinklees wenig konkurrenzstark gegenüber Unkräutern. Im Parzellenversuch sollen Erkenntnisse über die Verträglich-

⁵² Die Salztoleranz ist bei den verschiedenen Herkünften bzw. Ökotypen unterschiedlich stark ausgeprägt (СУБОПОВ 1950).

keit gegenüber Herbiziden, die in anderen Leguminosenkulturen angewendet werden, und den Einfluss von einzelnen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen auf den Ertrag gewonnen werden. In den Versuchen zur Optimierung der Produktionstechnik steht aus den genannten Gründen der Einfluss von Aussattermin, Unkrautbekämpfung, N-Start-Düngung und Kalkung auf den Ertrag im Vordergrund der Untersuchungen.

Zum Ertragspotential des Steinklees finden sich in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben (s. Abschnitt 2.4.7). Auch wenn einige dieser Angaben kritisch diskutiert werden müssen oder nicht auf die Anbauziele des Energiepflanzenanbaues übertragen werden können, bleibt doch die Unsicherheit über erwartbare Erträge bestehen. Aus einer umfangreichen Literaturrecherche werden verallgemeinernde Aussagen zu erzielbaren Erträgen abgeleitet, die mit den Versuchsergebnissen aus dem vorliegenden Projekt verglichen und überprüft werden.

Luzerne wurde schon in der Vergangenheit häufig als Vergleichspflanze in Steinkleeanbauversuchen eingesetzt, z. B. von PILLAI (1962), DANCS (1964), MAAS (1993), MCEWEN & JOHNSTON (1985), PIETSCH et al. (2004) und DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ (2006). Sie ist unter den traditionellen Futterpflanzen die dem Steinklee am nächsten verwandte Art. Durch eine erneute Gegenüberstellung sollen weitere biologische Besonderheiten des Steinklees erfassbar gemacht werden.

Für den Vorfruchtwert des Steinklees sind seine Wurzelmasse und die aus der N-Symbiose im Boden verbleibenden N-Mengen entscheidende Größen. Anhand der Versuchsergebnisse und Literaturangaben sollen überschlägliche Quantifizierungen für beide Größen für verschiedene Anbauformen erarbeitet werden.

Die Eigenschaften des heutigen Handelssaatgutes werden unzureichend beschrieben (s. S. 18 und S. 61). Die daraus entstehenden Probleme erschweren die experimentelle Arbeit in den Feldversuchen und die Einführung in die landwirtschaftliche Praxis erheblich. Für einen Anbau unter Praxisbedingungen und die weitere Forschung sind sicher vorhersagbare Eigenschaften zu den Einzelpflanzen und zum Aufbau des Bestandes unabdingbar. Sie sind auch für weiterführende Züchtungsarbeiten und eine seriöse Saatgutvermehrung eine wesentliche Voraussetzung. In einem mehrjährigen Anbauvergleich werden Unterschiede zwischen allen verfügbaren Herkünften von *M. albus* und jeweils einer Partie von *M. officinalis* erfasst und ihre Eigenschaften beschrieben.

Der Anbau von Steinklee wird durch das Auftreten verschiedener Krankheiten und Schädlinge gefährdet. In den hier vorgestellten Versuchen wurden Schädigungen hauptsächlich durch Echten und Falschen Mehltau, *Rhizoctonia* sp., Feldmäuse und Blattrandkäfer verursacht. Da vor allem die Biologie der Blattrandkäfer und ihre Schädigung der Steinkleepflanzen in Deutschland kaum untersucht wurden, sollen Beobachtungen

in den Versuchspartzen Erkenntnisse zum Schadensausmaß und zur Häufigkeit des Auftretens liefern.

Die Eignung des Einsatzes betriebsüblicher Technik für Anbau-, Pflege- und Erntemaßnahmen soll mit einem Testanbau in einem Praxisbetrieb geprüft werden. Durch die Standortwahl eines trockenen Sandbodens kann die Biomasseentwicklung unter besonders schwierigen Boden- und Klimabedingungen beschrieben werden.

Der potentielle Methanertrag hängt neben der Erntemenge von der Substratqualität ab. Die Weender Futtermittelanalyse wird genutzt, um die Veränderung der wertgebenden Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von Herkunft und Entwicklungsstadium bzw. Erntetermin zu beschreiben.

Steinklee enthält hohe Mengen an Cumarin (s. S. 16f). Bakteriostatische Wirkungen sind innerhalb der Stoffgruppe der Cumarine bekannt und werden auch für das Cumarin im Steinkleesubstrat vermutet (MÜLLER 2009). Ob und in welcher Weise der Cumarin-gehalt den Verlauf der Silierung und des Gärprozesses im Biogasreaktor beeinflusst, kann nur im praktischen Versuch geklärt werden.

Um Biomasse unter Praxisbedingungen als Substrat für die Biogasferzeugung einsetzen zu können, ist ihre langfristige Lagerung notwendig. Eine Silierung der Steinklee-biomasse ist naheliegend. In einem Silierungsversuch mit Steinkleesubstraten sollte deshalb geklärt werden, ob anhand der Empfehlungen aus der älteren Literatur Silage guter Qualität erzeugt werden kann.

Eine Kalkulation des theoretischen Methanbildungspotentials kann auf der Grundlage der Weender Futtermittelanalyse zu verschiedenen Ernteterminen kalkuliert werden. Da die bekannten Verdauungsquotienten für eine Berechnung nicht ausreichen und die Wirkung des Cumarins ungeklärt ist (s. Abschnitt 2.3.3), sind zur Abschätzung der tatsächlich erwartbaren Methanerträge und zur Kontrolle der rechnerisch ermittelten Ergebnisse praktische Gärversuche unabdingbar. Die Nutzung von quasikontinuierlichen Gärversuchen erlaubt zusätzlich die Beschreibung eines längerfristigen Gärverlaufes und die Auswirkung möglicher Hemmstoffakkumulationen⁵³.

⁵³ Das eiweißreiche Steinkleesubstrat ist eine Quelle der potentiellen Hemmstoffe NH_4^+ und Cumarin.

4 Material und Methoden

Standorte

Die Versuchsstation Gülzow liegt zentral in Mecklenburg im Güstrower Becken, einem vergleichsweise niederschlagsarmen Gebiet. Im langjährigen Mittel (1977-2006) beträgt die Jahresniederschlagssumme 543 mm, die Jahresmitteltemperatur 8,5 °C. Der Standort ist dem Boden-Klima-Raum 101 „mittlere diluviale Böden MV und Uckermark“ zuzuordnen (ROßBERG et al. 2007). Die Bodendecke besteht aus Geschiebemergel der Weichselkaltzeit. Die Höhe über NN beträgt ca. 10 m. Der Grundwasserabstand liegt in dem leicht welligen Relief um zwei bis drei Meter.

Auf dem Standort des Fruchtfolgeversuches der 1. Anlage waren sandiger Lehm und auf dem der 2. Anlage anlehmiger Sand die vorherrschenden Bodenarten. Die typische hohe Substratheterogenität verursachte auch innerhalb der kleinräumigen Parzellenversuche durch abweichende Bodenbedingungen Unterschiede im Pflanzenwachstum, wie es auf diluvialen Standorten häufig ist.

DEUMLICH (2008) beschrieb den Boden des Standortes für die Versuche zur Produktionstechnik als sandigen Regosol über reinem Sand. Aufgrund der kleinräumigen Heterogenität fand er aber auch karbonathaltige Fahlerde-Haftpseudogleye und Normparabraunerden über Lehmsanden und karbonatfreie Kolluvisole auf diesem Versuchsschlag. Der Humusgehalt des Oberbodens liegt zwischen 1,1 und 1,3 %. Die nutzbare Feldkapazität wurde als „gering“ eingestuft.

Tab. 9: Bodenparameter vor Versuchsbeginn (0-30 cm)

Versuch	Ackerzahl	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Einheit	-	-	mg 100g ⁻¹		
Fruchtfolgeversuch, 1. Anlage	48-58	6,6	17,4	10,7	13,2
Fruchtfolgeversuch, 2. Anlage	30-38	6,7	21,5	13,2	13,0
Versuche zur Produktionstechnik, Aussaatjahr:					
2009	36-40	6,0	9,2	8,0	8,0
2010	36-40	5,9	10,3	6,8	8,0
2011	36-40	6,7	16,6	9,6	12,0
2012	36-40	6,3	15,6	11,0	11,0

Witterung in den Versuchsjahren 2009 – 2012 (Abb. 3)

2009 war ein Jahr mit einem sehr warmen und trockenen Spätfrühjahr. Im Mai wurden Temperaturmaxima um 28 °C erreicht. Am 27.05.2009 kam es in Gülzow zu einem Unwetter mit Starkregen und Hagel (28 mm Niederschlag, große Hagelkörner). Danach folgten einige sehr trockene warme Tage. Die Monate August und September waren wärmer und deutlich trockener als der langjährige Mittelwert.

2010 traten extreme Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten auf. Nach einem sehr langen kalten und schneereichen Winter begann das Wachstum sehr spät und durch einen besonders kalten und nassen Mai zusätzlich verzögert. Nach einer ausgeprägten Frühsommertrockenheit im Juni/ Juli folgte eine ungewöhnlich regenreiche Periode im August und September. Auch im November fiel im Vergleich zum langjährigen Mittel ungefähr die doppelte Niederschlagsmenge.

Die Vegetationsruhe vor dem Versuchsjahr 2011 begann 2010 in der dritten Novemberdekade. Während des Winters wechselten Zeiten mit sehr tiefen Temperaturen und dicker Schneedecke, solche mit milden Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes und Kahlfrostperioden. Der Winterabschluss war durch Wechselfröste mit sehr großen Temperaturdifferenzen zwischen Tagen und Nächten geprägt. Schon im März begann eine Trockenheit, die bis Mitte Mai anhielt. Der Sommer war ungewöhnlich nass, der Herbst ab September warm und trocken. Die folgende Vegetationsruhe begann sehr spät Ende Dezember.

Die relativ warme Periode setzte sich im Januar 2012 mit Tagesmitteltemperaturen um 5 °C fort. In der ersten Februarwoche sanken die Temperaturen dann abrupt unter -20 °C. Eine Schneedecke schützte die Pflanzen erst ab der zweiten Frostwoche. Frühjahr und Sommer waren durch geringe Niederschläge gekennzeichnet. Von Februar bis September lagen die Niederschlagssummen deutlich unter dem langjährigen Mittel (insgesamt um 190 mm). Der Temperaturverlauf zeigte sich über die Sommermonate wechselhaft und ohne Extreme.

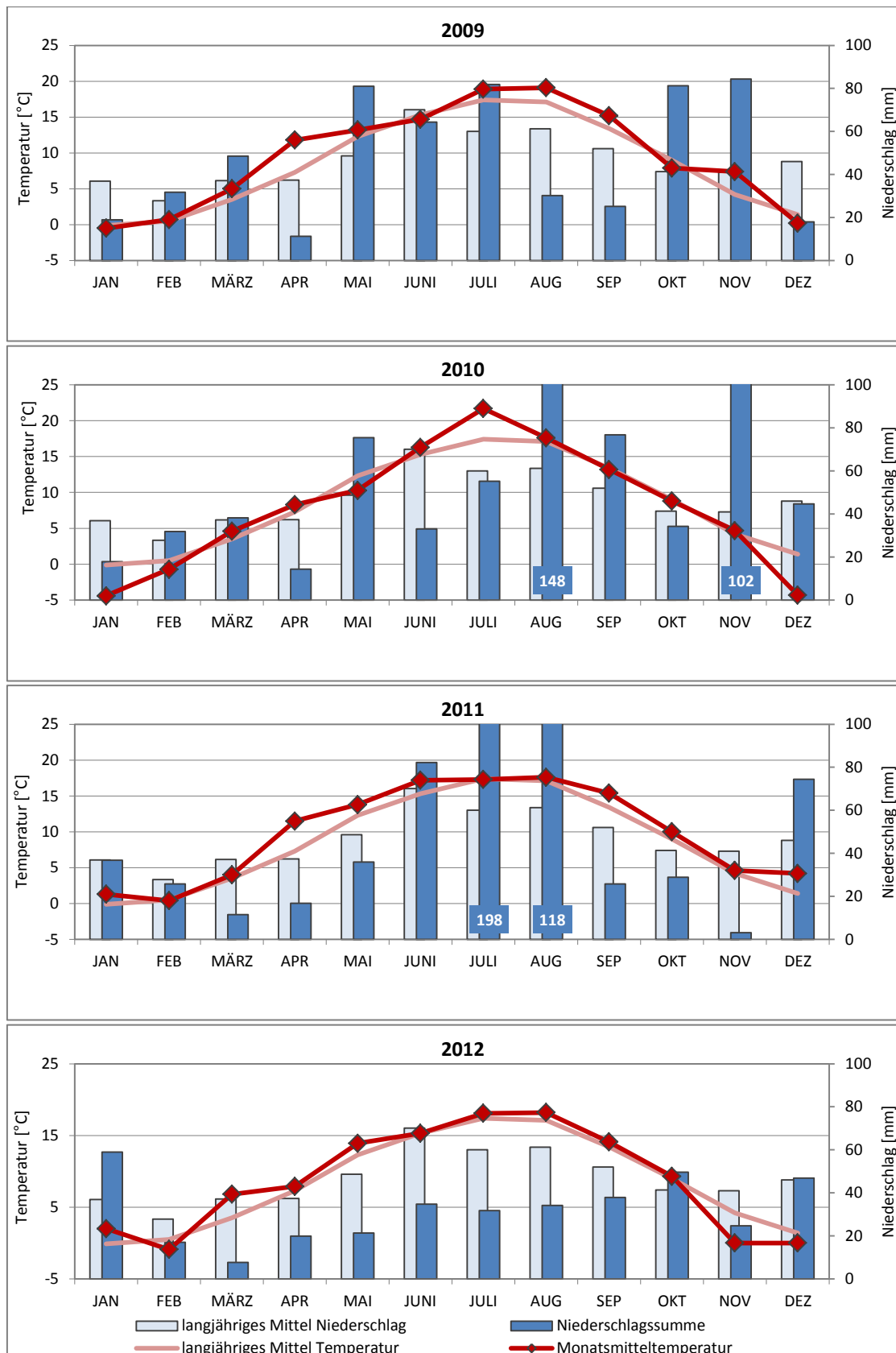


Abb. 3: Witterungsverlauf am Standort Gülzow in den Jahren 2009 - 2012

Verwendetes Saatgut

Zu den verwendeten Saatgutpartien von *Melilotus albus* war vor Versuchsbeginn ausschließlich das Land⁵⁴ der Vermehrung bekannt.⁵⁵ Die in einigen Ländern gezüchteten Sorten haben sich im praktischen Anbau in der Regel nicht durchgesetzt. Aufgrund der langjährigen landwirtschaftlichen Nutzung von Steinklee kann aber davon ausgegangen werden, dass sich in den verschiedenen Regionen der Welt Landsorten herausgebildet haben (s. Abschnitt 2.1.5). Mit großer Wahrscheinlichkeit sind deshalb in den letzten Jahren diese Landsorten importiert worden. Es ist nicht zu erwarten, dass Saatgutpartien, welche aus unterschiedlichen Ländern stammen, zur gleichen Landsorte oder zu nicht beeinflussten Wildformen gehören. Genauso wenig können Zuchtsorten oder Saatgut, welches aus Zuchtsorten weitervermehrt wurde, ausgeschlossen werden. Außerdem muss beachtet werden, dass selbst bei genetisch gleichen Sorten oder Landsorten, der Ort der Vermehrung modifizierend auf den Phänotyp der Nachkommen wirken kann (zum Herkunftswert s. S. 18). Erschwerend kommt hinzu, dass sogar so verschiedene Eigenschaften wie Ein- und Zweijährigkeit in Handelspartien ohne gesonderte Bezeichnung vorkommen. Außerdem enthalten einige der als artenrein gehandelten Saatgutpartien *Melilotus albus* als Hauptbestandteil und zusätzlich *Melilotus officinalis* mit unterschiedlichen Anteilen. Eine Mischung beider Arten kommt im Handelssaatgut häufig vor (s. S. 91f).⁵⁶ Die Samen beider Arten lassen sich nicht sicher unterscheiden (ENGELMANN & HEYDEL 1962; BROUWER & STÄHLIN 1975; CYBOPOB 1950; WITTMACK 1922). Aufgrund der dargelegten Schwierigkeiten werden die verwendeten Saatgutpartien im Rahmen dieser Arbeit als „Herkünfte“ nach der bekannten Region ihrer Vermehrung im Sinne von Akzession wie in Genbanken üblich bezeichnet⁵⁷ (vgl. S. 18f). Der genauen Ursache der Verschiedenartigkeit der Saatgutpartien (genetisch oder Umwelteinfluss auf die Elterngeneration) kann im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgegangen werden. Bekannte Sorten werden davon abweichend mit ihrem Sortennamen und der Gülzower Zuchtstamm als solcher bezeichnet (Tab. 10).

⁵⁴ bzw. einmal der Ort der Vermehrung

⁵⁵ Nur für eine Saatgutpartie, die von der Genbank des IPK Gatersleben stammt, waren vor Versuchsbeginn weitere Informationen recherchierbar. Zu der Akzession „MEL 19“ wird in der Genbank die Bezeichnung: „Bienenfleiß“ im Katalog geführt. Zu einer Sorte „Bienenfleiß“ sind in der Literatur Beschreibungen zu finden (s. Tab. 3).

⁵⁶ Dieses Problem hatte schon BERGER (1952), die Saatgutqualität hat sich offensichtlich in Deutschland seither nicht verbessert.

⁵⁷ Genauso wird der Begriff „Herkunft“ auch von anderen Autoren, die verschiedene Sippen nicht traditioneller Pflanzenarten im Anbau vergleichen, verwendet; z. B. MIELKE & SCHÖBER-BUTIN (2004).

Tab. 10: In den Versuchen verwendete Herkünfte von *Melilotus albus*

Herkunfts-land	Handels-jahr	Abkür-zung ⁵⁸	Bemerkungen und zu Versuchsbeginn bekannte Eigenschaften	Bezugsquelle
Argentinien	2008	ARG 08	einjährig, nur 2009 aus- gesät, ähnlich NSL 09	Feldsaaten Freudenber- ger GmbH & Co.KG
Neuseeland	2009	NSL 09	-	Camena-Samen
Ukraine	2008	UKR 08	zweijährig, Landsorte „Grosinski“	Restsaatgut aus Vorver- suchen
Ukraine	2010	UKR 10	-	Camena-Samen
Ukraine	2011	UKR 11	-	
Ukraine	2012	UKR 12	-	
Tschechien	2010	KRA 10	Sorte „Krajova“	Výzkumný ústav pícninářský, Troubsko (Forschungsinstitut für Futterpflanzen, Troubs- ko, Tschechien)
Tschechien	2012	KRA 12	Sorte „Krajova“	
Tschechien	2010	ADE 10	Sorte „Adela“	
Tschechien	2012	ADE 12	Sorte „Adela“	
Tschechien	2012	BEL 12	Sorte „Bela“	
Estland	2012	KUS 12	Sorte „Kuusiku 1“	Eesti Maaviljeluse Insti- tuut, Saku (Forschungs- institut für Landwirt- schaft Estlands)
Deutschland	2009	BIE 09	Sorte „Bienenfleiß“	IPK Gatersleben
Deutschland	2009	GÜ 09	Gülzower Zuchtstamm	
Kanada	2006	KAN 06	zweijährig, Restsaatgut, nur 2009 ausgesät	Feldsaaten Freudenber- ger GmbH & Co.KG

Alle Herkünfte wurden vom Handel als „Weißer Steinklee oder Bokharaklee, *Melilotus albus*, zweijährig“ bezeichnet. Die beiden Saatgutpartien deutscher Herkunft stammen aus der Genbank des Leibnitz-Institutes für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK Gatersleben) und standen nur mit geringsten Saatgutmengen zur Verfü-
gung. Deshalb musste für diese Partien eine besondere Form des Anbauversuches ge-
wählt werden (s. S. 66). Unter dem Kürzel MEL 19 wird dort eine als „Bienenfleiß“
bezeichnete Herkunft aus Deutschland aufbewahrt. Eine andere Herkunft mit dem Kür-
zel MEL 35 aus Deutschland trägt den Vermerk „Gülzow“. Weiterführende Informatio-
nen liegen in der Genbank zu diesen Saatgutpartien nicht vor. Die einzige in Deutsch-
land gezüchtete Steinkleesorte stammt von F. Berger und trug den Namen „Bienenfleiß“

⁵⁸ Mit Rücksicht auf eine bessere Lesbarkeit des Textes werden die Ziffern im Folgenden nur dann angeführt, wenn die verschiedenen Handelspartien einer Herkunft unterschieden werden sollen.

(PÄTZOLD 1961; PETERSEN 1967). Gülzow war in den 50-60er Jahren des vorigen Jahrhunderts einer der Orte in Deutschland, an denen Steinkleeforschung und -züchtung betrieben wurde. Neben anderen gab es in Gülzow Zuchtstämme von cumarinarmem Steinklee (SCHLOSSER-SZIGAT 1960, 1962; ZACHOW 1963). Es kann angenommen werden, dass mit MEL 19 in Gatersleben Saatgut der Sorte „Bienenfleiß“ und mit MEL 35 ein interessanter Zuchtstamm aus Gülzow (evtl. ein cumarinarmer) bewahrt wurden.

Zusätzlich zu den oben genannten Herkunftten wurde, um die Vergleichsgrundlage zu erweitern, Gelber Steinklee, *Melilotus officinalis*, in den Versuch aufgenommen (Tab. 11). Da der Gelbe Steinklee dem Weißen in Form, Entwicklung und Physiologie sehr ähnlich ist, kann auch dieser Vergleich sinnvoll sein. In der Vergangenheit wurden beide Arten auf gleiche Weise landwirtschaftlich genutzt, wenngleich der Weiße Steinklee die größere Bedeutung hatte. Der Handel bezeichnete dieses Saatgut als „Gelber Steinklee, *Melilotus officinalis*, zweijährig“. Beschreibungen von Sorten und Auslesen sind auch von *Melilotus officinalis* bekannt (s. Tab. 4), verschiedene Herkunftten wurden aber nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse müssen deshalb in dieser Hinsicht für den Gelben Steinklee entsprechend eingeschränkt ausgewertet werden. Es ist anzunehmen, dass andere Herkunftten auch bei dieser Art abweichende Eigenschaften besitzen, da gezielte Züchtung und Auslese im vergangenen Jahrhundert stattgefunden hat.

Tab. 11: In den Versuchen verwendetes Saatgut von *Melilotus officinalis*

Herkunft	Handelsjahr	verwendete Abkürzung ⁵⁸	Bezugsquelle
unbekannt	2008	GELB 08	Reste aus Vorjahren
Deutschland	2011	GELB 11	Camena-Samen
Deutschland	2012	GELB 12	

Zur Absicherung einer für alle Prüfglieder ausreichenden Menge an effektiven spezifischen Rhizobien wurden alle Saaten vor jeder Aussaat mit Dormal alfalfa⁵⁹ behandelt.

Anbautechnik in den Feldversuchen

Alle Feldversuche wurden nach einer dem Standort angepassten Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung als Blanksaat gedrillt. Die Aussaatstärke betrug 20 kg ha⁻¹ (korrigiert nach Keimfähigkeit der Saatgutpartie) und der Reihenabstand 12,5 cm. Die Saattiefe belief sich einheitlich auf 1-2 cm. Gesät wurde (bis auf die Herkunftsprüfungen bei Sommeraussaaten und im Fruchtfolgeversuch nach der Grünroggenernte) im Frühjahr - je nach Witterung - zwischen Ende März und Mitte April. Alle Parzellen erhielten vor der Saat eine einheitliche Keimbettkalkung von 10 dt CaO ha⁻¹ und eine Grunddüngung

⁵⁹ Bezugsquelle: CAMENA-Samen, Krefeld. In einem Vergleichsanbau führte eine Impfung mit dem Konkurrenzprodukt Radicin 2 (JOST GmbH) zu einer vergleichbaren Knöllchenentwicklung (Ergebnisse hier nicht dargestellt.).

mit P, K und Mg nach den Vorgaben der Düngeverordnung⁶⁰, berechnet auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen und Entzugswerten. Von der einheitlichen Kalkung blieben die Kalkversuchspartzellen ausgenommen.⁶¹

Die Durchführung von drei Ernteschnitten bei der Herkunftsprüfung (Drillsaat) mit Frühljahrsaussaat und in der Fruchtfolge C im Fruchtfolgeversuch soll ein maximales Biomassewachstum ermöglichen. Die Ertragsermittlung erfolgte hier im Herbst des Ansaatjahres (Anfang-Mitte Oktober), im Knospenstadium im Frühjahr nach der Überwinterung (Mitte-Ende Mai) und abschließend im Stadium der Vollblüte/ der beginnenden Samenreife (Ende August-Anfang September). Da die Bestände der Sommersaaten im zweiten Vegetationsjahr so schwach wuchsen, dass ein Schnitt im Knospenstadium nicht sinnvoll erschien, konnte hier nur maximal ein Ernteschnitt pro Jahr durchgeführt werden (Anfang-Mitte Oktober und Mitte August im Folgejahr). Auch alle anderen Versuche wurden nur zweimal, im Herbst des Ansaatjahres (Anfang-Mitte Oktober) und in der Vollblüte des zweiten Vegetationsjahres (Juli) geerntet, um den Einfluss des jeweiligen Prüffaktors auf den Biomasseertrag beider Nutzungsjahre zu erfassen. Die Größe der Ernteparzellen betrug jeweils 10,5 m². Die Ernten im Herbst und im Frühjahr erfolgten mit einem Kreiselmäher. Das gesamte Erntegut der Parzellen wurde zu diesen Terminen manuell geborgen und gewogen. Der jeweils letzte Schnitt auf einer Parzelle konnte mit einem Parzellenhäcksler mit halbautomatischer Wägeeinrichtung durchgeführt werden. Die Schnitthöhe wurde in der Herkunftsprüfung bei Frühljahrsaussaat für den ersten Schnitt im zweiten Vegetationsjahr mit 15-20 cm den physiologischen Anforderungen entsprechend hoch eingestellt. Alle anderen Ernteschnitte erfolgten mit möglichst geringer Stoppelhöhe von ca. 5 cm. Die Bestimmung der Trockensubstanz und der Qualität des Erntegutes wurde jeweils an einer repräsentativen Mischprobe prüfgliedweise durchgeführt.

4.1 Fruchtfolgeversuch

Der hier beschriebene Feldversuch ist kein klassischer Fruchtfolge-Dauerversuch zur Prüfung von Fruchtfolgewirkungen über viele Rotationen sondern ein Vergleich mehrerer Fruchtfolgeglieder und ihrer Leistungen über eine Rotation in Anlehnung an die im Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) entwickelte Methodik (STRAUB 2011). Für diesen Versuch wurden vier verschiedene Energiefruchtfolgen in Anlehnung an die Fruchtfolgegestaltung im Projekt „EVA“, durch Kombination verschiedener Futterkulturen als Winter-

⁶⁰ Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (2008b)

⁶¹ Aussaattechnik und Düngung genauso für den Steinklee im Fruchtfolgeversuch

zwischenfrucht, Zweitfrucht und Hauptfrucht konzipiert (FNR 2011). Nach einer einheitlichen Winterzwischenfrucht Grünroggen wurde Steinklee Mitte Mai gesät. Dem Ernteschnitt des Steinklees im ersten Herbst folgen unterschiedliche Nutzungsregime im zweiten Jahr. In der Fruchtfolge A wird nach einem weiteren Schnitt des Steinklees im Frühjahr Mais als Zweitfrucht ausgesät. In Fruchtfolge B folgt Mais nach der Einarbeitung der bis dahin gewachsenen Steinkleeegrünmasse in Hauptfruchtstellung. Fruchtfolge C beinhaltet eine ganzjährige Nutzung des Steinklees mit zwei Schnitten im zweiten Jahr ohne weiteren Fruchtwechsel. In Fruchtfolge D ersetzt Luzerne den Steinklee, im zweiten Jahr folgt auch hier Mais als Zweitfrucht (Tab. 12). Die verwendeten Sorten und Herkünfte sind in Tab. 13 aufgeführt.

Tab. 12: Anbauplan des Fruchtfolgeversuches

Fruchtfolge	Jahr 0	Jahr 1	Jahr 2
A	Grünroggen	Steinklee	Mais (Zweitfrucht)
B	Grünroggen	Steinklee	Mais (Hauptfrucht)
C	Grünroggen	Steinklee	
D	Grünroggen	Luzerne	Mais (Zweitfrucht)

Tab. 13: Verwendete Sorten im Fruchtfolgeversuch

Fruchtart	Sorte
Grünroggen	Vitallo
Steinklee	2009: NSL 09 + KAN 06; 2010: UKR 10
Hauptfruchtmais	Atletico
Zweitfruchtmais	Ronaldinio
Luzerne	Planet

Der Fruchtfolgeversuch wurde jeweils im Herbst 2008 und 2009 nach der Langparzellenmethode mit vier Messwiederholungen angelegt. Diese wird für „Versuche mit fast unüberwindlichen technischen Schwierigkeiten (Bodenbearbeitungs-, Fruchtfolge- und ähnliche Versuche)“ empfohlen (WAGNER et al. 2007). SCHWARZ (1957) beschreibt schon 1958 die Langparzellenmethode mit den bekannten Einschränkungen und Auswertungsmöglichkeiten. Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungs-, Bodenbearbeitungs- und Aussaattermine im zweiten Fruchtfolgejahr übersteigen die erwartbaren technischen Bearbeitungsfehler in einer statistisch zu bevorzugenden Blockanlage die höhere rechnerische Genauigkeit. Eine Auswertung mit geostatistischem Ansatz verringert die statistischen Nachteile der Langparzellenanlage (MICHEL & ZENK 2007). Für die als Standard genutzte Fruchtfolge A sind drei echte Wiederholungen vorhanden, so dass maximal zwei Prüfglieder zwischen den Standards liegen. Die 2008 und 2009 ausgesäten Versuchsanlagen werden in der Auswertung als 1. und 2. Anlage bezeichnet.

4.2 Versuche zur Optimierung der Produktionstechnik

In den Jahren 2008 und 2009 wurden diese Versuche ebenfalls nach der Langparzellenmethode mit Standards angelegt. Im Zuge der Neustrukturierung zur Aussaat 2010 konnten die Versuche zur Produktionstechnik auf einfaktorielle Blockanlagen mit vier Wiederholungen und vollständiger Randomisation umgestellt werden, wodurch sich die Aussagesicherheit der Ergebnisse erhöht. Auch der Gefäßversuch erfolgte mit vierfacher Wiederholung und randomisierter Aufstellung. Jeder Parzellenversuch umfasst in der Planung zwei Anbaujahre, um die Ertragsbildung des zweijährigen Steinklees abzubilden. Eine Übersicht der produktionstechnischen Versuche bietet Tab. 14.

Tab. 14: Übersicht der Versuche zur Produktionstechnik

Versuchsthema / Aussaatjahr	2008	2009	2010	2011	2012
Herkünfte (Drillsaat)	x	x	x	x	x
Herkünfte (Pflanzung)		x	x	x	x
Aussaattermin	x	x	x	x	x
Unkrautbekämpfung	x	x	x	x	x
Kalkung (Parzellen)			x	x	(x) ⁶²
Kalkung (Gefäße)			x	x	x
N-Düngung	x	x			
Praxistest		x	x		x

Zur Frage des Aussaattermins wurden 2008 und 2009 die Versuchsanlagen zur Herkunftsprüfung (Drillsaat), Unkrautbekämpfung und N-Düngung zu drei verschiedenen Zeitpunkten pro Jahr ausgesät. 2010 – 2012 blieb diese Versuchsfrage auf die Herkunftsprüfung (Drillsaat) beschränkt, da die Prüfung dieser Faktorkombination vorzuziehen scheint.

Der Praxistest ist keine Versuchsanlage im eigentlichen Sinn. Hier wurde jeweils ein Schlag einer Größe von 2 bis 5 ha einheitlich behandelt, um betriebsübliche Technik einsetzen zu können.

4.2.1 Herkunftsvergleiche

Im Herkunftsvergleich wurden mehrere Herkünfte im Parzellenversuch analog zur Methodik der Sortenprüfung direkt miteinander verglichen (Tab. 10, Tab. 11). Dabei standen die vermutlich einjährigen Herkünfte als gesonderter Block neben den zweijährigen, um im zweiten Vegetationsjahr leere Parzellen neben den zweijährigen Prüfparzellen zu vermeiden. Alle Prüfglieder (Herkünfte) wurden gleich behandelt. Signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern sollten auf die Herkünfte zurückzuführen sein.

⁶² Nicht auswertbar, da aufgrund von Bodenunterschieden die Hälfte der Messparzellen überhaupt keinen Ertrag brachten. Zwei weitere Parzellen zeigten noch den negativen Bodeneinfluss an. Der Ertrag der restlichen Parzellen betrug im Ansaatjahr in beiden Varianten etwa 35 dt TM ha⁻¹.

Für zwei Herkünfte war die nutzbare Saatgutmenge extrem gering, da sie von der Genbank des IPK Gatersleben bezogen wurden. Die geringe Saatgutmenge erforderte eine besondere Versuchsdurchführung. Alle Saaten wurden im Frühjahr im Gewächshaus vorgezogen und nach Erreichen der Ballenstabilität ausgepflanzt. Die Auspflanzung erfolgte in einer Kleinparzellenanlage von je 3,5 m² je Parzelle in einem Pflanzraster von 25 x 10 cm als einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen in den Jahren 2010, 2011 und 2012. 2009 kamen in dieser als Screening geplanten Anlage alle vorhandenen Saatgutpartien, aber mit geringerer Wiederholung zum Einsatz. Diese Versuchsanlage ist an die von PILLAI (1962) mit Steinklee angelehnt, der aus ähnlichen Gründen Steinklee in Parzellenversuchen gepflanzt hat. Auch nach BLECKEN (1948) soll ein Standraum von 30 x 15 cm je Einzelpflanze angestrebt werden.⁶³ Bei gleichmäßiger Verteilung hat die Anzahl der Steinkleepflanzen je Fläche kaum einen Einfluss auf den Ertrag (MEYER & NORBY 1994). Nachdem die Pflanzenentwicklung im Anbaujahr 2009 die vermutete herkunftsabhängige Einjährigkeit der Herkünfte NSL und ARG bestätigte, wurde dieser aufwändige Versuch auf die besonders interessanten zweijährigen Herkünfte BIE und GÜ beschränkt. Die Herkunft UKR dient als Vergleichssorte, die sowohl in der Kleinparzelle als auch im gedrillten Herkunftsversuch angebaut wurde. Die jeweils äußeren Reihen einer Kleinparzelle und zwei Pflanzen jeder Reihe der Stirnseite wurden als Rand behandelt. Die Ernte erfolgte im Herbst des Ansaatjahres und nach Erreichen der Vollblüte im zweiten Jahr.

4.2.2 Aussaattermin

Die Festlegung der Saattermine erfolgte nach pflanzenbaulichen Kriterien. Neben einer Frühljahrsaussaat (Ende März – Mitte April) soll die Pflanzenentwicklung von Sommerseen geprüft werden. Die Aussaattermine des Steinklees (Mitte Juli) und (Ende Juli – Mitte August) orientierten sich dabei an der Erntezeit der potentiellen Vorfrüchte Wintergerste und Winterraps. Die Möglichkeit des Anbaus nach einer Winterzwischenfrucht bei einem Saattermin im späten Frühjahr wird im Fruchtfolgeversuch (s. o.) gezeigt.

Die Prüfung des Aussaattermins wurde aus versuchstechnischen Gründen mit der Herkunftsprüfung verknüpft. Auf diese Weise können alle Herkünfte auf ihre Wachstumsleistung nach verschiedenen Saatterminen geprüft werden. Der Nachteil dieser Kombination ist, dass aufgrund der Anlageform⁶⁴ keine auf das Merkmal Saattermin bezogene Varianzanalyse möglich ist. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen sind aber so deutlich, dass sie verallgemeinernde Aussagen erlauben.

⁶³ Für Pflanzungen soll sogar ein Standraum von 50 x 50 cm optimal sein (BLECKEN 1948).

⁶⁴ nur Wiederholungen der Herkünfte je Aussaattermin, aber Wiederholung der Aussaattermine in jedem der 5 Jahre.

4.2.3 Kalkung

Das Ertragsniveau der Einzelversuche wies in den verschiedenen Versuchsjahren unerklärlich große Unterschiede auf. Da in der Literatur mangelndes Pflanzenwachstum häufig mit einem zu niedrigen pH-Wert des Bodens erklärt wird, sollte die Frage des Kalkbedarfes besonders intensiv bearbeitet werden. Deshalb wurden zu diesem Thema sowohl ein Parzellenversuch als auch ein Gefäßversuch angelegt.

Die Kalkung der Parzellen erfolgte nach einer Grundbodenbearbeitung im Spätherbst vor dem Ansaatjahr. Da die Saatbettbereitung im Frühjahr zu einer Verlagerung der oberen Bodenpartikel führt, musste jede Prüfparzelle mit zwei gleichbehandelten Randparzellen ausgestattet werden. Auf Grund des hohen Platzbedarfes dieser Anlage wurden in der Parzellenanlage nur zwei Varianten untersucht. Eine differenzierte Prüfung erfolgte im Gefäßversuch. Dazu wurden hohe Mitscherlich-Gefäße⁶⁵ mit Substrat des obersten Bodenhorizontes aus der direkten Nachbarschaft des Kalkversuches gefüllt und mit zwei verschiedenen Kalkdüngern und je zwei verschiedenen Ausbringungsmengen gedüngt. Die Kalkmengen orientieren sich an den Empfehlungen für eine Keimbettkalkung ($10 \text{ dt CaO ha}^{-1}$) (s. S. 43) bzw. der Düngeverordnung (hier jeweils $30 \text{ dt CaO ha}^{-1}$) (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008b). Als Kalke wurden eine schnellwirkende Form (Granukal 80, 48 % CaO) und eine mit längerer Reaktionszeit (Dolomit, 54 % CaO) gewählt. K und P wurden, um eine Mangelversorgung an diesen Nährstoffen auszuschließen, nach Bodenuntersuchung und entsprechend erwartetem Entzug gedüngt und oberflächlich eingearbeitet. Die Gefäße standen bis zum Frost im Freiland und wurden bedarfsgerecht gegossen. So konnten sich die gelockerten Substrate in den Gefäßen wieder absetzen. Im Prüffahr standen sie, um Feldbedingungen nachzubilden, im Freien und wurden ausschließlich mit Regenwasser gegossen. Nur drei von zehn ausgesäten Pflanzen wurden, analog zu den Gefäßversuchen mit Steinklee von KÖSEOĞLU (1970), als Kompromiss zwischen der Reduzierung des Einzelpflanzeneinflusses und dem Platzbedarf der Pflanzen nach der Keimphase pro Topf belassen. Die Durchführung des Gefäßversuches blieb auf das Ansaatjahr beschränkt. Dafür konnte der Einfluss einer Kalkung auf die Spross- und Wurzelmasse vor der Überwinterung bestimmt werden.

4.2.4 N-Düngung

Für diese Versuche wurden jeweils nach der Saat verschiedene N-Düngermengen ausgebracht. Da in beiden Jahren nur die einjährigen Herkünfte ARG bzw. NSL zur Aus-

⁶⁵ mit einem Volumen von 15 Litern und einer Gefäßhöhe von 37,5 cm, um den tiefwurzelnden Pflanzen etwas mehr Raum als in den üblichen Töpfen zu geben.

saat kamen, konnte als Zielgröße nur der Ertrag des Ansaatjahres erfasst werden. Diese Vereinfachung ist zulässig, da eine Start-N-Gabe nur der Unterstützung des Jugendwachstums bis zum Einsetzen der Knöllchenaktivität dienen soll. Die Auswertung umfasst zwei Einzelversuche, die im Frühjahr und drei Einzelversuche, die im Sommer ausgesät wurden. Die späteste Aussaat des Jahres 2008 (6. August) konnte wegen zu geringer Wuchshöhe im Herbst nicht geerntet werden und blieb deshalb unberücksichtigt. Die Versuche zur N-Start-Düngung wurden nach zwei Versuchsjahren abgeschlossen, da die Ergebnisse Empfehlungen für andere feinkörnige Leguminosen bestätigten.

4.2.5 Unkrautbekämpfung

Hier wurden auf einem Standort mit sehr hohem Unkrautdruck einmalige Herbizidbehandlungen im Nachauflauf⁶⁶, eine zeitgleiche mechanische Bekämpfungsmaßnahme (Schröpschnitt) und eine unbehandelte Variante miteinander verglichen. Acker-Krummhals (*Lycopsis arvensis*), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*) und Acker-Hundskamille (*Anthemis arvensis*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Acker-Spörgel (*Spergula arvensis*), Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) und Vogelmiere (*Stellaria media*) dominierten die Unkrautflora am Standort. Als Kontrolle dienen Parzellen ohne Unkrautbekämpfung. Zielgröße ist der Trockenmasseertrag im ersten und zweiten Anbaujahr. In Tastversuchen zeigte sich eine gute Verträglichkeit von Basagran und Certrol B, wogegen die Herbizide Stomp SC und U46M Mindererträge erbrachten. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden ab 2010 nur die Mittel Basagran und Certrol B weiter geprüft. Die Herbizidspritzungen erfolgten mit einer handgeschobenen Parzellenspritze. Die Schröpschnitte wurden mit einem Kreiselmäherwerk durchgeführt. Die Einstellung der Schnitthöhe erfolgte so, dass die Triebspitze der meisten Steinklee-pflanzen nicht erfasst wurde.

Tab. 15: Prüfvarianten und Aufwandmengen im Versuch zur Unkrautbekämpfung

Bezeichnung	Wirkstoff	Aufwandmenge
ohne	-	-
Schröpschnitt	-	-
Certrol B	Bromoxynil	1,0 l + 400 l Wasser ha ⁻¹
Basagran	Bentazon	2,0 l + 400 l Wasser ha ⁻¹
Stomp SC	Pendimethalin	2,5 l + 400 l Wasser ha ⁻¹
U 46 M-Fluid	MCPA (4-Chlor-2-methylphenoxyessigsäure)	1,5 l + 400 l Wasser ha ⁻¹

⁶⁶ nach Erscheinen des 3. Fiederblattes

4.2.6 *Sitona* spp.

Für die Beobachtung der Käferaktivität wurden 2011 und 2012 unbehandelte Parzellen, die zwischen den Versuchsanlagen zur Produktionstechnik angeordnet waren, genutzt. Dabei lagen die Neuansaat in beiden Jahren neben überwinterten Steinkleebeständen. Die Bestimmung der Befallsstärke erfolgte indirekt anhand der Anzahl der typischen Blattrandkerben, analog einer für *S. lineatus* beschriebenen Methode. Dazu wurden pro Termin (1-2mal je Woche während der Vegetationsperiode) in 6 Parzellen⁶⁷ die Fraßkerben der jeweils zwei jüngsten Blätter eines Triebes an je 10 Einzelpflanzen pro Messparzelle gezählt. (ANONYM 2004).

Auf den gleichen Parzellen⁶⁸ aufgestellte Bodenelektoren dienten der Bestimmung der Käferanzahl im Bestand (Abb. 4). Diese Fallen für adulte Käfer sind gleichartigen Fallen nachgebaut, die an der Universität Rostock zum Fang von *Sitona*-Käfern in Lupinenbeständen eingesetzt wurden (STRÖCKER 2011). Sie bestehen aus einem in den Boden eingegrabenen Metallring (Durchmesser 24 cm) mit einem darüber gespannten dicht abschließenden engmaschigen Netzzelt. Das nach oben offene Netz endet in einer Eklektor-Kopfdose⁶⁹ mit durchsichtigem Deckel. Zum Fangen der Käfer wurde die Kopfdose mit Fit-Wasser gefüllt. Die Auszählung und Leerung der Fallen erfolgte gleichzeitig mit dem Zählen der Fraßkerben.

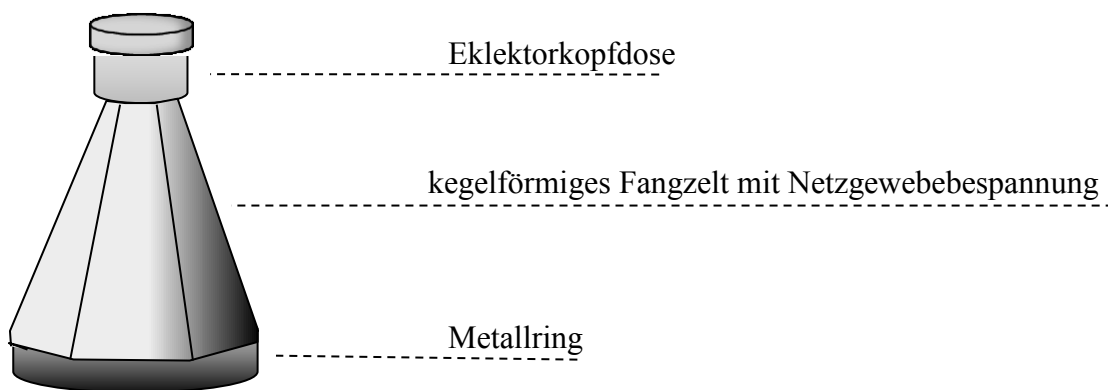


Abb. 4: schematische Darstellung eines Bodenelektors

Anders als bei Lupinen konnten die überwinterten Steinkleepflanzen nicht durch Abschneiden an der Bodenoberfläche entfernt werden, da sie zu diesem Zeitpunkt ein hohes Austriebvermögen haben. Auch die neuangesäten Pflanzen wuchsen unter den Elektoren bis zum Herbst weiter. Diese und die benachbarten Pflanzen wurden lediglich gelegentlich eingekürzt, um ein Überwachsen der Kopfdosen zu vermeiden. Die Boden-

⁶⁷ 2010 im überwinterten Bestand nur in 4 Parzellen

⁶⁸ Davon abweichend wurden nur für die Zählungen in der Aussaat 2010 jeweils verschiedene Parzellen genutzt.

⁶⁹ von der Firma „bioform entomology & equipment dr. j. schmidl e.k.“

eklektoren wurden 2011 und 2012 jeweils zu Beginn der Vegetationsperiode über den Stoppeln des überwinterten Steinklees aufgestellt und dort bis zum ersten Schnitt belassen. Der Schnitt stellt für Käfer und Pflanze eine starke Störung dar. An den neuen Triebspitzen bilden sich außerdem sehr bald Blütenknospen, so dass die jüngsten neugebildeten Blätter nicht mehr eindeutig bestimmbar sind. Mit dem in dieser Phase sehr raschem Höhenwachstum der Pflanzen verteilen sich die Käfer in der Pflanze, neue Fraßstellen finden sich deshalb seltener an den obersten Sprossen. Die kräftigen Pflanzen passen auch nicht mehr unter das Fangzelt. Da aus diesen Gründen überwinterte Bestände nach dem ersten Schnitt nicht mehr für weitere Zählungen geeignet sind, wurden die Bodeneklektoren danach (jeweils am 1. Juni) auf neuangesäte Parzellen umgestellt. Zu diesem Zeitpunkt begann die Sprosstreckung der jungen Steinkleepflanzen.

Für die Auswertung der Käferzahlen wurden nur Imagines der 2. Untergattung *Sitona* s. str. gewertet, zu der die hauptsächlich im Steinklee lebenden Arten gehören. Eine exakte Unterscheidung der einzelnen Arten über die Untergattung hinaus gelang im Feld nicht. Es ist aber bekannt, dass mehrere dieser Arten zu den Steinkleeschädlingen gehören. Ihr Vorkommen kann sich regional und jahresabhängig unterscheiden. Deshalb ist es zur Bestimmung des Schadensausmaßes zulässig, diese Arten als eine Gruppe zu behandeln. Käfer der 1. Untergattung *Charagmus* Schoenh. kamen nur vereinzelt vor.

4.2.7 Praxisversuch

In einem Produktionsexperiment wurden in der Raminer Agrar GmbH & Co. KG im Frühjahr 2009 und 2010 Felder mit einer Größe von knapp 5 ha mit Steinklee bestellt. Ihre Felder liegen zwischen dem Randowbruch an der Landesgrenze zu Brandenburg und dem unteren Odertal in der Nähe von Stettin. Der Standort ist dem Boden-Klima-Raum „Vorpommersche Sandböden im Uecker-Randow-Gebiet“ zuzuordnen (ROßBERG et al. 2007). Die mittleren Jahresniederschläge liegen in diesem Gebiet bei nur 400 mm⁷⁰. Der Boden lässt sich als grundwasserferner Sand charakterisieren, die Ackerzahl beträgt laut Betriebsunterlagen weniger als 20 (10-15). Bis 2008 dienten die Schläge langjährig als Stilllegungsfläche. Die 2012 zusätzlich bestellten Flächen sollten den Einfluss der Migration von *Sitona*-Käfern verdeutlichen. Ein Schlag (2012b) befand sich deshalb im Abstand von etwa 10 km zu den anderen direkt nebeneinander liegenden Flächen. Im Jahr 2009 kam eine Mischung der Herkünfte NSL und GELB, 2010 und 2012 jeweils die Herkunft UKR zur Aussaat. Vor der Saatbettbereitung erfolgte jeweils eine Grunddüngung mit P und K entsprechend den Bodenuntersuchungen und den erwarteten Entzugswerten sowie eine Keimbettkalkung (10 dt CaO ha⁻¹) mit Mg-haltigem Kalk. Alle Arbeitsgänge wurden mit betriebsüblicher Technik durchgeführt.

⁷⁰ Davon weichen die Versuchsjahre 2010 und 2011 mit höheren Niederschlagsmengen ab (2010: 608 mm, gemessen an der Wetterstation Grünow des DWD).

Zur Bestimmung der Erntemenge an einem Schnitttermin wurde auf 10 repräsentativen jeweils 1 m² großen Teilflächen der Aufwuchs per Hand geschnitten, gewogen und der Trockensubstanzgehalt ermittelt. Parallel dazu wurde bei der maschinellen Ernte die Gesamt-Erntemenge gewogen. 2012 erfolgte keine Ertragsermittlung. Das Erntegut wurde 2009 und 2010 siliert und als Substrat in einer Biogasanlage eingesetzt.

Tab. 16: Bodenparameter vor Versuchsbeginn (0-30 cm)

Aussaat	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Einheit	-	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹
2009	5,3	13	8	4
2010	5,6	11	4	4,1
2012a	5,5	21,1	7	6
2012b	5,8	11,7	13	3

4.3 Ertragspotential/ Ertragsbildung

Aus der Zusammenstellung von Angaben aus der Literatur und ihrer sachlichen Sortierung sollen unter Berücksichtigung ausgewählter agrotechnischer Maßnahmen allgemeine Aussagen über das Ertragspotential des Steinklees abgeleitet werden. Für die Auswertung wurden alle verfügbaren Ertragsangaben aufgelistet und nach pflanzenbaulichen Kriterien geordnet (Tab. 59). Waren in der Literatur Ertragsspannen angegeben, wurde jeweils der obere und der untere Wert als Einzelangabe behandelt. Bei der Bezeichnung „> x“ kam der Wert „x“ in die Liste. Manche ältere Autoren führen Erträge nur als Heu- oder Grünmassenertrag auf. In diesen Fällen erfolgte die Berechnung der Trockenmasse mit der Annahme von 85 % TS für Heu und 20-30 % TS für die Grünmassen⁷¹ entsprechend des geschätzten Entwicklungsstandes der Pflanzen. Alle Werte wurden einheitlich auf die Einheit dt TM ha⁻¹ umgerechnet. Bei der Diskussion dieser Zusammenstellung muss beachtet werden, dass sie sowohl auf allgemeinen Ertragsangaben als auch auf verschiedenen Versuchsergebnissen beruht. Außerdem stammen die Werte aus verschiedenen Ländern. Eine Reduzierung auf die mitteleuropäische Literatur hätte einerseits keine ausreichende Datenanzahl ergeben. Andererseits liegen die Werte selbst aus den weiter entfernten Ländern in dem Bereich der Erträge in Deutschland. Eine genauere Bestimmung des Ertragspotentials ist jedoch auf dieser Basis nicht möglich. Trotz dieser Einschränkung lassen sich aus der Analyse für produktionsorientierte Ziele wesentliche Trends der Ertragsbildung und Einschätzungen des Ertragspotentials ableiten. Zur Überprüfung der Erkenntnisse dient ein Vergleich mit den Biomasseerträgen aller hier vorgestellten Versuche⁷². Dazu werden die erzielten Erträge der Früh-

⁷¹ Auf die Grünmasse sind insgesamt nur 14 Einzelwerte bezogen, so dass der evtl. auf die Umrechnung zurückzuführende Fehler vernachlässigt werden kann.

⁷² außer denen des Gefäßversuches, da dieser keine Aussagen über absolute Ertragshöhen erlaubt.

jahrsaussaaten (März-Mai) nach dem Schnittzeitpunkt im Vegetationsverlauf des Steinklees gruppiert und graphisch dargestellt. Als Einzelergebnisse werden die Erträge der Prüfvarianten der verschiedenen Parzellenversuche genutzt. Der Ausfall einjähriger Herkünfte im zweiten Vegetationsjahr blieb unberücksichtigt, da bei einem geplanten Anbau dieser Herkünfte die Fruchtfolge entsprechend angepasst würde.

4.4 Vorfruchtwert und N-Fixierung

Die Erfassung der N-Fixierung einer Leguminosenart im Feld erfordert spezielle Versuchsanstellungen. Bei allen bekannten Versuchsmethoden entstehen mehr oder weniger große Ungenauigkeiten in den Ergebnissen. Außerdem führt die Bestimmung der N-Bindung ohne Einbeziehung der Stoppel- und Wurzelrückstände und der Veränderung des Boden-N-Gehaltes zu einer gravierenden Unterschätzung der Werte. Eine repräsentative Messung dieser Fraktionen ist besonders aufwändig (UNKOVICH & PATE 2000; LOGES et al. 2001; OTTOW 2011; SCHWEIGER et al. 2012). Deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit eine Abschätzung des N-Fixierungspotentials des Steinklees anhand von Literaturangaben erfolgen. Die Recherche einer möglichst großen Anzahl von Informationen zu Wurzel- und Stickstoffmengen ergab die Möglichkeit, mittels Gruppierung anhand von Sachkriterien Schätzbereiche für einige Fruchtfolgestellungen abzuleiten. Mangels ausreichender Versuchsergebnisse aus Mitteleuropa wurden in diese Aufstellung auch allgemeine Angaben zum Steinkleeanbau und Versuchsergebnisse aus Regionen mit in etwa vergleichbaren Klimaverhältnissen aufgenommen. Die Spannweite dieser Werte liegt innerhalb der für mitteleuropäische Verhältnisse gefundenen Angaben und erscheint deshalb zulässig. Messreihen aus Gefäßversuchen sind für diese Vergleiche nicht geeignet, da sich die Wachstumsbedingungen hier stark von denen im Feld unterscheiden und dadurch das Spross-Wurzel-Verhältnis verschoben wird. Wurzel-mengenbestimmungen zu drei verschiedenen Zeitpunkten dienen der Validierung der Ergebnisse. Dazu wurden auf Anbauflächen mit der Herkunft UKR pro Termin mehrere repräsentative Probenahmestellen von jeweils $\frac{1}{4} \text{ m}^2$ und 30 cm Tiefe ausgestochen und die Wurzeln vorsichtig mit der Hand von anhaftenden Erdbestandteilen befreit und nach Zerkleinerung bei 55 °C getrocknet. Mit dieser relativ einfachen Methode wird ein Teil der Feinwurzeln nicht erfasst. Der so entstehende Fehler ist aufgrund des geringen Gesamtgewichts dieser Wurzelteile allerdings zu vernachlässigen. WILLARD (1926) schätzt ihn auf <6 % der Steinkleewurzelmasse. Die Gewichtsermittlung der oberirdischen Sprossmasse erfolgte von denselben Flächen. Die Trocknung auf 105°C und die Bestimmung des N-Gehaltes übernahm die LUFA Rostock (s. Tab. 56). Die Ansaat der Steinkleebestände erfolgte jeweils als Blanksaat mit einer Parzellendruckmaschine.

4.5 Inhaltsstoffe

Um die Erntegutqualität dieser wenig bekannten Pflanzenart wissenschaftlich bewerten zu können, müssen die wertgebenden Inhaltsstoffe laboranalytisch bestimmt werden. Bekannte Angaben in Futtermitteltabellen sind älteren Datums und beschreiben nur die Biomasse im zweiten Vegetationsjahr (s. Abschnitt 2.1.4). Das veranlasste dazu, zu jedem Erntetermin prüfgliedweise eine Mischprobe aus der geernteten Biomasse zu entnehmen und deren TS-Gehalt zu ermitteln. Je Termin und Herkunft wurde eine Mischprobe dem Labor zur Untersuchung wichtiger Inhaltsstoffe übergeben. Die Analyseergebnisse können zur Einschätzung der Biomassen, der Berechnung des potentiellen Methanertrages und zum Vergleich mit Tabellenwerten genutzt werden.

Laboranalytik⁷³

Die Laboruntersuchungen der Bodenproben und des Pflanzenmaterials erfolgten in der Regel durch die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt der LMS Agrarberatung Rostock (LUFA).

Die Parameter für den Gärversuch wurden an der Professur für Agrartechnologie und Verfahrenstechnik der Universität Rostock bestimmt. Die N-, NH_4^+ -Gehalte und FOS/TAC-Werte der Gärreste ermittelten die Labormitarbeiter der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA).

Die Analysen des Cumaringehaltes führte das Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Lebens- und Futtermitteluntersuchung in Neubrandenburg durch (LALLF).

4.6 Statistische Auswertungsverfahren

Zur mathematisch-statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse wurde die PIAFS-tat-Software, die eine Kommunikation zwischen den Programmen PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Feldversuchswesen) und SAS (Statistical Analysis System) ermöglicht, genutzt. Die in den Parzellenversuchen gewonnenen Daten wurden entsprechend der Parzellenanlage mit den Verfahren für einfaktorielle Blockanlagen, Langparzellen und als Serien über mehrere Jahre ausgewertet. Die Versuchsauswertung erfolgte als Zwei-Schritt-Analyse. Dabei werden im ersten Schritt die Einzelversuche optimal ausgewertet. Die anschließende Serienauswertung wird mit den Mittelwerten der Einzelversuche und den zugehörigen Standardfehlern als Wichtungsfaktoren mit der Prozedur „PROC MIXED“ in SAS durchgeführt (MICHEL et al. 2007).

⁷³ Benennung der verwendeten Methoden siehe Tab. 56 im Anhang

4.7 Silierversuche

Für die Silierversuche wurden Steinkleepflanzen der Erntetermine Herbst 2009, Herbst 2010, Frühjahr 2011 und Frühjahr 2012 genutzt (Tab. 37, Tab. 42). Zur Bereitung von Mischsilagen diente frisch geernteter Silomais. Grünschnitt der Leguminose *Galega orientalis* war Ausgangssubstrat für Vergleichssilagen. Das Pflanzenmaterial wurde frisch gehäckselt, je nach Variante behandelt, in 1,5l-Einweckgläser eingepresst und bei Zimmertemperatur mindestens drei Monate gelagert. Pro Prüfvariante gab es zur Wiederholung und als Reserve jeweils zwei Laborsilos. Nach der Öffnung erfolgte eine Einschätzung anhand der Anleitung zur Grobfutterbewertung ohne Berücksichtigung des pH-Wertes (Sinnenprüfung) (DLG 1999). Einzelsilos, bei denen Schimmelbildung einen nicht vollständigen Luftabschluss anzeigte, wurden von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen. Die Untersuchungen zur Gärqualität führte die LUFA Rostock durch (s. Tab. 56). Zur Beurteilung der Gärqualität auf der Basis der chemischen Untersuchung diente der DLG-Schlüssel (DLG 2006). Die Korrektur der Trockensubstanzgehalte der Silagen wurde mit den Formeln für Biogassubstrate nach WEIßBACH (2008) berechnet. Die Ermittlung der Gärverluste erfolgte aus den Gewichtsabnahmen der Laborsilos und einem Korrekturfaktor für gebundenes CO₂ (WEIßBACH 1998a).

Das Ziel des ersten Versuchsdurchganges war die Herstellung guter Silage aus dem Erntegut unterschiedlicher Entwicklungsstadien. Die Silierung erfolgte deshalb mit folgenden Strategien:

- a) Erhöhung des Vergärbarkeitskoeffizienten durch Anwelken auf einen ausreichend hohen TS-Gehalt (Die erreichten TS-Gehalte nach dem Anwelken blieben aufgrund der Witterungsbedingungen (Oktober) unter den angestrebten Werten.)
- b) Erhöhung der Menge an leicht vergärbaren Kohlenhydraten durch gemeinsame Silierung mit Silomais (Dafür wurden die Pflanzenarten einzeln gehäckselt und nach Frischmasse im Verhältnis 2 : 1 (Mais : Steinklee) vor der Silobefüllung gemischt.)
- c) Zusatz von Milchsäurebakterien nach Anleitung der Hersteller zur Beschleunigung der Säuerungsgeschwindigkeit.

Die Ergebnisse des ersten Versuchsdurchganges zeigten in einigen Varianten bessere Gärqualitäten an, als aufgrund der Vergärbarkeitskoeffizienten der Ausgangssubstrate zu erwarten war. Die Wiederholung mit ähnlichen Varianten diente deshalb der Überprüfung. Zusätzlich wurden einige Laborsilos mit sehr feuchten Substraten gefüllt, um ungünstige Silierbedingungen zu provozieren.

4.8 Kalkulation der Methanausbeute

Für die ökonomische Einschätzung interessiert neben den Erträgen auch die spezifische Methanausbeute der geernteten Biomasse. Die Berechnung des theoretischen Methanbildungspotentials erfolgt auf der Grundlage der laboranalytisch bestimmten Inhaltsstoffe. Die TS- und Nährstoffgehalte der Silagen wurden dabei immer mit den Formeln von WEIBBACH (2008) korrigiert.

Bei der Nutzung der häufig als „Baserga-Methode“ bezeichneten Kalkulation werden die Gehalte an Rohasche, Rohprotein, Rohfett und der Kohlenhydrate⁷⁴ unter Einbeziehung ihrer Verdaulichkeiten mit einer für diese Stoffgruppen spezifischen Methanausbeute multipliziert. Die entsprechend ihrer Relation an der oTM summierten Werte ergeben das Methanbildungspotential des Substrates (KTBL 2007; FRIEHE et al. 2010). Ein Nachteil dieser Methode sind die unzureichenden Informationen über die Verdaulichkeiten von Steinkleesubstraten. Lediglich drei Entwicklungsstadien „vor Blüte“, „Blühbeginn“ und „Vollblüte“ sind in den den Futtermitteltabellen von NEHRING et al. (1970), (s. Tab. 2) beschrieben. Für die Berechnungen von Substraten aus dem Herbst des Ansaatjahres und nach der Vollblüte wurde mangels Alternative auf die Verdaulichkeiten zur Vollblüte zurückgegriffen. Das Methanbildungspotential der verwendeten Rindergülle kann mit dieser Methode nicht berechnet werden. Zum Vergleich wurde stattdessen ein mittlerer Tabellenwert von 193 l_N CH₄ kg oTM⁷⁵ eingesetzt.

Einer weiteren Methode („Weißbach-Methode“) liegt die Schätzung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS) zugrunde, die mit einem festen Faktor multipliziert die potentielle Methanausbeute ergibt (WEIBBACH 2009a, 2009b, 2011). Für die Berechnung der FoTS von Steinklee wurde auf die für Luzerne angegebene Formel zurückgegriffen, was nach WEIBBACH (2009c) aufgrund der Ähnlichkeit beider Pflanzensubstrate zulässig sein sollte:

$$\text{FoTS}_{\text{Luzerne}} = 971 - (\text{RA}) - 0,41 (\text{RFa}) - 0,00101 (\text{RFa})^2$$

Das Gasbildungspotential der in den Silier- und Gärversuchen verwendeten Maissubstrate und der Rindergülle wurde nach den Formeln

$$\text{FoTS}_{\text{Mais}} = 984 - \text{RA} - 0,47 (\text{RFa}) - 0,00104 (\text{RFa})^2 \text{ und}$$

$$\text{FoTS}_{\text{Gülle}} [\text{g/kg TS}] = 0,50 (1000 - \text{RA} [\text{g/kg TS}])$$

berechnet (WEIBBACH 2009a, 2009b, 2011).

Die Berechnung des Methanbildungspotentials von Mischsubstraten konnte für die „Baserga-Methode“ nur getrennt für die einzelnen Ausgangssubstrate erfolgen. Die Er-

⁷⁴ = Summe aus Rohfaser und NFE

⁷⁵ FNR (2010)

gebnisse wurden entsprechend des jeweiligen Anteils an der Mischung summiert. Eine eventuelle Modifikation durch die Silierung wird dabei nicht erfasst. Die Berechnung nach der „Weißbach-Methode“ basiert auf der Analyse der Substratmischung, d.h. bei Silagen nach dem Silierprozess. Die Wahl der Formel für die Berechnung der FoTS richtete sich dabei nach dem Hauptbestandteil der Mischung. Für die vorgestellten Mischsubstrate mit Steinklee wurde deshalb die Formel für Mais eingesetzt. Dabei wird die FoTS der Steinklee- und Gülleanteile leicht überschätzt. Alternativ kann die Berechnung analog wie bei der „Baserga-Methode“ anhand der Ausgangssubstrate (additiv) mit dem Fehler der nichtberücksichtigten Silierung erfolgen. Die Werte der ersten Verfahrensweise erscheinen jedoch plausibler. Die im Ergebnis abgeleitete Schätzung des spezifischen Methanbildungspotentials von Steinklee ändert sich dadurch nicht.

Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung von Richtwerten, wie sie z. B. von der KTBL auf der Grundlage vieler Laborversuche, Rechenmodellen und langjährigen Erfahrungen zusammengestellt wurden (KTBL 2010). Für eine Einschätzung bisher fast nicht untersuchter Substrate wie dem Steinklee eignen sich diese Richtwerte naturgemäß nur als Vergleichsmaßstab und können gesonderte Untersuchungen nicht ersetzen.

4.9 Gärversuche

Die Gärversuche zur Biogasgewinnung wurden von den Mitarbeitern der Professur für Agrartechnologie und Verfahrenstechnik an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock durchgeführt.

Eine direkte Bestimmung der spezifischen Methanausbeute kann über Batch-Fermentationsversuche nach der VDI-Richtlinie 4630 erfolgen. Die Einzelergebnisse weisen jedoch relativ große Streuungen innerhalb einer Versuchsreihe und zwischen verschiedenen Laboren auf (FRITZ 2009; KTBL 2010). Aufgrund der erhöhten Versuchungenauigkeit von Batchversuchen mit < 300 g Probeneinwaage (FRITZ 2009; WEIßBACH 2009c) und der von DIETZE (2010) beobachteten Varianz bei der Bestimmung von spezifischen Methanausbeuten aus Steinkleesubstrat in 500 ml-Batchflaschen, wurde die Batchmethode nur 2009 für einen Tastversuch eingesetzt und für die weiteren Vergärungsversuche die Methode der quasi-kontinuierlichen Vergärung⁷⁶ gewählt.

Der kontinuierliche Laborversuch orientierte sich an der möglichst realistischen Nachbildung des Fermentationsprozesses einer Biogasanlage über mehrere Verweilzeiten. Diese Versuchsform ist u. a. für die „Ermittlung der Biogasbildung des Verfahrens in Verbindung mit dem Substrat und den Substratgemischen“ (KTBL 2007) geeignet. Die

⁷⁶ ebenfalls unter Beachtung der VDI-Richtlinie 4630

Fermenteranlage wurde von BURGSTALER et al. (2010) konzipiert und gebaut. Sie besteht aus drei separaten einstufigen Fermentern aus Acrylglas mit einem Reaktionsvolumen von je 10,5 l. Die manuelle Beschickung und Substratentnahme erfolgte über einen unterhalb der Füllstandsgrenze endenden Stutzen. Zur Erhaltung einer konstanten Temperatur von 37 °C ist im doppelwandigen Mantel der Laborfermenter eine thermostatgesteuerte Wasserheizung integriert. Alle Versuche wurden im mesophilen Temperaturbereich bei 37 °C betrieben. Für die Durchmischung befindet sich in jedem Fermenter ein computergesteuertes Rührwerk. Die nötige Mess- und Sensortechnik zur kontinuierlichen Datenerfassung ist im Fermenterdeckel eingebaut. Das gebildete Biogas strömt über eine separate Öffnung durch Trommelgaszähler und wird für die tägliche Qualitätsmessung in gasdichten Säcken aufgefangen.

Silomais ist ein gut bekanntes und in Biogasanlagen häufig eingesetztes Substrat und daher zum Vergleich mit unbekannten Substraten geeignet. Deshalb wurde in jedem Teilversuch ein Fermenter ausschließlich mit Silomais gefüttert, um unter den gegebenen Versuchsbedingungen als Standardvariante und Vergleich zu dienen.

Die verwendete Methode soll zusätzlich eine quantitative Aussage über das Methanbildungspotential von Steinklee erlauben (SCHLEGEL 2009). Die Steinkleesubstrate wurden dabei, um die Aussagensicherheit zu erhöhen, in zwei Fermentern nach einem einheitlichen Fütterungsplan im Doppelversuch geprüft. Auch die sehr hohe Anzahl von Einzelmessungen bei einem Messzeitraum > 90 Tagen verbessert die Sicherheit der Ergebnisse. Die insgesamt große Substratmenge gewährleistet einen repräsentativen Materialeinsatz. Durch den sehr langen Versuchszeitraum können sich die Mikroorganismen im Fermenter an das besondere Pflanzensubstrat anpassen. Gerade bei der Vergärung von Leguminosen besteht andernfalls die Gefahr, das Methanbildungspotential zu unterschätzen. Außerdem erlauben Langzeitversuche Aussagen zum dauerhaften Substrateinsatz unter praxisähnlichen Bedingungen.

Als Inokulum wurde 2010, 2011 für alle Fermenter und 2012 nur für Fermenter I Impfsubstrat aus einer mesophil betriebenen Biogasanlage verwendet, in der in der Rinder- und Schweinegülle mit Maissilage und Futterresten vergoren werden. 2012 diente der Gärrest der Fermenter II und III nach der Ausgärung des Versuches 2011 als Inokulum für die Fermenter II und III. Damit sollte für die geplante Steinkleevergärung in den Fermentern II und III die Adaption der Mikroorganismen aus dem vorherigen Versuch genutzt werden. Zur Versuchsvorbereitung gehörte jeweils eine Ausgasungsphase, um einen Einfluss von Restmethanpotential aus dem Inokulum auszuschalten. Anschließend wurde die Substratzugabe über mehrere Wochen gesteigert und ein möglichst stabiler Prozessverlauf angestrebt. Alle Versuche endeten nach Einstellung der Fütterung mit einer Ausgasungsphase zur Bestimmung des Restgaspotentials des Fermenterinhaltes.

Die Steinkleebiomasse stammt in jedem Versuchsdurchgang vom Erntegut einer cumarinreichen Herkunft aus den Gülzower Parzellenversuchen. Alle Ausgangssubstrate wurden direkt nach oder während der Ernte gehäckselt und eingefroren oder einsiliert. Um die Rührbarkeit im Fermenter zu gewährleisten, erfolgte vor der Portionierung der Tagesrationen eine Zerkleinerung mit einem Fleischwolf im gefrorenen Zustand.

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen erfolgte die Substratzugabe in den Versuchen 2010 und im Jahr 2011 bis zur 8. Versuchswoche einmal täglich an Werktagen. Ab der 9. Versuchswoche 2011 und während des gesamten Zeitraumes 2012 konnte eine tägliche Beschickung durchgeführt werden.

Tab. 17: Untersuchungen in den kontinuierlichen Gärversuchen

Parameter	Einheit	Untersuchungsrhythmus
produzierte Biogasmenge	l _N	täglich
Biogasqualität	Vol.%, ppm	täglich
pH-Wert	-	stündlich
TS der Substrate	% FM	wöchentlich
oTS der Substrate	% TM	wöchentlich
TS des Gärrestes	% FM	1-2 x wöchentlich
NH ₄ ⁺ -Gehalt im Gärrest	g kg ⁻¹ FM	1-2 x wöchentlich
Gesamt-N-Gehalt im Gärrest	g kg ⁻¹ FM	1-2 x wöchentlich
FOS/ TAC im Rostocker Labor		wöchentlich
FOS/ TAC im Gülzower Labor		1-2 x wöchentlich
Inhaltsstoffe der Substrate		zu Versuchsbeginn

Alle Untersuchungen wurden entsprechend der Vorschriften (Tab. 56) und mindestens als Doppeluntersuchungen durchgeführt. Die Verwendung der den Biogasprozess beschreibenden Begriffe folgt den Definitionen aus (VDI 2006).

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Ergebnisse aus dem Fruchtfolgeversuch

5.1.1 Ertragsvergleich der Fruchtfolgen

Zwischen den summierten Biomasseerträgen der geprüften Fruchtfolgen konnten für beide Anlagen signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 5, Erläuterung der Fruchtfolgen s. Abschnitt 4.1, S. 64f). Die höchsten Erträge lieferte die Fruchtfolge A mit einem Ernteschnitt des Steinklees im zweiten Vegetationsjahr und anschließendem Anbau von Silomais in Zweitfruchtstellung. Dieses Ergebnis bestätigt bekannte Ertragsrelationen zwischen Mais in Hauptfruchtstellung und Zweitfruchtmais mit vorheriger

Winterzwischenfrucht am Standort Gülzow (KLOSTERMANN 2008; GURGEL 2011).

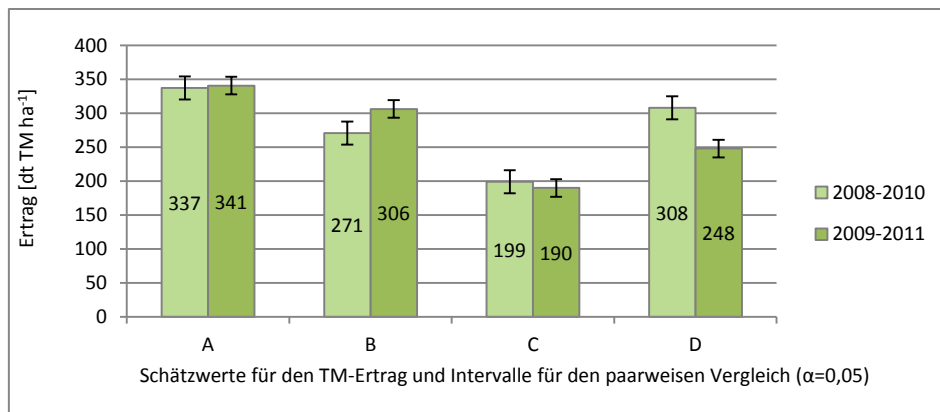


Abb. 5: Kumulierter Biomasseertrag⁷⁷ der geprüften Fruchtfolgeglieder

Bemerkenswert sind die Unterschiede zwischen den Anlagen (Abb. 6).

In Jahren mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit wie 2011 beeinträchtigt der tiefwurzelnde Steinklee durch seinen hohen Wasserverbrauch die Keimung des Maises. Der Mais lief 2011 erst nach dem nächsten Regen vier Wochen später auf. Aber auch zu niedrige Bodentemperaturen nach der Aussaat, wie es 2010 der Fall war, können die Maiskeimung verzögern. Trotz dieser sehr ungünstigen Wachstumsbedingungen für die jungen Maispflanzen konnte mit dem Anbau von Mais in Hauptfruchtstellung jedoch in beiden Jahren ein standortüblicher Ertrag erzielt werden⁷⁸.

Der um mehr als die Hälfte geringere Steinkleertrag des Ernteschnittes vor der Aussaat des Zweitfruchtmaises der ersten gegenüber der zweiten Anlage kann mit dem späten Vegetationsbeginn und ungewöhnlich kühlen Frühjahr 2010 erklärt werden. Die Vorsommertrockenheit von 2011 beeinträchtigte den Austrieb des Steinklees dagegen nicht.

Ob die unterschiedlichen Ertragsrelationen von Haupt- und Zweitfruchtmais zwischen den beiden Anlagen mit dem höheren Wasserverbrauch des kräftiger gewachsenen Steinklees im Jahr 2011 erklärt werden kann, lässt sich nicht belegen. In beiden Jahren lief der Zweitfruchtmais schnell auf und im Juni 2011 setzten wieder ausreichende Niederschläge ein. Ungünstig war in diesem Jahr eine starke Windexposition der Versuchspartellen, von denen die der Fruchtfolge A besonders benachteiligt wurden. Die Keimverzögerung des Hauptfruchtmaises betrug 2010 vier Wochen, 2011 nur drei Wochen.

⁷⁷ Unter dem kumulierten Ertrag wird die Summe der Biomasseerträge über eine gesamte Rotation verstanden.

⁷⁸ Maisertrag im EVA-Projekt, gleicher Standort in benachbarter Versuchsanlage, gleiche Sorte Atletico, Hauptfruchtstellung ohne Winterzwischenfrucht: 2010: 179 dt TM ha⁻¹, 2011: 190 dt TM ha⁻¹ (PETERS 2011)

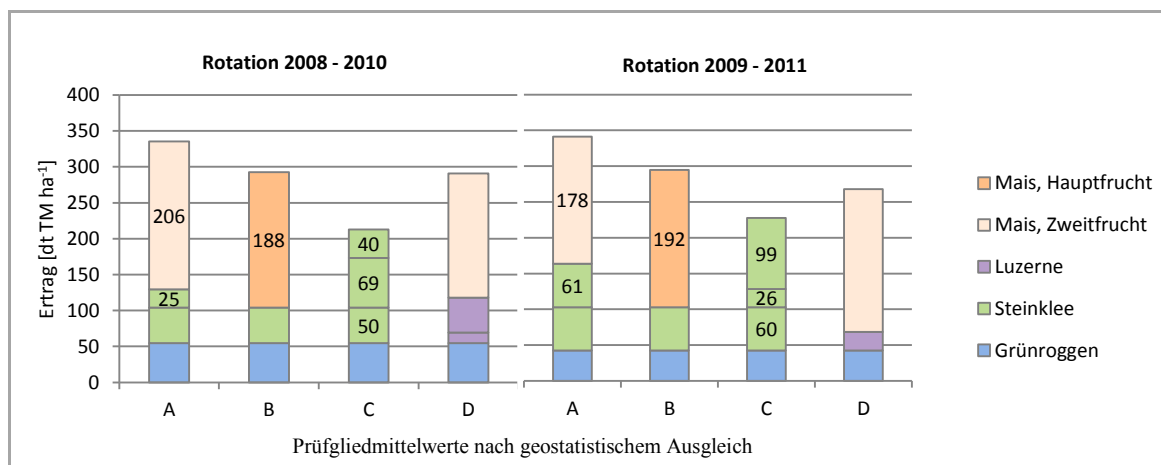


Abb. 6: Kumulierte Erträge der Fruchtfolgeglieder, unterteilt nach Fruchtarten und Ernteschnitten

Der zweite Aufwuchs des Steinklees in Fruchtfolge C blieb 2010 im zweiten Vegetationsjahr hinter den Erwartungen zurück. Nur ein Teil der Pflanzen zeigte trotz hoher Schnitfführung einen (schwachen) Wiederaustrieb. Der Grund dafür ist im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium (Blühbeginn) zum ersten Schnitttermin zu finden. Im frühen Knospenstadium geernteter Steinklee wächst, wie 2011 demonstriert, mit kräftigen Trieben neu nach. Belege für dieses Verhalten finden sich auch in der Literatur (s. S. 48)⁷⁹. Der daraufhin früher gelegte Termin 2011 erklärt den geringeren Ertrag des ersten Ernteschnittes im zweiten Vegetationsjahr im Vergleich zu 2010. Bemerkenswert bleibt der trotz günstigerer Schnitttermine nur wenig höhere Gesamtertrag (Tab. 18).

Tab. 18: Erntetermine in der 1. und 2. Anlage

Fruchtarten	Erntedatum	
Anlage	2008 - 2010	2009 - 2011
Grünroggen (Fruchtfolge A, B, C, D)	04.05.2009	05.05.2010
Steinklee u. Luzerne, 1. Jahr 1. Schnitt (Fruchtfolge A, B, C, D)	19.10.2009	04.10.2010
Steinklee und Luzerne, 2. Jahr Schnitt vor Maissaat (Fruchtfolge A, D)	26.05.2010	26.05.2011
Steinklee, 2. Jahr 1. Schnitt (Fruchtfolge C)	24.06.2010	19.05.2011
Steinklee, 2. Jahr 2. Schnitt (Fruchtfolge C)	12.10.2010	28.09.2011
Mais (Fruchtfolge A, B, D)	12.10.2010	28.09.2011

Aus den Ergebnissen des Fruchtfolgeversuches können die folgenden Anbauhinweise (Abschnitte 5.1.2 - 5.1.6) abgeleitet werden.

⁷⁹ In der Literatur wird häufig auf die Notwendigkeit eines hohen Schnittes, aber nur vereinzelt auf einen Termin vor der Blüte verwiesen.

5.1.2 Vergleich der Leguminosen: Steinklee – Luzerne

Die Jugendentwicklung des Steinklees verlief in beiden Anlagen deutlich schneller als die der Luzerne und war weniger durch die Vorsommertrockenheit im Ansaatjahr beeinträchtigt. Luzerne überwinterte gut, konnte jedoch in beiden Anlagen im ersten Jahr keinen erntewürdigen Schnitt liefern.

Im Unterschied zu DANCS (1964), der bei einem Ertragsvergleich beider Arten über zwei Wachstumsjahre für die Luzerne „eine hochsignifikante Überlegenheit gegenüber allen Steinkleeformen“ ermittelte, führte der Fruchtfolgeversuch zum gegenteiligen Ergebnis. Die Ursache ist im unterschiedlichen Wachstumsverhalten von Steinklee und Luzerne zu finden. Steinklee als zweijährige Pflanze kann schon im Ansaatjahr beträchtliche Bestände bilden; seine Hauptwachstumsleistung erbringt er aber im Frühjahr seines zweiten Vegetationsjahres. Luzerne lässt als länger ausdauernde Art im ersten Jahr nur einen geringen Ertrag erwarten. Ihre Ertragsleistung wird vor allem durch die folgenden Nutzungsjahre bestimmt. Schon frühere Untersuchungen belegen die Ertragsüberlegenheit des Steinklees im ersten Vegetationsjahr gegenüber Luzerne oder Rotklee (STICKLER & JOHNSON 1959a; FRIBOURG & JOHNSON 1955; PILLAI 1962). Unter für die Luzerne sehr günstigen Standortverhältnissen soll diese aber auch schon im Ansaatjahr höhere Erträge als der Steinklee bringen (SPECHT 1939). Das Schnittregime von DANCS (1964) (zwei Schnitte zum Knospenstadium im zweiten Jahr) benachteiligt den Steinklee stark, da beim Steinklee nach dem ersten Schnitt schnell wieder die Blütenknospenbildung einsetzt, seine Massebildung aber noch nicht abgeschlossen ist. Im hier vorgestellten Fruchtfolgeversuch wurde die Luzerne dem Steinklee gegenüber benachteiligt, da der Fruchtwechsel zum Silomais zu dem Stadium durchgeführt wurde, in dem bei der Luzerne das Massenwachstum erst beginnt. Werden ausschließlich die Ertragsergebnisse des Ansaatjahres betrachtet, bestätigt sich diese Erklärung. Hier überragen die festgestellten Erträge des Steinklees die der Luzerne deutlich (bis zu 600% bei DANCS (1964), ähnlich im hier vorgestellten Versuch). Trotz gegensätzlicher numerischer Ergebnisse sind die Versuchsergebnisse beider Arbeiten deshalb nicht widersprüchlich. In einem anderen Anbauvergleich beider Arten wurden Steinklee und Luzerne einmal pro Jahr geschnitten (PILLAI 1962). Die Ertragsüberlegenheit des Steinklees unter diesen Bedingungen entspricht in beiden Nutzungsjahren den hier vorgestellten Ergebnissen. Auch die Beobachtung von SIMON (1962), dass nach Aussaat unter Deckfrucht im Vorjahr Steinklee beim ersten Frühjahrsschnitt der Luzerne meistens ertraglich überlegen ist, lässt sich durch die beschriebenen entwicklungsphysiologischen Artunterschiede erklären.

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Arten liegt in ihrer Schnittverträglichkeit. Luzerne besitzt ganzjährig wiederaustriebsfähige Wurzelknospen und übersteht deshalb auch häufigere Schnitte. Maximale Biomasseerträge werden mit Luzerne in

drei- bis vierschnittigen Ernteverfahren erreicht. Steinklee dagegen ist während der Vegetationsperiode nur zum Wiederaustrieb aus Sprossachsenknospen und vor dem Blütenstadium (s. Abschnitt 5.1.6) befähigt. Für einen Vergleich des Ertragspotentials beider Arten müssten deshalb die aufsummierten Erträge über vier bis sechs Jahre verglichen werden, wobei die Luzerne mit einmaliger Ansaat und mehreren Schnitten pro Jahr und der Steinklee mit zwei- oder dreimaliger Ansaat und ein- bis zweischnittig pro Jahr geführt werden müsste.

Im hier besprochenen Versuch sollten nicht die Ertragspotentiale der Arten verglichen, sondern Grundsätze für die Einordnung des Steinklees in die Fruchtfolge herausgearbeitet werden. Das Ergebnis bestätigt die Einschätzung von JEPPE (1848), dass Steinklee aufgrund seiner im Vergleich zu Luzerne kurzen Kulturdauer gut für eine Einordnung in Ackerbaufruchtfolgen geeignet ist.

5.1.3 Fruchtfolgestellung: Vorfrucht – Steinklee

Die Aussaat des Steinklees kann sowohl als Frühjahrsblanksaat als auch nach einer Winterzwischenfrucht wie Grünroggen (hier im Versuch) eingeordnet werden. Auch bei einem Saattermin Anfang Mai wird das Wachstumsplateau (vgl. Abschnitt 5.4.3) im Sommer des ersten und des zweiten Vegetationsjahres erreicht. Die Nutzung einer Winterzwischenfrucht vor dem Steinklee kann das vergleichsweise niedrige Ertragspotential im ersten Vegetationsjahr ausgleichen. Eine spätere Ernte der Winterzwischenfrucht als hier im Versuch (bis Ende Mai) dürfte den Gesamtertrag noch positiver gestalten. Außerdem verringern späte Aussaaten im Frühjahr möglichen Schaden durch *Sitona*-Käfer. Besonders trockene Standorte (geringe Jahresniederschlagsmenge und geringes Wasserspeichervermögen des Bodens) sind allerdings für Fruchtfolgen mit Zwischen- und Zweitfrüchten nur bedingt geeignet. Kann mit dem geplanten Aussaattermin jedoch das Ende der Vorsommertrockenheit abgewartet werden, ist die Möglichkeit einer zweiten Bestandesetablierung wieder gegeben. Eine Alternative zur Frühjahrsblanksaat wäre die Etablierung des Steinklees als Untersaat in Getreide (s. S. 41f).

5.1.4 Fruchtfolgestellung: Steinklee – Nachfrucht

An Standorten mit hoher N-Auswaschungsgefährdung wird es günstig sein, den Steinklee als überwinternde Kultur in die Fruchtfolge einzuplanen, da die N-reiche Biomasse schnell umgesetzt wird. Unter den günstigen Mineralisationsbedingungen im Mai und Juni waren hier im Versuch bei vorher unauffälligen Werten schon vier Wochen nach Umbruch ca. $100\text{-}200 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ mehr als in Nachbarparzellen ohne Leguminosen in

der Bodentiefe von 0-90 cm zu finden⁸⁰. Silomais ist eine ideale Nachfrucht zur Verwertung dieser hohen N-Mengen. Bei einer Hauptfruchtnutzung des Steinklees im zweiten Vegetationsjahr wurden während des Sommers keine, nach der Ernte im Herbst leicht erhöhte Boden-N_{min}-Gehalte festgestellt, die mit dem Anbau einer Winterkultur genutzt werden können.

Mit überwinterndem Steinklee werden außerdem die Winterniederschläge genutzt, die auf Sandböden mit ihrem geringen Wasserspeichervermögen einer Sommerung nicht zur Verfügung stehen. Problematisch könnte ein zu starker Verbrauch der Frühjahrsfeuchtigkeit durch den Steinklee werden (s. u.). In dieser Hinsicht wirkt die sich anbietende Reduzierung der Bodenbearbeitung nach Steinklee günstig. Im Fruchtfolgeversuch wurde die Bodenbearbeitung vor der Maissaat ausschließlich mit der Kurzscheibenegge durchgeführt, ohne dass erkennbare Nachteile auftraten.

Im zweiten Vegetationsjahr nach dem Austrieb bodennah geschnittener oder eingearbeiteter Steinklee wie in den Fruchtfolgen A und B treibt nur schwach wieder aus. Diese Pflanzen werden unproblematisch mit der üblichen Unkrautbekämpfung im Nachauflauf des Mais mit erfasst⁸¹.

Die Wahl des Umbruchtermins der Steinkleekultur kann sehr flexibel gehandhabt werden. Es sind alle Varianten der Nachfruchtstellung (Hauptfrucht, frühe Zweitfrucht, späte Zweitfrucht, Sommerzwischenfrucht, Winterung) möglich (s. auch Abschnitt 2.4.1). Während bei einem frühen Umbruch auf Ertragsanteile des Steinklees verzichtet wird, ermöglicht ein Erntetermin Ende Juli das Ausschöpfen des Ertragspotentials und eine Nachfruchtaussaat ab August. Schon JEPPE (1848) empfiehlt den Steinklee für den Fall, dass ein Kulturwechsel im August erfolgen soll.

5.1.5 Fruchtfolgevergleich: Nachfrucht Silomais in Hauptfrucht- oder Zweitfruchtstellung

Ein optimaler Aussaattermin des Hauptfruchtmaises garantiert in der Regel Wirtschaftlichkeit. Höhere Gesamterntemengen einer Winterzwischenfrucht mit nachfolgendem Zweitfruchtmais sind meist ökonomisch ungünstiger, da die Kosten der zweiten Aussaat den Gewinnzuwachs meist übersteigen (TOEWS 2009; MAKOWSKI & LEHMANN 2008).

Etwas anders stellen sich die Verhältnisse einer Entscheidung zum Maisaussaattermin nach Steinklee dar, weil im Unterschied zu einer Winterzwischenfrucht, die Kosten des Steinkleeanbaus zwei Erntejahren zugeordnet werden können. Der zusätzliche Biomass-

⁸⁰ Diese N-Mengen sind auch bei der Schätzung der Wurzelmassen anhand der Sprossmassen zu erwarten (s. Abschnitte 5.6 und 5.7).

⁸¹ hier im Versuch mit einer einmaligen Herbizidspritzung einer Mischung aus 1,3 l ha⁻¹ Calaris und 1,1 l ha⁻¹ Dual Gold

seertrag des Zweitfruchtsystems verursacht deshalb nur die Kosten für den zusätzlichen Ernteschnitt des Steinklees im Frühjahr. Wenn zusätzlich der Maisertrag der Zweitfrucht wie in der ersten Anlage des Fruchtfolgeversuches nicht unter dem der Hauptfrucht liegt, sollte diese Variante ökonomisch vorteilhaft sein.

Bei einer ausschließlichen Nutzung des Steinklees als Gründüngung vor der Maisaussaat, ist ein früher Umbruchtermin (Ende April/ Anfang Mai) günstiger. Der N-Ertrag aus dem Steinkleeanbau wird so zwar auf ca. 80 % des Maximalertrages⁸² (auf ca. 120 kg N ha⁻¹) reduziert (WILLARD 1926). Der Mais erhält jedoch optimale Wachstumsbedingungen und die N-Verfügbarkeit ist aufgrund des engeren C:N-Verhältnis der Steinkleebiomasse höher als zu einem späteren Zeitpunkt.

Auf Sandböden ist der Anbau von Zweitfruchtmais mit erheblichem Risiko aufgrund eingeschränkter Wasserversorgung verbunden (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b). Nach erfolgreicher Keimung der Maissaat übertrifft die positive Vorfruchtwirkung des Steinklees aber auch bei Trockenheit die negative Wirkung des Bodenwasserverbrauchs. Die Ergebnisse des Fruchtfolgeversuches bestätigen hier gleichlautende Beobachtungen von CLARK (2007) aus Nordamerika. Außerdem fällt der Steinkleeumbruch in eine Periode, in der unter unseren Bedingungen Niederschläge häufiger auftreten als in den vorhergehenden Wochen⁸³.

Sowohl die Steinkleeernte als auch die Maisaussaat erlauben in einem bestimmten Zeitrahmen eine flexible Anpassung an das aktuelle Wetter, so dass günstige Perioden abgewartet werden können. Bei absehbaren Trockenperioden besteht die Möglichkeit, den Steinklee im zweiten Vegetationsjahr nur als Gründüngung einzuarbeiten und Mais zum frühen Termin zu säen oder aber den Steinklee als Hauptfrucht im zweiten Vegetationsjahr stehen zu lassen (s. u.).

5.1.6 Fruchtfolgevergleich: Silomaisanbau nach einer Kleeernte oder zwei Steinkleeschnitte im 2. Jahr

Steinklee kann mehrschnittig genutzt werden. Um das Biomassebildungspotential des Steinklees im zweiten Jahr besser auszuschöpfen, wurden in der Fruchtfolge C insgesamt drei Ernteschnitte geplant (Tab. 12). Damit wird die Anbaufläche im zweiten Jahr ganzjährig vom Steinklee belegt. Der Vorteil gegenüber Fruchtfolge A liegt in geringeren Bodenbearbeitungs-, Aussaat-, Düngungs- und Pflegekosten, die im zweiten Jahr wegfallen und in der längeren Zeitspanne für Wurzelwachstum, Humusbildung und Stickstofffixierung, die den Vorfruchtwert für die nächste Kultur beeinflussen. Die Ern-

⁸² Verglichen wird hier der Steinkleeanbau zur Gründüngung ohne Biomasseabfuhr.

⁸³ Im langjährigen Mittel ist der Juni der niederschlagsreichste Monat in Gülzow.

tekosten erhöhen sich im Gegenzug um die eines Ernteschnittes. Mit der Fruchtfolge A wird eine Kulturabfolge gegenübergestellt, von der durch das hohe Wachstumspotential der C4-Pflanze Mais ein hoher Biomassegesamtertrag zu erwarten ist.

Um Steinklee mehrschnittig nutzen zu können, sind mehrere Bedingungen einzuhalten:

- 1.) das Vorhandensein einer ausreichenden Blattmasse zum Zeitpunkt der Anlage der Überwinterungsknospen im ersten Jahr für eine gewünschte Überwinterung
- 2.) Erhalt aktiver Stängelknospen an den Stoppeln für einen Wiederaustrieb in der gleichen Vegetationsperiode
- 3.) ein Schnitt bis zum Erscheinen der Blütenanlagen für einen kräftigen Wiederaustrieb

Der erste Punkt galt hier im Versuch für alle Prüfglieder. Der Ernteschnitt im Aussaatjahr wurde deshalb erst nach Anfang Oktober durchgeführt. Die zweite Bedingung ist der Grund für die hohe Schnitfführung beim ersten Schnitt im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres. Mit der ungefähr 15-20 cm hohen Stoppel muss eine erhebliche Aufwuchsmenge auf dem Feld belassen werden. Vor einer nachfolgenden Maissaat kann der Steinklee bodennah geschnitten werden. Die letzte Bedingung bestimmt den Termin des Frühjahrsschnittes in Fruchtfolge C. Wie erwartet, lag im Versuch der kumulierte Trockenmasseertrag der Fruchtfolge C deutlich unter dem der Standardfruchtfolge A (in beiden Anlagen unter 65 %).

Der Steinklee hatte 2011 sein Wachstumsmaximum in der Zeit von April bis Mitte Juli (s. Abb. 14). Es war in dieser Versuchsanlage ohne Störung der Ernteparzellen nicht möglich (und nicht vorgesehen), den Biomasseertrag der Parzellen vor der Herbsterte zu ermitteln. Anhand der Bestandeshöhen lässt sich annehmen, dass ein früherer Schnitt ab Mitte Juli den Ertrag nicht verringert. Dann wäre in dieser Fruchtfolge anders als nach dem Maisanbau die Aussaat einer Zwischenfrucht oder von Winterraps möglich. Zusätzlich ist die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe für die Energiegewinnung bei einem frühen Schnitt günstiger als bei einer späten Ernte im Herbst. Diese Ergebnisse decken sich mit den Versuchsreihen von WILLARD (1926) und ШУКИС & ГУРКОВА (2006), die maximale Sprossmassen jeweils Anfang und Mitte Juli ermittelten.

Zusammenfassend bleibt einzuschätzen, dass eine volle zweijährige Nutzung des Steinklees bei einer abschließenden Sommernutzung im Juli eine weitere Möglichkeit des Steinkleeanbaus darstellt. Die Entscheidung für eine der hier vorgestellten Varianten (Fruchtfolge A, B oder C) kann in Anpassung an die konkreten Produktionsziele erfolgen und relativ flexibel an die aktuelle Witterung angepasst werden.

5.2 Herkunft

Unterschiede zwischen den Herkünften⁸⁴

Nach der Aussaat wirken Genotyp und Umwelt auf die Ausprägungen des Phänotyps. Erst nach einer Wiederholung des Anbaus an verschiedenen Standorten und Jahren kann der Einfluss des Genotyps abgeschätzt werden. Streng genommen gelten die vorgestellten Ergebnisse deshalb nur für den Standort Gülzow. Die Herkunft des Steinkleesaatgutes hat genau wie bei anderen Arten einen signifikanten Einfluss auf das Ertragspotential eines Bestandes (Abb. 7). Dabei treten Unterschiede vor allem im Ansaatjahr auf.

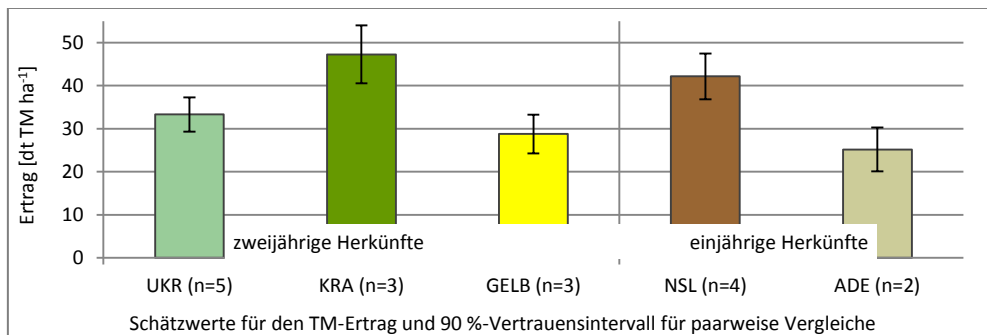
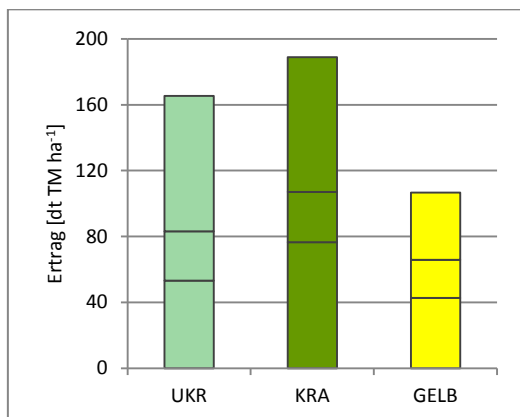


Abb. 7: Abhängigkeit des Ertrags im Ansaatjahr von der Herkunft bei Frühjahrsblanksaat (gedrillt, n = Anzahl der Prüffahre)⁸⁵

Der Hauptertrag wird jedoch im zweiten Jahr gebildet (Abb. 8). Diese Aussagen gelten nur für den Vergleich der zweijährigen Herkünfte untereinander. Die tschechische Sorte „Krajova“ (KRA) erwies sich als die ertragsstärkste Herkunft im Versuch.



2. Jahr 2. Schnitt: Ende Aug. - Anfang Sept.

2. Jahr 1. Schnitt: Mitte - Ende Mai

1. Jahr 1. Schnitt: Anfang - Mitte Okt.

Abb. 8: Anteil der Einzelschnitte am Gesamtertrag nach Frühjahrsblanksaat (Mittelwerte der Versuchsanlagen 2010 und 2011)

Im Vergleich der Herkünfte aus der Genbank mit der ukrainischen Herkunft (UKR) konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt werden (Abb. 9). Eine Tendenz zu höheren Erträgen der Sorte „Bienenfleiß“ ist statistisch nicht absicherbar.

⁸⁴ Darstellung der Einzelerträge siehe Tab. 57 und Tab. 58

⁸⁵ 2012 wurden die Erträge der einjährigen Herkünfte nicht ausgewertet, da die Ertragsdepression durch ungünstige Bodenparameter zu groß war.

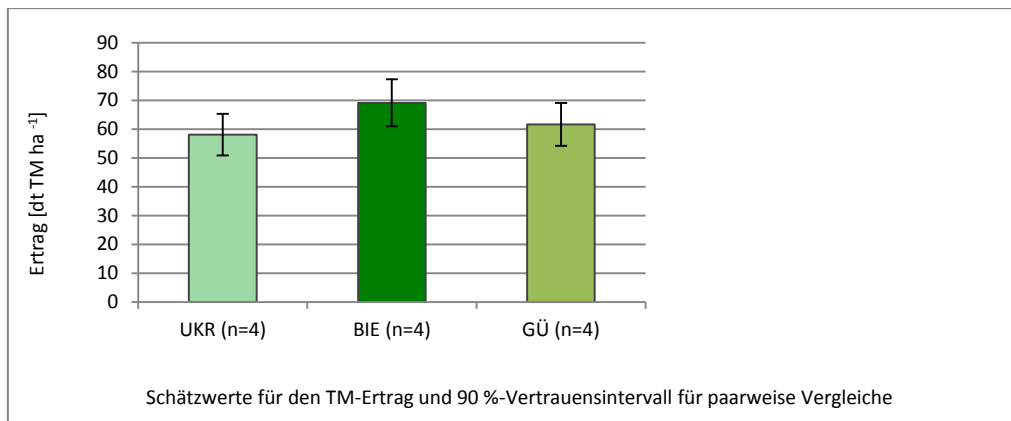


Abb. 9: Abhängigkeit des Ertrags im Ansaatzjahr von der Herkunft (gepflanzt, n = Anzahl der Prüffahre)

„Bienenfleiß“ und auch „Krajova“ sind historische Sorten und für die Praxis nicht verfügbar. Der Vergleich mit neueren Herkünften macht deutlich, dass in den zurückliegenden Jahren kein Züchtungsfortschritt erreicht wurde.

Besonders interessant ist das Ergebnis der Gülzower Herkunft (GÜ), die ertraglich nicht hinter die anderen Herkünfte zurückfällt. Eine Untersuchung des Cumariningehaltes bestätigte die Vermutung, dass hier ein cumarinarmer Stamm wiedergefunden wurde. In jedem Jahr lag der Cumariningehalt der Gülzower Herkunft innerhalb des Bereiches (0,05 - 0,2 % TM), den NAIR et al. (2010) für cumarinarme Pflanzen angegeben hat (Tab. 19).

Tab. 19: Cumariningehalt im Erntegut vom Herbstaufwuchs des Ansaatzjahres⁸⁶

Herkunft	Cumariningehalt	Erntetermin
Einheit	[% TM]	
UKR	0,55	04.10.10
BIE	0,61	22.09.10
GÜ	0,19	22.09.10
UKR	0,27	05.10.11
BIE	0,19	13.10.11
GÜ	0,06	13.10.11
BIE	0,05	01.10.12
GÜ	0,07	01.10.12

Die besten Gülzower Zuchtstämme lagen vor 50 Jahren mit 0,006 % TM Cumarin allerdings noch deutlich unter den hier gefundenen Werten (SCHLOSSER-SZIGAT 1961). Eine Erklärung dafür bietet der rezessive Erbweg des Merkmals, wodurch bei einer ungerichteten Vermehrung des Saatgutes die erwünschte Eigenschaft nachlässt. Es er-

⁸⁶ Genau wie bei SANDERSON et al. (1986) waren in den Versuchspartzen selektive Fraßschäden an der cumarinarmen Sorte durch Feldhasen festzustellen.

scheint also dringend notwendig, das Erhaltungsprogramm für diese cumarinarme Herkunft entsprechend anzupassen. Außerdem bietet sich hier ein Ansatzpunkt für die Züchtung einer neuen cumarinarmen Sorte. Die hohe Schwankungsbreite des Cumarin-gehaltes zwischen den Jahren ist ein bekanntes Phänomen. Im Herbst 2010 blühten vergleichsweise viele Einzelpflanzen schon im Ansaatjahr, die höheren Cumarin-gehalte dieses Jahres bestätigen also die ebenfalls bekannte Korrelation zur generativen Entwicklung (s. S. 17).

M. officinalis (GELB) erbrachte im ersten und zweiten Vegetationsjahr signifikant geringere Erträge als *M. albus*. Das begründet sich mit der früheren und einheitlicheren Abreife und der dadurch verkürzten Vegetationslänge (Abb. 7). Die kürzere Entwicklungszeit von *M. officinalis* ist aus der Literatur bekannt (s. S. 9). Es muss aber beachtet werden, dass auch bei dieser Art Herkünfte und Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften existieren.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Eigenschaft der Einjährigkeit eindeutig auf die Herkunft des Saatgutes zurückzuführen ist. Alle Pflanzen neuseeländischer und argentinischer Herkunft und die tschechische Sorte „Adela“ (NSL, ARG, ADE) bildeten nach allen Saatterminen keine Überwinterungsorgane und wechselten bei ausreichender Vegetationszeit vor dem Frost in die generative Phase. Alle einjährigen Bestände überstanden den Winter nicht. (Tab. 20, Abb. 10).



Abb. 10: Bestand im 2. Vegetationsjahr: Parzelle mit einjährigen (links) und zwei-jährigen (rechts) Herkünften, Gülzow, 12.05.2011

Da es deshalb von diesen Herkünften keinen Ertrag im zweiten Jahr gibt, sind sie in der Summe den zweijährigen Herkünften zwingend unterlegen. Im Ansaatjahr bestehen zwischen den einjährigen Herkünften signifikante Ertragsunterschiede (Abb. 7).

Tab. 20: Vergleich ein- und zweijähriger Wuchsformen

	Knospenstadium ⁸⁷ im		Austrieb	Anzahl
	1. Vegetationsjahr ⁸⁹	2. Vegetationsjahr	nach Winter ⁸⁸	der Prüffahre
Frühjahrssaat				
UKR	-	+	+	5
KAN	-	+	+	2
KRA	-	+	+	3
BIE	-	+	+	4
GÜ	-	+	+	4
KUS	-	+	+	1
BEL	-	+	+	1
AGR	+	-	-	2
NSL	+	-	-	4
ADE	+	-	-	3
GELB	-	+	+	4
Sommersaat				
UKR	-	+	+	5
KAN	-	+	+	1
KRA	-	+	+	3
KUS	-	+	+	1
BEL	-	+	+	1
NSL	+	-	-	4
AGR	+	-	-	2
ADE	+	-	-	3
GELB	-	+	+	3

Der Einfluss jahresabhängiger Effekte auf den Biomasseertrag ist, ähnlich wie bei anderen Leguminosen (EICKMEYER 2009), relativ hoch (Tab. 21). Auch die Erträge von ökologisch angebautem Rotklee gras auf den Nachbarschlägen der Versuchsstation Gülzow wiesen in den Versuchsjahren vergleichbar hohe Ertragsschwankungen auf (TITZE 2012). Im Landesdurchschnitt lagen die Erträge kleinkörniger Leguminosen in den Jahren 2008-2012 deutlich unter dem langjährigen Mittel, wobei besonders die drei letzten

⁸⁷ Die Bonitureinschätzung zum Knospenstadium negativ („-“) wurde auch dann gegeben, wenn an einzelnen Pflanzen (hier bis 25 % im Bestand) Knospen ausgebildet waren. (Nach BBA (2001) soll das Entwicklungsstadium einem Bestand erst nach Ausbildung bei mindestens 50 % aller Einzelpflanzen zugeordnet werden.)

⁸⁸ Bei den hier aufgeführten Herkünften, die nach Winter nicht wiederaustrieben (= „-“), entsprachen mindestens 95 % des aller Pflanzen dieser Einordnung.

⁸⁹ bei ausreichender Vegetationszeit bis zum Frost

Jahre ertraglich abfallen (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008a, 2009, 2010, 2011, 2012). Die Biomassebildung des Steinklees muss zusätzlich zur Witterung von weiteren Einflussfaktoren abhängen, da 2011 für Steinklee anders als für die traditionellen Futterleguminosen in den genannten Vergleichen ein ertragsstarkes Jahr war.

Tab. 21: Relatives Ertragsniveau im Herkunftsversuch (Drillsaat), (2011 = 100%)

relatives Ertragsniveau im Herkunftsversuch (2011 = 100%)				
Aussaatjahr	1. Jahr, 1. Schnitt	2. Jahr, 1. Schnitt	2. Jahr, 2. Schnitt	Summe
2008	46	-	-	-
2009	31	-	-	-
2010	42	42	139	80
2011	100	100	100	100
2012	35	-	-	-
maximale Abweichung				
[dt TM ha ⁻¹]	50	30	-20	32,9

Nutzungsmöglichkeiten von einjährigem Steinklee

Die einjährigen Formen des Steinklees sind für eine kurzfristige Nutzung als Gründüngung und zur Bodenverbesserung geeignet. Hier bietet sich die Aussaat als Zweitfrucht nach einer Winterzwischenfrucht an. Allerdings ist zu beachten, dass die Biomassebildung - insbesondere die der Wurzel - deutlich geringer als bei den zweijährigen Formen ist. Auch die einjährigen Herkünfte unterscheiden sich in ihrer Ertragsfähigkeit untereinander. Einjähriger Steinklee eignet sich besser als Zweijähriger zur Kultur für den Mischfruchtanbau, Wildpflanzen- oder Rekultivierungsmischungen, weil er die Gempartner weniger stark unterdrückt. Die Pflanzen bilden nur einen Haupttrieb aus. Da blühende Triebe weniger blattreich sind, ist die Beschattung des Bodens geringer als durch zweijährige Formen. Ab dem zweiten Jahr müssen die aus Selbstaussaat keimenden Pflanzen gegen den Konkurrenzdruck der anderen Arten bestehen und entwickeln sich dadurch schwächer. Beim Vergleich blühender Bestände als Nahrungsquelle für Bienen und andere Insekten besteht kein Unterschied zu den zweijährigen Formen. Allerdings kann durch einen Mischanbau beider Formen die Blühintensität im ersten Jahr erhöht werden. Für Mischungen, die langfristig etabliert werden sollen oder mit denen der Boden aufgebaut und stabilisiert bzw. Insekten gefördert werden sollen, können deshalb anteilig einjährige Formen vorteilhaft sein.

5.2.1 Charakterisierung der geprüften Herkünfte

Im Folgenden werden Eigenschaften der geprüften Herkünfte aufgelistet. Diese Charakterisierung gründet auf Beobachtungen während der Versuche von 2009 bis 2012. Auf-

grund der allgemeinen Unsicherheit zur Stabilität von Eigenschaften einer ungeschützten Herkunftsbezeichnung gilt diese Charakterisierung nur für das tatsächlich verwendete Saatgut. Erfahrungsgemäß besteht aber eine gewisse Übereinstimmung der Eigenschaften einer Herkunft in verschiedenen Jahren, so dass die Auflistung ein Anhaltspunkt für Anbauentscheidungen und zukünftige Forschungsarbeiten sein kann. Für die genannten Sorten können stabile Eigenschaften vorausgesetzt werden. Da nicht alle Herkünfte in allen Versuchsjahren geprüft wurden und die Ausbildung mancher Eigenschaften bei einigen Herkünften nicht sicher zuzuordnen war, bleibt die Charakterisierung ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Ukrainische Herkunft (UKR)

- zweijährig
- zweijährige Entwicklung beider Arten
- 10-50 % der Pflanzen blühen im ersten Jahr
- feinstängelig
- anfällig für Echten Mehltau
- starke Lagerneigung bei Wuchshöhen von >1 m
- sehr uneinheitlicher Bestand
- mittlere Wuchsform, buschig
- cumarinreich
- Mischung aus ca. 50 % *M. albus* und 50 % *M. officinalis*

Kanadische Herkunft (KAN)

- überzeugende Versuchsergebnisse in früheren Versuchen (DIETZE et al. 2009)
- zweijährig
- 5-10 % der Pflanzen blühen im 1. Jahr
- mittlere Wuchsform
- große Unterschiede zwischen den Pflanzen
- cumarinreich
- hohes Ertragspotential
- Artenmischung aus *M. albus* und *M. officinalis*

Sorte “Bienenfleiß” (BIE)

- zweijährig
- einheitlicher Bestand
- 5-20 % der Pflanzen blühen im 1. Jahr
- mittlere Wuchsform, buschig
- cumarinreich
- hohes Ertragspotential
- artenreine Herkunft von *M. albus*

Sorte „Krajova“ (KRA)

- zweijährige Entwicklung
- anfällig für Echten Mehltau

- relativ hohe Standfestigkeit
- einheitlicher Bestand
- cumarinreich
- ca. 10 % der Pflanzen blühen im ersten Jahr
- mittlere Wuchsform, buschig
- ertragsreichste Sorte im Versuch
- Mischung aus ca. 75 % *M. albus* und 25 % *M. officinalis*

Sorte „Kuusiku 1“ (KUS)

- jüngere estnische Sorte
- zweijährig
- cumarinreich
- nur in einem Ansaatjahr geprüft
- Mischung aus *M. albus* und *M. officinalis*

Sorte „Bela“ (BEL)

- jüngere tschechische Sorte
- zweijährig
- cumarinreich
- nur in einem Ansaatjahr geprüft
- Mischung aus *M. albus* und *M. officinalis*

Gülzower Zuchtstamm (GÜ)

- zweijährig
- mittlere buschige Wuchsform
- 15-60 % der Pflanzen blühen im Ansaatjahr
- langsame Jugendentwicklung
- große Unterschiede zwischen den Pflanzen
- cumarinarm (festgestellter Cumaringehalt im Ansaatjahr: 0,05-0,19 % TM)
- nur weißblühende Pflanzen (und einzelne cremefarbene)
- vermutlich durch Bastardisierung aus *M. albus* und *M. dentatus* und evtl. *M. officinalis* entstanden (SCHLOSSER-SZIGAT 1962)

Sorte „Adela“ (ADE)

- einjährig
- sehr frühe Blüte und Abreife
- anfällig für Echten Mehltau
- einheitlicher Bestand
- cumarinreich
- alle Pflanzen blühen im ersten Jahr
- kurze Wuchsform, einstängelig
- geringe Biomassebildung
- artenreine Herkunft von *M. albus*

Neuseeländische Herkunft (NSL)

- einjährig

- alle Pflanzen blühen im Ansaatjahr
- Vollblüte und Samenbildung ab Juli/ August im Ansaatjahr
- hohe schlanke Wuchsform
- Seitentriebe sind deutlich kürzer als der Haupttrieb
- geringe Bodenbedeckung damit geringe Unkrautkonkurrenz
- frühzeitiger Blattfall
- kleine unverzweigte Pfahlwurzel
- keine oder kümmerliche Wurzelknospenbildung
- wenig Unterschiede zwischen den Pflanzen, aber größere Wuchshöhendifferenzen
- hoch anfällig für Falschen Mehltau
- cumarinreich
- hohes Ertragspotential
- artenreine Herkunft von *M. albus*

Argentinische Herkunft (ARG)

- einjährig
- alle Pflanzen blühen im Ansaatjahr
- Vollblüte und Samenbildung ab Juli/ August im Ansaatjahr
- hohe schlanke Wuchsform
- Seitentriebe sind deutlich kürzer als der Haupttrieb
- geringe Bodenbedeckung damit geringe Unkrautkonkurrenz
- frühzeitiger Blattfall
- kleine unverzweigte Pfahlwurzel
- keine oder kümmerliche Wurzelknospenbildung
- wenig Unterschiede zwischen den Pflanzen, aber größere Wuchshöhendifferenzen
- hoch anfällig für Falschen Mehltau
- hohes Ertragspotential
- cumarinreich
- artenreine Herkunft von *M. albus*

Gelber Steinklee (GELB)

- 5 % der Pflanzen blühen im 1. Jahr
- sehr einheitlicher Bestand
- sehr buschige Wuchsform
- besonders lange Seitentriebe
- dünne Triebe
- früher Bestandesschluss
- frühe generative Entwicklung
- cumarinreich
- hoch anfällig für Echten Mehltau
- ökologisches Saatgut der Firma „Camena-Samen“
- artenreine Herkunft von *M. officinalis*

5.3 Produktionstechnik

5.3.1 Aussaattermin

Für die Auswertung der Beeinflussung der Ertragsbildung durch den Saattermin (Einzelergebnisse im Anhang, Tab. 57) muss die artspezifische Vegetationslänge der Herkünfte beachtet werden. Einjährige Herkünfte zeigen ein schnelleres oberirdisches Wachstum als zweijährige, bringen aber im zweiten Jahr keinen Ertrag.

Das Ertragsniveau der einjährigen Herkünfte entspricht im Ansaatjahr bei Frühjahrssaat mit 44,5 dt TM ha⁻¹ in etwa dem der zweijährigen Herkünfte. Bei Sommersaaten und unter ungünstigen Wachstumsbedingungen können die einjährigen aufgrund ihres stärkeren oberirdischen Längenwachstums überlegen sein. Unabhängig vom Aussaattermin überstanden diese Herkünfte in keinem Versuchsjahr den Winter (Tab. 20).

In jedem Versuchsjahr liefen die Frühjahrssaaten mit ausreichender Pflanzenzahl auf und erbrachten im Herbst einen Ernteschnitt. Sommersaaten erwiesen sich als bedeutend unsicherer. Meist erreichten die Bestände bis zum Herbst nicht die für einen Ernteschnitt erforderliche Höhe. Die Mitte Juli gesäten Bestände erzielten so nur in zwei von fünf Versuchsjahren einen Ertrag im Ansaatjahr. Nach einem Saattermin Ende Juli/ Mitte August konnte in keinem Jahr geerntet werden (Tab. 57).

In den beiden Jahren (2008 und 2011) in denen die Julisaaten geerntet werden konnten, betrug der erzielte Trockenmasseertrag im ersten Jahr 70 % bzw. 20 % der jeweiligen Frühjahrssaat. Im absoluten Ertrag von ca. 20 dt TM ha⁻¹ unterschieden sich die beiden Erntemengen jedoch nicht. Im Versuchsdurchschnitt lag das Ertragsniveau der Frühjahrssaaten im Ansaatjahr 2008 mit nur 33 dt TM ha⁻¹ deutlich unter dem des Jahres 2011 mit 81 dt TM ha⁻¹.

Anders als bei WILLARD (1926) erreichten die Sommersaaten im zweiten Vegetationsjahr auch bei längerer Wachstumszeit, wenn überhaupt ein Ernteschnitt möglich war, nur etwa 60 % der Biomassemengen der Frühjahrssaaten. Die späten Aussaaten begannen 1-3 Wochen früher zu blühen und starben nach der Samenreife ab. Die Frühjahrssaaten trieben deutlich kräftiger aus und bildeten meist bis zum Herbst neue Triebe mit Blüten, womit das unterschiedliche Ertragsniveau im zweiten Vegetationsjahr erklärt wird. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von KÖSEOĞLU (1970), der ebenfalls feststellte, dass spät gesäte und überwinterte Pflanzen weit hinter dem Ertrag der Frühjahrsansaaten zurückblieben. Ähnliche Unterschiede im Ertrag des Folgejahres in Abhängigkeit vom Aussaattermin sind auch für Rotklee beschrieben (MEINSEN 2003)⁹⁰.

⁹⁰ Eine Untersaat im Frühjahr wirkt auf den Ertrag des Folgejahres wie eine Sommersaat.

Abweichend stellte BRUMMUND (1958) an Pflanzen der Sorte Bienenfleiß bei erfolgreicher Überwinterung keinen Einfluss des Aussaattermins auf den Wiederaustrieb fest.

Obwohl alle als zweijährig eingestuften Herkünfte nach jedem Aussaattermin sicher überwinterten (Tab. 20), konnte von keinem Bestand, der im Ansaatjahr ertragslos blieb, im zweiten Jahr ein Ernteschnitt genommen werden. Die Pflanzen wuchsen schwach und die Bestände erreichten nur geringe Deckungsgrade, so dass in den entsprechenden Parzellen die Unkräuter (meist Hundskamille) dominierten.

Zur Einordnung früher Aussaattermine (zwischen März und Juni) wurden im Rahmen dieser Arbeit keine Versuche durchgeführt. KÖSEOĞLU (1970) stellte fest, dass Mitte März und Mitte April gesäte Bestände sich im Laufe des ersten Sommers anglichen und nach der Überwinterung keine Wuchsunterschiede mehr aufwiesen. Die Beobachtung, dass das Wachstum der Frühjahrssaaten im Sommer stagniert (Abb. 14, Abb. 15, Abb. 16) und die Maisaaten des Fruchtfolgeversuches (auf einem besseren Standort) ein hohes Ertragsniveau erreichten, unterstützt die Feststellung von KÖSEOĞLU (1970). Vermutlich unterscheiden sich demnach zwischen März und Ende Mai gesäte Bestände kaum in ihrer Ertragsleistung. Um diese Hypothese wissenschaftlich abzusichern, sind weiterführende Feldversuche nötig.

Mit Frühjahrsansaaten zweijähriger Herkünfte zwischen März und Mai können hohe Erträge sowohl im Ansaatjahr als auch im zweiten Vegetationsjahr erzielt werden. Die jahresbedingten Ertragsschwankungen sind auf besonders auf leichten Böden aber noch sehr hoch. Aussaaten nach Mitte Juli ergeben hier in der Mehrzahl der Jahre keine ausreichenden Erträge.

5.3.2 Kalkung

Die Unterschiede im pH-Wert des Bodens zwischen den beiden Versuchsanlagen sind durch die Bodenheterogenität im Parzellenversuch verursacht (Tab. 22, Tab. 23).

Tab. 22: Prüfvarianten und pH-Werte des Bodens im Parzellenversuch (Kalkung)

Varianten	Kalkmenge	Bodentiefe cm	pH-Wert (\bar{x} der 3 Jahre)		
			vor Kalkung	1. Frühjahr	2. Frühjahr
ohne Kalk	ohne Kalkung	0 – 30	5,7	5,5	5,5
	-	30 – 60	6,2	6,3	6,3
C-Granukal	Menge nach DüV	0 – 30	5,8	5,9	5,6
	30 dt CaO ha ⁻¹	30 – 60	6,2	6,2	6,2

Tab. 23: Prüfvarianten und pH-Werte des Bodens im Gefäßversuch, (DüV = Düngeverordnung)

Varianten	Kalkmenge	ausgebrachter Kalk je Gefäß	pH-Wert (\bar{x} der 3 Jahre) zu Versuchs-		Prüfjahre
			-beginn	-ende	
ohne Kalk	ohne Kalkung	-	5,1	4,9	2010-2012
1/3-Granukal	Keimbettkalkung	9 g Granukal	5,1	6,0	2010-2012
C-Granukal	Menge nach DüV	26 g Granukal	5,1	6,4	2010-2012
1/3-Dolomit	Keimbettkalkung	8 g Dolomit	5,1	5,1	2010-2011
C-Dolomit	Menge nach DüV	23 g Dolomit	5,1	5,2	2010-2011

Im Gefäßversuch konnte die Wirkung der Kalke sehr gut an den Veränderungen der pH-Werte abgelesen werden. In den Parzellen kam es z. T. zu einer Überlagerung dieser Effekte durch die Bodenheterogenität. Unabhängig davon ist aber mindestens eine Beeinflussung der Bodenreaktion im Keimbett zu erwarten.

Für kein Merkmal konnten im Gefäßversuch signifikante Unterschiede zwischen den Prüfvarianten belegt werden (Tab. 24). Scheinbare Tendenzen sind auf Einzeljahresergebnisse zurückzuführen. Allerdings weist das Versuchsniveau der Einzeljahre sehr große Schwankungen auf. So liegen sowohl der Gesamtbiomasseertrag als auch der N-Ertrag im Jahr 2011 bei 85 % des Vorjahres. 2012 wurden sogar nur ca. 45 % des Ertrages von 2010 erreicht. Dieser Vergleich der Summen aus Wurzel- und Sprossmengen verringert einen Einfluss der Einzelpflanzenentwicklung, da zur Erntezeit Stoffumlagerungsprozesse in die Wurzel stattfinden. Bezogen auf die Spross-TM liegen die Ertragsniveaus 2011 bei 103 % und 2012 bei 35 % von 2010.

Tab. 24: Erträge, TS- und N-Gehalt im ersten Vegetationsjahr in Abhängigkeit von der Kalkung (Gefäßversuch)

Parameter		ohne Kalk		1/3-Granukal		C-Granukal		1/3-Dolomit		C-Dolomit	
TM _{Spross}	g	28,63	(2,41)	31,19	(2,40)	30,41	(2,40)	32,11	(3,10)	30,65	(3,10)
TS _{Spross}	%	25,83	(2,20)	26,11	(2,19)	26,4	(2,19)	26,62	(2,66)	25,64	(2,66)
N _{Spross}	g	0,85	(0,03)	0,84	(0,02)	0,91	(0,02)	0,61	(0,04)	0,83	(0,04)
TM _{Wurzel}	g	54,05	(3,99)	45,09	(3,78)	49,08	(3,78)	46,42	(5,61)	44,65	(5,61)
TS _{Wurzel}	%	22,08	(0,91)	20,61	(0,87)	21,55	(0,87)	24,05	(1,23)	20,88	(1,23)
N _{Wurzel}	g	1,16	(0,08)	0,98	(0,08)	1,15	(0,08)	1,33	(0,11)	1,06	(0,11)
TM _{gesamt}	g	83,29	(4,22)	75,52	(3,97)	79,6	(3,97)	78,56	(6,08)	75,24	(6,08)
N _{gesamt}	g	1,96	(0,09)	1,78	(0,09)	1,98	(0,09)	1,94	(0,11)	1,86	(0,11)
Alle Mengenangaben sind auf ein Gefäß bezogen. Die Werte in Klammern bezeichnen den Standardfehler.											

Die Erträge des Parzellenversuches bestätigen die Erkenntnisse aus dem Gefäßversuch. Auch hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kalkung und der Nullvariante festgestellt, obwohl in beiden Jahren die adjustierten Mittelwerte der Kalkvariante etwas über denen ohne Kalkung lagen (Tab. 25). Im Ertragsniveau unterschieden sich beide Versuchsjahre um 160 % bzw. 30 %, bezogen auf den 1. bzw. 2. Schnitt des Jahres 2010.

Tab. 25: Erträge in Abhängigkeit von der Kalkung (Parzellenversuch)

Erntetermin	Einheit	ohne Kalk		C-Granukal	
1. Schnitt (Herbst 1. Jahr)	dt TM ha ⁻¹	26,0	(4,4)	33,9	(5,4)
2. Schnitt (Sommer 2. Jahr)	dt TM ha ⁻¹	123,2	(16,3)	131,5	(17,4)
Summe beider Jahre	dt TM ha ⁻¹	149,2	-	165,4	-
Die Angaben in Klammern bezeichnen den Standardfehler.					

Abweichend zu den Versuchsergebnissen von SIMON & BRÜNING (1964), wonach eine hohe Kalkgabe deutlich wachstumsfördernd wirkte, hat eine Kalkung am Standort Gülzow mit den hier vorherrschenden Bodenbedingungen keinen wesentlichen Einfluss auf den Biomasse- und N-Ertrag des Steinklees. Die in der Literatur angegebene mögliche Wirkung wurde offensichtlich von anderen jahresabhängigen Faktoren, die eine stärkere Beeinflussung zeigten, überlagert. Ungünstige Wachstumsbedingungen, die zu deutlichen Mindererträgen in den Jahren 2010 und 2012⁹¹ führten, konnten nicht durch eine Kalkung ausgeglichen werden.

5.3.3 N-Düngung

Die Förderung des Jugendwachstums von Leguminosen mittels einer geringen N-Düngung wird nicht mehr allgemein empfohlen (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b). Im Frühjahr besteht zudem die Gefahr einer stärkeren Verunkrautung durch diese Maßnahme (KREIL et al. 1983). Beide Aussagen werden auch durch die hier diskutierten Versuchsergebnisse bestätigt. Keine der beiden N-Düngungsvarianten führte im Vergleich ohne N-Düngung zu einem signifikanten Mehrertrag (Tab. 26).

Tab. 26: Ertrag im Ansaatjahr in Abhängigkeit von einer N-Düngung zur Saat

Varianten	dt TM ha ⁻¹	Standardfehler	Anzahl der Einzelversuche
ohne	30,5	(2,99)	5
30 kg N ha ⁻¹	32,11	(3,08)	5
60 kg N ha ⁻¹	30,75	(3,02)	5

⁹¹ 2010: insgesamt sehr geringer Ertrag im Ansaatjahr (nur 40 % von 2011); 2012: 50 % der Parzellen ohne Ertrag im Ansaatjahr (vgl. Fußnote⁶², S. 76)

Die Förderung des ohnehin konkurrenzstarken Unkrautes durch den zusätzlichen Stickstoff wurde in den kräftigeren Unkrautpflanzen sichtbar. Es traten auch keine Unterschiede zwischen der Düngewirkung bei den zu verschiedenen Zeiten gesäten Steinkleebeständen auf, obwohl die Düngung der Sommersaaten einen geringeren Abstand zum Erntezeitpunkt aufwies als die der im Frühjahr gesäten Bestände. Ein positiver Einfluss auf das Wachstum der jungen Steinkleepflanzen kann also nicht bestätigt werden.

5.3.4 Unkrautbekämpfung/ Pflege

Alle eingesetzten Herbizide führten zu deutlichen Wuchsdepressionen der Steinkleepflanzen, die mehrere Wochen anhielten. Für Sommersaaten sind Herbizidbehandlungen deshalb problematisch, weil hier die Phase der Speicherstoffeinlagerung in die Wurzel gestört werden kann.

Eine Behandlung mit Certrol B wirkte gut gegen Acker-Krummhals, Hellerkraut, Hirtentäschel, Windenknöterich und Kamillearten. Weißer Gänsefuß wurde zurückgedrängt, ein Teil der Pflanzen erholte sich aber wieder. Acker-Spörgel und Acker-Kratzdisteln blieben fast unbeeinträchtigt.

Nach einer Spritzung mit Basagran wurden Hellerkraut, Hirtentäschel, Kamillearten, Vogelmiere sehr stark, Acker-Krummhals und Acker-Kratzdisteln noch deutlich vermindert. Weniger gut war die Bekämpfung von Weißem Gänsefuß und Windenknöterich.

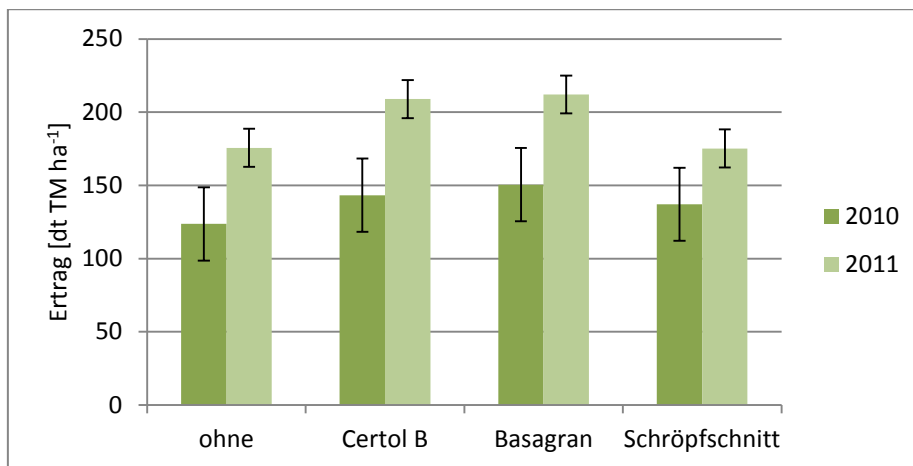
Die Beobachtungen zum Behandlungserfolg der verschiedenen Unkrautarten entsprechen den laut Herstellerangaben erwartbaren Wirkungen. Das Unkrautspektrum im zweiten Vegetationsjahr wurde durch keine der Maßnahmen vom Vorjahr beeinflusst.

Da nur für zwei Erntejahre Ertragsmessungen im zweiten Erntejahr vorliegen, wurde als Kriterium der Serienauswertung der Trockenmasseertrag im Ansaatjahr gewählt (Tab. 27). Dies erscheint zulässig, da der Einfluss von Konkurrenzpflanzen auf den Ertrag im Jugendstadium am größten ist, wenngleich er sich auch auf den Gesamtertrag der Kultur auswirkt. In der Auswertung aller Versuchsjahre konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten festgestellt werden. Die Tendenz zu höheren Mittelwerten nach einer Herbizidbehandlung bestand allerdings in allen Jahren. Ein Schröpschnitt führte in keinem Jahr zu einer Ertragserhöhung, verringerte aber die Samenbildung der Unkräuter.

Tab. 27: Ertrag im Ansaatjahr nach unterschiedlicher Unkrautbekämpfung

	dt TM ha ⁻¹	Standardfehler	Anzahl der Prüffahre
ohne	32,44	(3,21)	5
Certol B	38,49	(3,75)	5
Basagran	39,6	(4,89)	3
Schröpschnitt	33,58	(4,26)	3

In Einzeljahren kann es, wie die Ergebnisse des Ansaatjahres 2011 im Unterschied zu 2010 belegen, durchaus zu signifikanten Ertragszuwächsen durch eine Herbizidbehandlung kommen, (Abb. 11). Die Abbildung zeigt die Summe der Erträge aus dem ersten und zweiten Vegetationsjahr, da der Effekt zu beiden Terminen auftrat. Auch in Versuchen von BURNSIDE & GORZ (1965) hatte ein Herbizideinsatz zur Bestandesetablierung von Steinklee noch positive Auswirkungen auf den Ertrag im zweiten Vegetationsjahr.

**Abb. 11: Kumulierter Trockenmasseertrag (2 Schnitte) in Abhängigkeit von der Unkrautbekämpfung, Darstellung zweier Einzeljahre⁹²**

5.4 Ergänzende Beobachtungen zur Entwicklungsphysiologie aus den Versuchen

Bei der Übertragung der hier vorgestellten Beobachtungen muss beachtet werden, dass die Ausprägung der einzelnen Merkmale Eigenschaften sind, die durch die Herkunft variiert werden. Abweichungen zu den Terminen der Entwicklungsstadien sind deshalb bei anderen Herkünften zu erwarten.

⁹² Die Fehlerindikatoren geben das Intervall für den paarweisen Vergleich ($\alpha = 0,05$) bezogen auf das Einzeljahr an.

5.4.1 Winterhärte

Steinkleepflanzen überstehen den ersten Winter nur unter bestimmten Voraussetzungen. Ausschließlich zweijährige Herkünfte bilden ausreichende Überwinterungsorgane aus, die die Pflanzen zum Wiederaustrieb nach dem Winter befähigen (s. Abschnitt 5.4.2).

Nach Untersuchungen von SCHLOSSER-SZIGAT (1966) und BRUMMUND (1958) mit der Sorte Bienenfleiß in Norddeutschland werden die Erneuerungsknospen Mitte September an den Wurzeln gebildet. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein einer ausreichenden Blattmasse in diesem Zeitraum. SMITH & GORZ (1965) benennen keine konkrete Zeitspanne für dieses Entwicklungsstadium. In den hier vorgestellten Versuchen wurde die Bildung der Erneuerungsknospen über einen längeren Zeitraum, ab Anfang August beobachtet. Ein Schnitt vor Anfang Oktober führte hier, anders als von DIETZE (2010) beschrieben, aber in Übereinstimmung mit BRUMMUND (1958), zu einer deutlich verringerten Überwinterungsrate. Auch in den Versuchen von SPECHT (1939) und PILLAI (1962) kam es zu Pflanzenausfällen nach nur einer Schnittmaßnahme im Herbst, wobei Unterschiede zwischen den Herkünften bestanden. Der Erntetermin im Herbst des Ansaatjahres mit seinen Auswirkungen auf die Erneuerungsknospen beeinflusst also die Winterfestigkeit eines Bestandes. Für die hier im Versuch geprüften Sorten und Herkünfte darf der Schnitt für eine ausreichende Überwinterung nicht vor Anfang Oktober durchgeführt werden. Es bestehen graduelle Unterschiede zwischen den Herkünften, den Einzeljahren und wahrscheinlich auch zwischen den Regionen.

Obwohl BRUMMUND (1958) mit seinen Aussaatzeitversuchen den Beweis führte, dass „Nach Mitte August durchgeführte Aussaaten [...] den Winter in der Regel nicht [überstehen].“ ,belegen seine Versuchsprotokolle den graduellen Verlauf dieser zeitlichen Abhängigkeit. Für Aussaaten ab Mitte Juli ist festzustellen: je später der Saattermin lag, desto weniger Pflanzen überstanden den Winter. Einzelne Pflanzen überlebten jedoch auch bei Aussaatterminen Anfang September (BRUMMUND 1958). Das gleiche Phänomen beobachtete KÖSEOĞLU (1970), der bei einer Aussaat Mitte September eine Überwinterungsrate von nur $< 2\%$ im Vergleich zu $> 63\%$ nach Frühjahrsaussaaten ermittelte. Absolut kann die Erkenntnis von BRUMMUND (1958) deshalb nicht gelten. Er führte seine Versuche ausschließlich mit der Sorte „Bienenfleiß“ durch, KÖSEOĞLU (1970) nutzte nur je eine Herkunft von *M. albus* und *M. officinalis*. Der Formenreichtum und die Variabilität beider Arten ist bekannt (vgl. Abschnitt 2.1). Daher ist es vorstellbar, dass die Berichte über gelungene Herbstansaat (S. 39) auf heute unbekannte Formen zurückgehen. Für die Züchtung stellt diese Erkenntnis einen interessanten Ansatz dar, da solche Formen interessante Fruchtfolgestellungen ermöglichen.

5.4.2 Vergleich einjähriger und zweijähriger Formen

Nach der Jugendentwicklung (bei Frühjahrsansaat ab Mitte Juni) beginnen sich die einjährigen und zweijährigen Pflanzen zu differenzieren. Bei den Zweijährigen beginnt die Ausbildung der Überwinterungsfähigkeit mit einer verdickten Speicherwurzel. Die Einjährigen verstärken die oberirdische Streckung der Sprossachse. Während die Einjährigen ab Juli in die generative Entwicklung übergehen, bilden von den Zweijährigen im ersten Jahr nur wenige Pflanzen Blütenknospen aus. Beobachtet wurden 5-50 % blühende Pflanzen. Der Prozentsatz variiert jahres- und herkunftsabhängig. Diese Blütenknospen erscheinen ca. einen Monat später im Jahr als die Blüten der gleichen Pflanzen im zweiten Vegetationsjahr. Die Blüte der Zweijährigen im Ansaatjahr beginnt ca. 1-2 Wochen später als bei den Einjährigen und bleibt weniger intensiv (d. h. die Blattmengen überwiegen die Blütenanteile deutlich). Im zweiten Vegetationsjahr beginnt die Blüte der Zweijährigen ebenfalls im Juni/ Juli. Die einjährigen Pflanzen zeigen im Ansaatjahr sehr einheitliche Eigenschaften: deutlich kürzere Seitentriebe als der Haupttrieb, größeres Streckungswachstum, kleinere Bodenbedeckung, geringeres Wurzelsystem, vollständige generative Entwicklung aller Einzelpflanzen mit hohem Samenansatz und keine oder kümmerlich ausgebildete Überwinterungsknospen (Abb. 12).



Abb. 12: unterschiedliche Wurzelentwicklung einjähriger (links) und zweijähriger (rechts) Herkunft, Aufnahme nach Winter

Zu Vegetationsende ist bei den Einjährigen ein früherer und fast vollständiger Blattfall zu beobachten, außerdem sterben die Stängel nach Samenbildung ab. Bei den Einjährigen wird fast die gesamte Assimilationsleistung für das Wachstum der oberirdischen Pflanzenorgane genutzt, während bei den Zweijährigen weniger oberirdische Biomasse

und zusätzlich eine Speicherwurzel ausgebildet werden. Durch die Abreife im Ansaatjahr werden von den Einjährigen zum Erntetermin im Herbst meist höhere Trockensubstanzgehalte im Erntegut erreicht als von den zweijährigen Herkünften⁹³. Bei den Zweijährigen ist der Blattfall vor der Dauerfrostperiode nicht vollständig, die Pflanzen bleiben oberirdisch noch aktiv. Außerdem fehlen trockene Samenstände. So erklären sich die geringeren TS-Gehalte. Beide Formen sterben spätestens in dem Winter, der der Vollblüte folgt, ab.

5.4.3 Ertragsbildung

Um maximale Biomasseleistungen zu erzielen, sind die Kenntnis und Beachtung der Entwicklungsbiologie einer Pflanzenart nötig. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Überwinterung und eine Mehrschnittnutzung des zweijährigen Steinklees wurden in den Abschnitten 2.1.2, 2.4.5 und 5.1.6 beschrieben. Aus Beobachtungen zum Wachstumsverlauf können Empfehlungen zum optimalen Erntetermin im zweiten Vegetationsjahr abgeleitet werden.

In der Darstellung der Erträge beider Nutzungsjahre wird deutlich, dass das größte Massenwachstum vor allem im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres stattfindet (Abb. 6, Abb. 8). Diese Besonderheit im Wachstumsverlauf des zweijährigen Steinklees stellt eine physiologische Anpassung an trockene Standorte dar (FAENSEN-THIEBES 1992). Die höchste Biomasse wird im zweiten Jahr während der Blühperiode erreicht (SPECHT 1939). Unsere Messreihen und die von ШУКИС & ГУРКОВА (2006) zur Pflanzenlänge während der Vegetationsdauer bestätigen diesen Wachstumsverlauf (Abb. 14, Abb. 15, Abb. 16, Abb. 13).

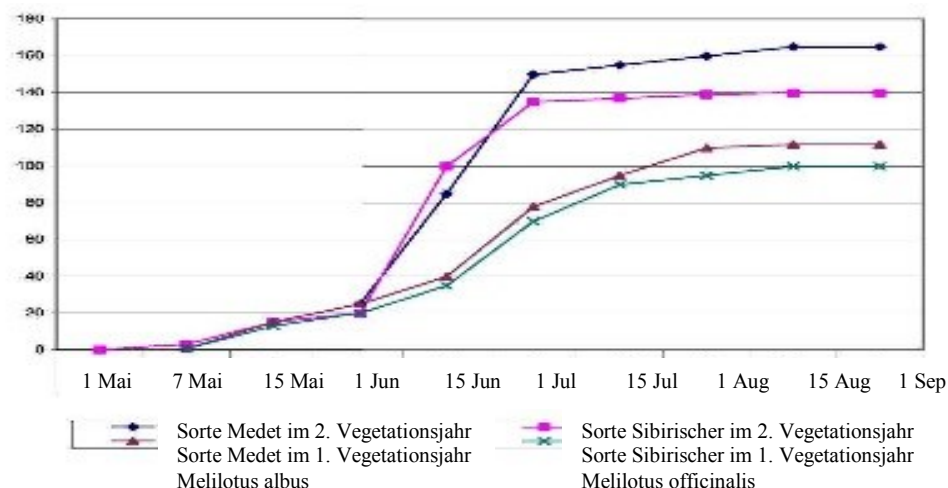


Abb. 13: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (ШУКИС & ГУРКОВА 2006)

⁹³ Die TS-Gehalte im Erntegut des ersten Herbstes liegen bei zweijährigen Herkünften um 30 %, bei einjährigen um 35 %.

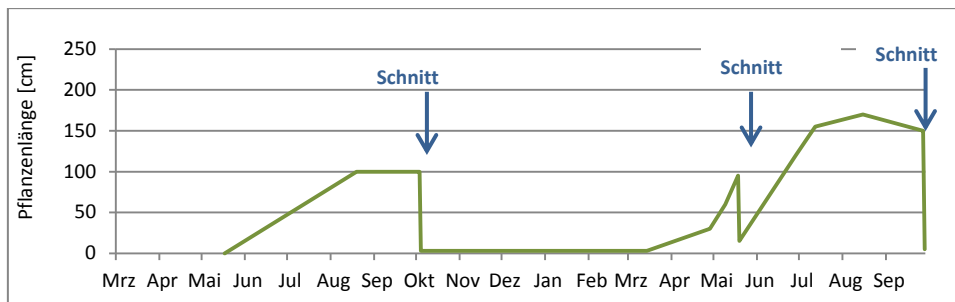


Abb. 14: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Fruchtfolgeversuch, 2010-2011, UKR)

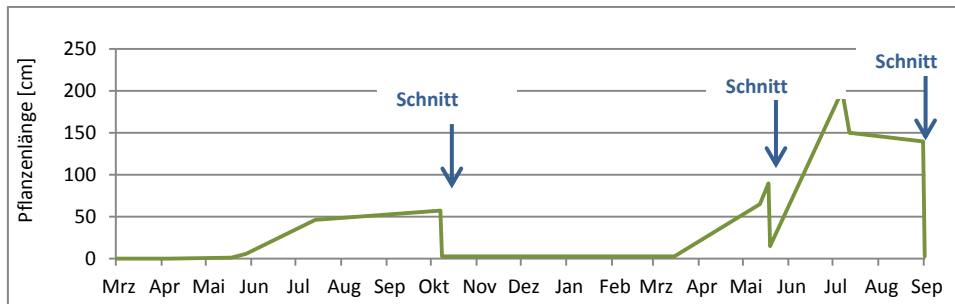


Abb. 15: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Herkunftsprüfung, 2010-2011, UKR)

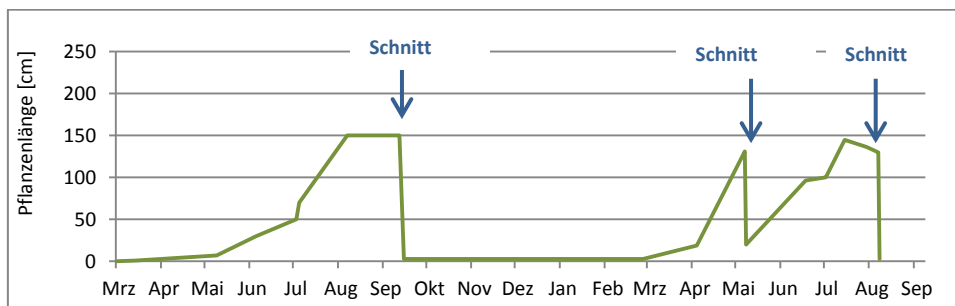


Abb. 16: Entwicklung der Pflanzenlänge im Jahresverlauf (Herkunftsprüfung, 2011-2012, UKR)

Nach der Vollblüte stagniert das Wachstum und die Pflanzenhöhe geht leicht zurück. Zusätzlich verschlechtert sich die Zusammensetzung der wertgebenden Inhaltsstoffe; vor allem nimmt der Rohfasergehalt zu. Von Mitte Juli bis zum Herbst erfolgt also kein oder kaum Ertragszuwachs und die Biomassequalität nimmt ab. Dieses sind starke Argumente dafür, die Blühperiode als optimale Erntezeitspanne im zweiten Vegetationsjahr festzulegen. Der exakte experimentelle Nachweis dieser Annahme steht noch aus.

Dass der Steinklee in einigen Versuchsanstellungen anderen Arten deutlich unterlegen war, liegt teilweise an der Nichtbeachtung der Entwicklungsbiologie des Steinklees. Das eher schwache Ertragsergebnis von *M. officinalis* bei GOERITZ et al. (2010) beispielsweise kann mit der für Steinklee zu hohen Schnitthäufigkeit (4x) erklärt werden. Ob das Ergebnis des zweiten Jahres zusätzlich durch einen zu frühen Ernteschnitt im vorigen Herbst beeinflusst wurde, kann nur vermutet werden, da keine Schnittdaten

angegeben sind und bei anderen mitgeprüften Futterpflanzen ein letzter Erntetermin vor Anfang Oktober üblich ist. Ähnlich sind die geringen Ertragswerte von *M. albus* und *M. officinalis* bei NYKÄNEN-KURKI et al. (2003) im Vergleich mit den hier überlegenen Wicken einzuschätzen. Ein später Aussattermin (Anfang Juni) in Verbindung mit einem für diese Arten ungünstigen Erntedatum im ersten Herbst (Mitte August) benachteiligen den Steinklee in Mitteleuropa⁹⁴.

Von einem überwinterten Steinkleebestand wird ein relativ hoher Anteil an Pflanzen ausfallen problemlos ausgeglichen. So lag in den Parzellen der Herkunftsprüfung (Pflanzung) aufgrund des organisatorisch bedingten frühen Herbstschnittes die Überwinterungsrate z. T. bei nur 50 %. Trotzdem wurden im zweiten Vegetationsjahr sehr hohe Erträge von 100 (2010) und 110 (2011) dt TM ha⁻¹ erzielt. Ein Bestand besitzt im zweiten Frühjahr also ein beachtliches Potential, Fehlstellen auszugleichen. Eine Erklärung dafür bietet WILLARD (1926), der durch umfangreiche Pflanzenzählungen nachwies, dass die Zahl der Triebe und Pflanzen im späten Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres vor allem aufgrund zunehmender Beschattung stark reduziert wird. Ohne Beschattung durch Nachbarpflanzen bieten diese Triebe das Potential, Fehlstellen auszugleichen. Unabhängig vom Ausgangsbestand bleiben zur Samenreife nur etwa 35 Pflanzen je m² erhalten (WILLARD 1926). Ähnliche Beobachtungen an Wildbeständen wurden von FAENSEN-THIEBES (1992) dokumentiert.

5.5 Ertragspotential

In allen Versuchen wurde eine hohe Varianz der Erträge zwischen den Erntejahren unabhängig von den Prüfmerkmalen festgestellt. Die Schwankungsbreite entspricht aber der für andere Futterleguminosen (s. Abschnitt 5.2 und 5.3). Die Ursachen müssen in nicht geprüften äußeren Einwirkungen auf die Pflanzen gesucht werden. Dabei kommen der Witterung, der Nährstoffverfügbarkeit und dem Befallsdruck von Schaderregern und Krankheiten eine wesentliche Rolle zu.

Nach FAENSEN-THIEBES (1992) reagiert Steinklee vor allem im ersten Vegetationsjahr mit Wachstumsdepressionen auf Trockenstress, die mit der Nachwinterentwicklung ausgeglichen werden können. Diese Beobachtung wird durch die vergleichsweise hohen Erträge der Aussaat 2010 im zweiten Vegetationsjahr trotz geringer Biomassebildung im Vorjahr unterstützt (Herkunftsversuch, s. Tab. 21).

In dem Trockenjahr 2012 zeigte der neu ausgesäte Steinklee genau wie bei SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ (1962) trotz eines ausreichenden pH-Wertes im Boden von 5,8 Unregelmäßigkeiten im Untergrund an. Nur dort, wo Lehmmergel oberhalb einer

⁹⁴ Da die Versuche in Finnland durchgeführt wurden, sind abweichende Bedingungen vorauszusetzen. Die für ein hohes Wachstum des Steinklees nötigen Zeitspannen lassen sich so aber, wie die Ergebnisse belegen, nicht erfüllen.

Tiefe von 90 cm anzutreffen war, wuchsen die Pflanzen ungestört. Alle anderen Pflanzen erreichten bis zum Herbst maximal eine Höhe von 20 cm. Den Winter überstanden trotzdem alle Teilbestände. Ob die Wachstumsdepressionen unter solchen Bedingungen stärker durch eventuelle Unterschiede im Bodenwassergehalt oder durch eine Änderung von Nährstoffverfügbarkeiten verursacht werden, bedarf weiterer Untersuchungen.

Hohe Populationsdichten von *Sitona*-Käfern können die Biomassebildung nachhaltig stören. So wurde ein fast vollständiger Ertragsausfall einer Aussaat 2010 am Standort Ramin auf ein Zusammenwirken von biotischen (Fraß durch *Sitona*-Larven mit anschließender Infektion durch *Rhizoctonia* sp.) und abiotischen Faktoren (Witterung) zurückgeführt. Auch auf der Versuchsstation Gülzow wurden Befallsdichten ermittelt, die im Analogieschluss zu Schadschwellen bei Lupinen und Erbsen durch Käfer der Gattung *Sitona* zu deutlichen Beeinträchtigungen der Pflanzen geführt haben müssen (s. Abschnitt 5.8).

Bei der Diskussion der Erträge muss beachtet werden, dass das ökologische Optimum des Steinklees auf den besseren Böden liegt. Die hohen Ertragsschwankungen machen deutlich, dass auch dem Anbau von Steinklee auf trockenen Sandböden Grenzen gesetzt sind. Die bisher vorliegenden Ergebnisse lassen noch keine genaue Beschreibung der Standorteignung zu. Auf den ackerbaulichen Grenzböden wirken zwangsläufig schädigende Einflüsse weit negativer als unter günstigeren Bedingungen, wo die Pflanzen Beeinträchtigungen leichter ausgleichen können. Die Ergebnisse der Versuche zur Produktionstechnik und am Standort Ramin, die auf solchen Böden angelegt wurden, spiegeln diese Zusammenhänge wider (s. Abschnitt 5.9). Untersuchungen zu den Schadfaktoren sind deshalb nötig, um die Anbaugrenzen auf benachteiligte Standorte auszudehnen.

Die Versuchsergebnisse der 2010 und 2011 am Standort Gülzow und 2009 am Standort Ramin ausgesäten Bestände belegen jedoch das hohe Ertragspotential des Steinklees auf Sandboden (s. Abschnitte 5.2, 5.3). Erträge bis zu 80 dt TS ha⁻¹ im Ansaatjahr und 150 dt TS ha⁻¹ im Hauptnutzungsjahr sind demnach unter optimalen Bedingungen möglich.

Die Darstellung der Ertragsangaben aus der Literatur veranschaulicht die Notwendigkeit einer genauen Benennung der Rahmenbedingungen, da die Ertragshöhe des einzelnen Ernteschnittes eine starke Abhängigkeit zum Lebensalter des Bestandes und zum Aussaatverfahren aufweist. Der Grund dafür liegt in dem sehr viel ungleichmäßigeren Verlauf der Biomassebildung des zweijährigen Steinklees im Vergleich zu ausdauernden Arten (Abb. 17, Tab. 59).

Bei der Auswertung der Darstellung muss beachtet werden, dass die Untersaat in Getreide bis vor 50 Jahren die übliche Aussaatstrategie war und der Umbruch häufig nach

nur einem Schnitt im Folgejahr erfolgte.⁹⁵ Nicht immer sind diese Rahmenbedingungen in der älteren Literatur benannt. Die Erträge nach Blanksaaten liegen deshalb vermutlich über dem hier dargestellten Mittel, da alle nicht als Untersaat beschriebenen Ertragsergebnisse den Blanksaaten zugeordnet wurden. Da außerdem bekannt ungünstige Versuchsergebnisse⁹⁶ in diese Darstellung eingeflossen sind, sollten unter optimierten Anbaubedingungen Ertragshöhen, die hier im dritten Quartil der Daten liegen, erreicht werden können. Die Maximalwerte werden sicher nur unter den besten Wachstumsbedingungen, in der Praxis also eher selten, erzielt.

Die Darstellung verdeutlicht, dass die Erträge von Untersaaten und Sommersaaten⁹⁷ in beiden Vegetationsjahren geringer ausfallen als die von Frühjahrsschnittsaaten und bestätigt damit die in Abschnitt 2.4.7 ausgearbeiteten Erkenntnisse. Nach einer Blanksaat im Frühjahr kann im Herbst ein Ertrag von über 50 und bis 80 dt TM ha⁻¹ erzielt werden. Im Folgejahr sind Gesamterträge von über 100 dt TM ha⁻¹ möglich. Ein (erster) Schnitt im zweiten Vegetationsjahr erbringt im Mittel um 40 dt TM ha⁻¹.

Ein Vergleich mit den nach gleicher Methode zusammengefassten Ertragsdaten der hier vorgestellten Versuche bestätigt diese und die im vorigen Absatz genannten Werte (Abb. 18). Auffallend ist hier die wenig schwankende und mit ca. 35 dt TM ha⁻¹ relativ niedrige Ertragshöhe des Frühjahrsschnittes im zweiten Vegetationsjahr. Sommer- und Herbstschnitte bringen wesentlich höhere Erträge, und machen den größten Anteil des Jahresertrages aus. Sommer- oder Herbstschnitt sind alternative Erntetermine, da nach diesem Termin kein Wiederaustrieb erfolgt. Sie unterscheiden sich in der Ertragshöhe kaum, ein früherer Schnitt führt aber zu einer günstigeren Biomassequalität und der Möglichkeit einer früheren Aussaat der Folgefrucht. Vorausgesetzt, dass der Bestand bis zum Herbst nicht vollständig abreift (vollständige Abreife eher unter Trockenstress, bei Sommersaaten und beim Gelben Steinklee), ist die Erntespanne für den Hauptschnitt relativ groß.

⁹⁵ Mit dieser Anbauform soll ein möglichst hoher Vorfruchteffekt des Steinklees bei einer geringen Flächenbeanspruchung erzeugt werden.

⁹⁶ Auch die in Abschnitt 2.4.7 kritisch diskutierten Versuchsergebnisse wurden in die Darstellung integriert.

⁹⁷ im ersten Jahr ohne Ertrag

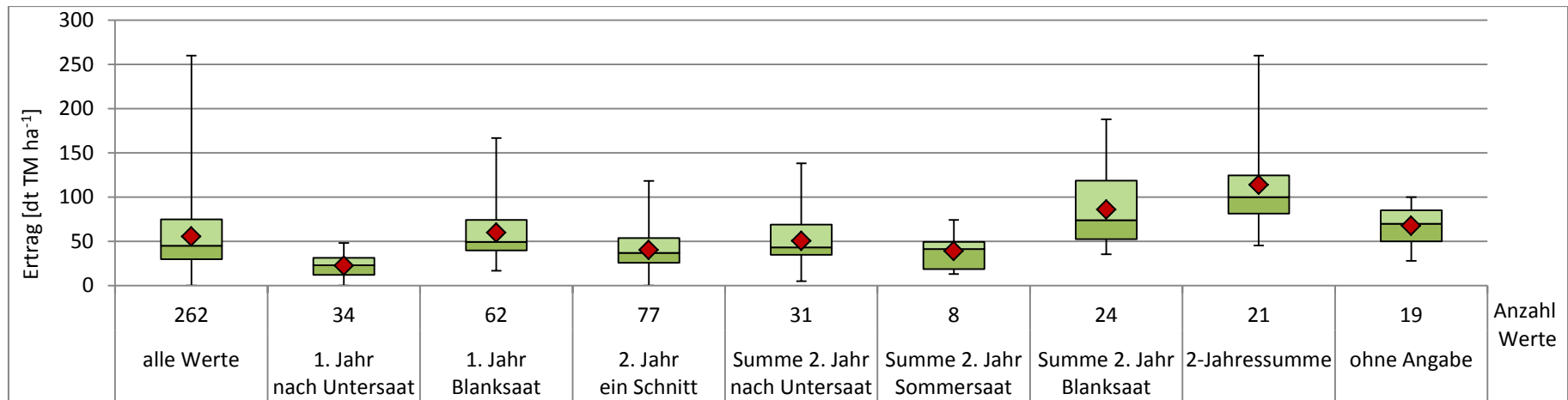


Abb. 17: Biomasseerträge des Steinklees, gruppiert nach Aussaatvarianten und Ernteterminen (Literaturangaben, Quellen s Tab. 59)

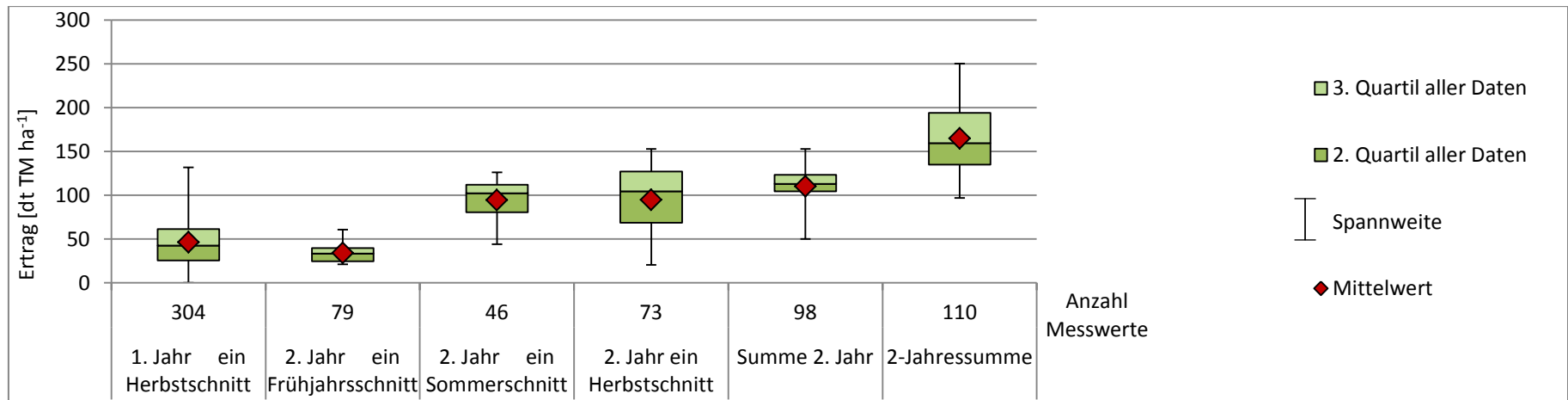


Abb. 18: Biomasseerträge des Steinklees in den Versuchen 2008-2012, nur Frühjahrsblanksaaten, gruppiert nach Erntetermin⁹⁸

⁹⁸ Die Anzahl der Messwerte benennt die Anzahl der Messparzellen. In der Regel wurden für einen Einzelwert vier Messparzellen geerntet.

5.6 Vorfruchtwert

Für die Bestimmung des Vorfruchtwertes einer Kultur und ihrer Wirkung auf den Humusgehalt des Bodens ist die Abschätzung der Wurzelmasse bzw. der Menge der Ernterückstände inklusive der N-Gehalte zum Erntezeitpunkt unabdingbar.

Auch wenn bekannt ist, dass die Wurzelmengen großen Schwankungen im Jahresverlauf unterliegen, die Standortverhältnisse einen starken Einfluss haben und auch die Streuung zwischen den einzelnen Pflanzen größer ist als bei der oberirdischen Biomasse, kann ihre Bestimmung zur Einschätzung des Vorfruchtwertes beitragen. Bei Steinklee ist zusätzlich das Entwicklungsstadium der Pflanze zum Zeitpunkt der Probenahme von großer Bedeutung, da sich Wurzelbildung und -abbau in bestimmten Perioden deutlich unterscheiden (SIMON 1960b; SMITH & GORZ 1965; SCHMIDT et al. 2007).

Infolgedessen reichen die Angaben in der Literatur über gebildete Wurzelmengen zweijähriger Herkünfte von 5 bis 44 dt TM ha⁻¹ (Tab. 28). Einjährige Formen besitzen, da sie keine Speicherwurzeln ausbilden, in Umfang und Menge kleinere Wurzelsysteme.

Tab. 28: Angaben zur Wurzelmasse des Steinklees in der Literatur⁹⁹

Wurzelmasse	Bemerkungen	Quelle
Angaben ausschließlich in [dt FM ha ⁻¹]		
43,4	Ende des Ansaatjahres	(PÄTZOLD 1961)
64,2	im 2. Vegetationsjahr	(PÄTZOLD 1961)
89,5	nach 10 Vegetationsmonaten	(PÄTZOLD 1961)
50	im 2. Vegetationsjahr; inkl. Stoppeln	(SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007)
121- 184	Ende des Ansaatjahres	(SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007)
im Herbst des Ansaatjahres in [dt TM ha ⁻¹]		
1-5	als Untersaat, einjährige Sorten	(STICKLER & JOHNSON 1959b)
15-40	als Untersaat, zweijährige Sorte	(STICKLER & JOHNSON 1959b)
28	als Untersaat, zweijährige Sorte	(STICKLER & JOHNSON 1959a)
17	-	(LOIDE 2010)
30	November	(SCHMIDT et al. 2007)

⁹⁹ Werte von Pätzold angegeben als „organische Wurzelmasse/ ha“; Werte von Simon, Burghardt in Spalte 1 angegeben als „sand- und aschefreie Wurzeltrockensubstanz“ oder „Trockensubstanz“; Die Angaben von RHYKRD & HANKINS (2007) beziehen sich wahrscheinlich auf Aussaaten unter Deckfrucht.

Wurzel- masse	Bemerkungen	Quelle
im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres in [dt TM ha ⁻¹]		
5-10	als Zwischenfrucht	(KAHNT 2008).
43,5	als Untersaat	(BURKHARDT 1957)
33,3	im Mai /Juni, geschädigter Bestand	(SIMON et al. 1957)
24	April	(RHYKERD & HANKINS 2007)
15	Mai	(RHYKERD & HANKINS 2007)
14	Juni	(RHYKERD & HANKINS 2007)
im Sommer des zweiten Vegetationsjahres in [dt TM ha ⁻¹]		
27	als Hauptfrucht	(KAHNT 2008).
11+15	als Hauptfrucht; inkl. Stoppeln	(PIETSCH et al. 2004)
25	-	(LOIDE 2010)
7-15	-	(SPECHT et al. 1960)
9	Juli	(SCHMIDT et al. 2007)
ohne angegebenen Zeitbezug in [dt TM ha ⁻¹]		
30	k. A.; inkl. Stoppeln	(SIMON 1962)
26,6	-	(SIMON & EICH 1956)
25-35	k. A.; inkl. Stoppeln	(SCHMIDT & KLÖBLE 2007)
27	k. A.	(SIMON et al. 1957)
5-25	im Vegetationsverlauf	(CYBOPOB 1950)

Beobachtungen aus den Versuchen:

Im Herbst des Ansaatjahres ist das Wurzelsystem am stärksten ausgeprägt. Die als Speicherorgane ausgeprägten Hauptwurzeln sind dann von einem verzweigten Feinwurzelnetz umgeben. Zu dieser Zeit erreicht die Wurzelknöllchenmenge ihr Maximum. Mit Absinken der Bodentemperaturen werden die Knöllchen inaktiv und lösen sich auf. Im Frühjahr des Folgejahres sind neben der Hauptwurzel nur noch wenige Seitenwurzeln zu finden. Die große Masse der Feinwurzeln und einige Nebenwurzeln sterben im Winter/ im folgenden Frühjahr ab und zersetzen sich dann relativ schnell. Die neue Feinwurzeln- und Knöllchenbildung verläuft nach der Überwinterung nur schwach.

Die Beobachtung von SPECHT et al. (1960), dass die Wurzelmasse des Steinklees regelmäßig hinter die von Luzerne und Rotklee zurückfällt, liegt vor allem in dem Vergleichszeitpunkt dieser Untersuchung begründet. Zu dem späten Probenahmetermin, im Sommer des zweiten Vegetationsjahres, z. T. nach der Samenbildung, ist der Wurzelabbau des zweijährigen Steinklees schon weit fortgeschritten, wogegen mehrjährige Arten neue Wurzelmasse für die kommende Überwinterung ausbilden. Zu einem Termin im

Frühjahr zeigt sich ein anderes Verhältnis. Aber auch zum Zeitpunkt der Ernte schon mineralisierte Wurzeln haben einen Einfluss auf Nährstoffgehalt, Bodenstruktur und Bodenleben.

Auch die Versuchsergebnisse zu Wurzelерtrag und Vorfruchtwert des Steinklees als Hauptfrucht durch Simon et al. bedürfen einer kritischen Betrachtung, worauf sie selbst in der Auswertung hinweisen. Da der „im 1. Nutzungsjahr durch zu tiefen Schnitt stark geschädigte Bokharaklee“ (SIMON et al. 1957) in seiner Wuchsleistung beeinträchtigt war, ist anzunehmen, dass die ermittelten Werte das Potential der Pflanze ungenügend widerspiegeln. Eine zusätzliche Benachteiligung der Steinkleevariante entstand durch die versuchstechnisch bedingte Gleichbehandlung des zweijährigen Steinklees mit ausdauernden Leguminosen. Die Bestimmungen der Wurzel­mengen und -verteilung erfolgte im Mai/ Juni des zweiten Vegetationsjahres und im Januar danach. Zum ersten Zeitpunkt wird der Steinklee das Knospenstadium erreicht oder überschritten haben und befand sich also schon in einem Stadium des Wurzelabbaus. Zum zweiten Termin müssen die Pflanzen schon abgestorben gewesen sein. Trotzdem ermittelten Simon et al. in 0-35 cm Tiefe im Mai/ Juni noch einen Wurzelерtrag von 33,31 dt oTM ha⁻¹ von dem im Januar danach noch 27,77 dt oTM ha⁻¹ erhalten waren (SIMON et al. 1957).

Einige der o. g. Wurzel­mengenangaben stammen aus Versuchsreihen, in denen Wurzel- und Sprossmengen zu mehreren Terminen im Vegetationsverlauf bestimmt wurden. Nur aus diesen Reihen lassen sich Aussagen über Regelmäßigkeiten im Wachstumsverlauf der Wurzeln ableiten. Da die Entwicklungsphysiologie des Steinklees eine starke photoperiodische Abhängigkeit aufweist, können die Werte anhand der Datumsangaben geordnet und miteinander verglichen werden (Abb. 19, Abb. 20).

In der Anfangszeit bilden die Pflanzen nur geringe Wurzel­mengen. Vor der Überwinterung nimmt die Wurzel­masse des Steinklees rasant zu und erreicht im Spätherbst ihr Maximum. Mit dem Verbrauch der Speicherstoffe im folgenden Frühjahr reduziert sich die Wurzel­masse wieder, da keine neuen Stoffe eingelagert werden. Da diese Daten unter sehr unterschiedlichen Bedingungen gewonnen wurden¹⁰⁰, bestehen zwischen den Einzelwerten größere Abweichungen. In die Graphiken wurden Werte von Wurzel­mengenbestimmungen der Herkunft UKR (rot, Tab. 29) eingefügt.

Die in Gülzow im Herbst vor der Überwinterung gemessenen Werte erscheinen relativ hoch. Allerdings beziehen sich die Vergleichswerte aus der Literatur im Unterschied dazu fast ausschließlich auf unter Deckfrucht ausgesäten Steinklee. Diese Pflanzen sind im Ansaatjahr deutlich kleiner als blank gesäte Pflanzen. Da die mit gleicher Methode

¹⁰⁰ Aussaat unter Deckfrucht: STICKLER (1959a, b) und wahrscheinlich RHYKRD & HANKINS (2007); Reinsaat: SPECHT (1939), LOIDE (2010); Einzelpflanzenmessung: SPECHT (1939); Messung je Fläche: alle außer SPECHT (1939); Kanada: STICKLER (1959A, B), RHYKRD & HANKINS (2007); Deutschland: SPECHT (1939); Estland: LOIDE (2010)

ermittelten Werte der beiden anderen Termine den Literaturangaben entsprechen, kann der benannte Unterschied mit dem Aussaatverfahren erklärt werden (Tab. 28, Tab. 29).

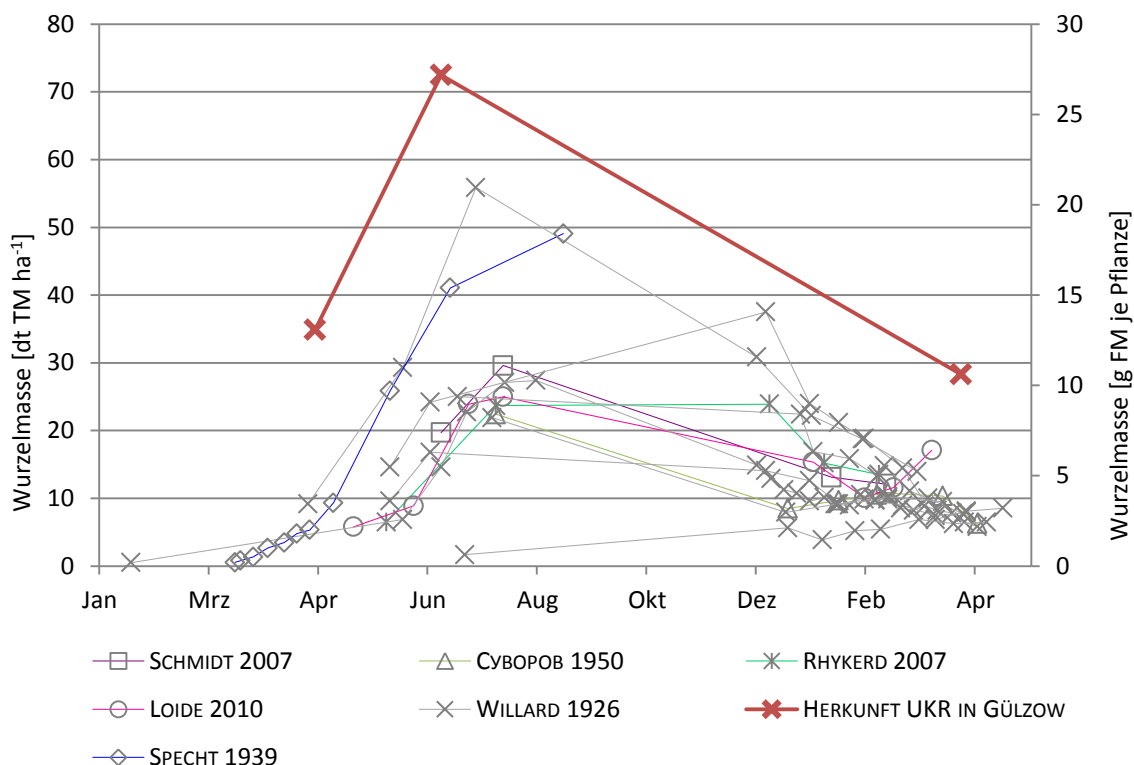


Abb. 19: Entwicklung der Wurzelmasse von *M. albus* im Vegetationsverlauf¹⁰¹

Tab. 29: Wurzelmasse zu verschiedenen Terminen, Herkunft UKR, Gülzow

Termin	Einheit	im Ansaatjahr	vor Winter	zur Vollblüte ¹⁰²
Aussaatdatum		23.03.2011	17.05.2010	23.03.2011
Datum der Probenahme		27.07.2011	04.10.2010	16.07.2012
Sprossmasse	g TM m ⁻²	595	591	1419
TS der Sprosse	%	18	27	28
N-Gehalt der Sprosse	g kg ⁻¹ TM	30	27	20
Wurzelmasse	g TM m ⁻²	349	725	283
TS der Wurzeln	%	42	27	26
N-Gehalt der Wurzeln	g kg ⁻¹ TM	9	34	16
Anzahl der Messstellen		11	10	5

Mit einem relativen Bezug der Wurzelmasse auf die oberirdische Biomasse als Wurzel-Spross-Verhältnis lässt sich der Wachstumsverlauf in verallgemeinerter Form darstellen

¹⁰¹ Nur die Werte von SPECHT (1939) sind in g FM je Pflanze angegeben, alle anderen Werte in der Maßeinheit dt TM ha⁻¹.

¹⁰² Der zu diesem Termin sehr feste Boden behinderte die Probenahme, so dass von geplanten 10 Messstellen nur 5 realisiert werden konnten.

(Abb. 20). Die Relativzahl „200“ bedeutet dabei, dass das Wurzelgewicht doppelt so groß wie das Sprossgewicht ist. Bei einem Wert „100“ sind Wurzeln und Spross in gleicher Menge vorhanden. In diese Abbildung wurden ergänzend Angaben von STICKLER (1959a, b) aufgenommen, der Spross- und Wurzelgewichte ausschließlich im Herbst feststellte. Die Werte von LOIDE (2010) zeigen im Frühjahr einen verspäteten Verlauf, der mit dem späteren Vegetationsbeginn des zugehörigen Standortes in Estland erklärt werden kann. Die in den Versuchsreihen von WILLARD (1926) in Ohio bestimmten Wurzelgewichte liegen am Anfang und Ende der Vegetationspause über den unten beschriebenen Bereichen. Es scheint sinnvoll, diese hohen Werte aufgrund abweichender Klimabedingungen der Winterperiode zuzuordnen. Die Gülzower Biomasseverhältnisse passen gut zu den Literaturwerten.

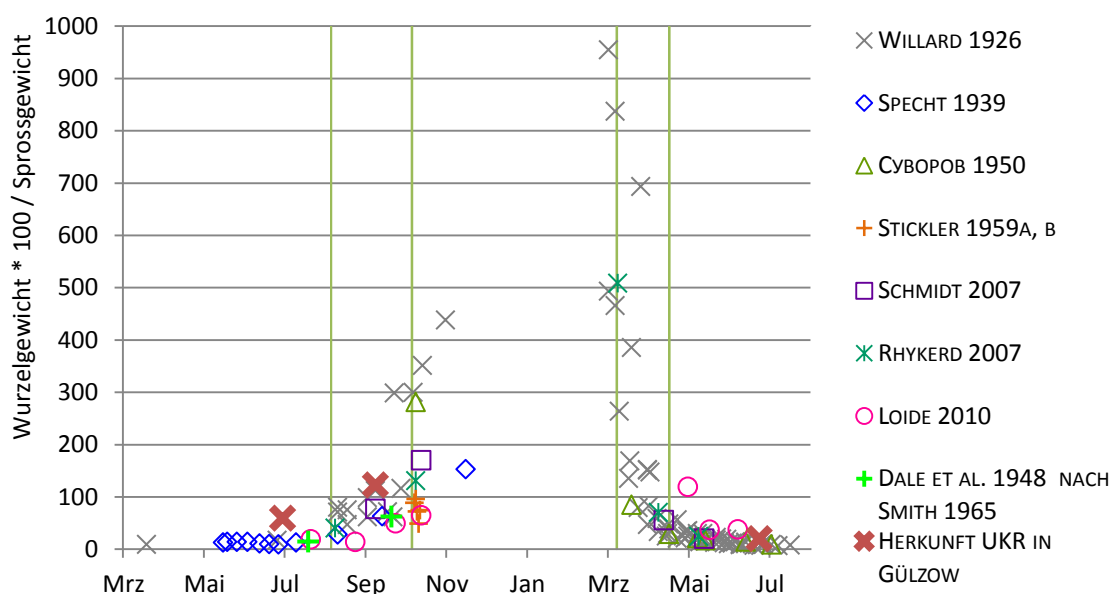


Abb. 20: Entwicklung des Wurzel-Spross-Verhältnisses von *M. albus* im Vegetationsverlauf

Folgende allgemeine Aussagen können dem Diagramm entnommen werden¹⁰³:

- nach der Aussaat bis Anfang September (Bereich bis zur 1. grünen Senkrechten): Die oberirdische Biomasse überwiegt die Wurzelmenge um mindestens das Doppelte.
- zwischen Anfang September und Ende Oktober (Bereich zwischen der 1. und der 2. grünen Senkrechten): Das Wurzelgewicht liegt zwischen der Hälfte und dem Doppelten des Sprossgewichtes und zeigt in diesem Zeitraum eine rasante Zunahme.
- ab Vegetationsbeginn (1. April) bis zum 10. Mai (Bereich zwischen der 3. und der 4. grünen Senkrechten): Das Wurzelgewicht nimmt aufgrund der Auslagerung von

¹⁰³ Die Datumsangaben sind hier nur als ungefähre Anhaltspunkte zu verstehen, um Zeitbereiche einzugrenzen.

Speicherstoffen ab und liegt zwischen dem doppelten und einem halben Sprossgewicht.

- nach dem 10. Mai (nach der 4. grünen Senkrechten): Die Wurzelmenge entspricht bei abnehmender Tendenz nur noch einem Viertel des Gewichts der oberirdischen Biomasse.

Maximalwerte während der Überwinterung (Bereich zwischen den beiden mittleren grünen Senkrechten) lassen sich aus dieser Darstellung nicht ableiten, da zu wenige Daten für diesen Zeitraum vorliegen. Für eine Abschätzung des Vorfruchtwertes sind sie auch weniger interessant, weil ein Umbruch erst nach Winter üblich ist.

Damit lässt sich bei Kenntnis der oberirdischen Biomassemenge eine grobe Einschätzung der Wurzelmenge ableiten. Bei einer Interpretation muss aber beachtet werden, dass außer der Wachstumszeit weitere Faktoren, wie beispielsweise die Witterungsbedingungen diesen Verlauf beeinflussen. SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2003) ermittelten für als Untersaat etablierten Gelben Steinklee in einem normalen Jahr im November ein Wurzel-Stängel-Verhältnis von 1 : 1, während es in einem Trockenjahr bei insgesamt niedrigem Biomasseertrag bei 1 : 3 lag.¹⁰⁴

Die Stickstoffgehalte der Wurzeln verändern sich im Vegetationsverlauf. Ein Analysewert ist deshalb nur für den zugehörigen Vegetationsabschnitt gültig. Die höchsten Gehalte (2,5-4 % in der TM) werden zum Ende der ersten und zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode gemessen (WILLARD 1926; SPECHT 1939; CYBOPOB 1950; STICKLER & JOHNSON 1959a; SIMON 1960b; PÄTZOLD 1961; LI et al. 1996; WIVSTAD 1997; LOIDE 2010). Einjährige Formen enthalten zu dieser Zeit nur 1-2 % N in der TM (STICKLER & JOHNSON 1959b). Zweijährige Formen zeigen diese niedrigen Gehalte erst ab Sommer des zweiten Jahres (WILLARD 1926). Die Stickstoffgehalte anderer Leguminosen unterliegen weniger großen Schwankungen im Jahresverlauf (WILLARD 1926; CYBOPOB 1950).

5.7 N-Fixierung

Die Stickstofffixierleistung einer Pflanze ist an ihren Biomasseaufwuchs gekoppelt. Da dieser beim Steinklee durch Ernteregime, Umbruchtermin und Wachstumsbedingungen beeinflusst wird, unterscheiden sich die in der Literatur angegebenen Werte zum N-Ertrag deutlich (Tab. 30).

¹⁰⁴ Dafür wurde die Wurzelmasse in der Bodentiefe 0-20 cm bestimmt.

Tab. 30: Angaben zum Stickstoffertrag zweijähriger Formen des Steinklees in der Literatur¹⁰⁵

N-Ertrag kg N ha ⁻¹	Termin	bezogen auf	Quelle
140 - 300	k. A.	k. A.	(BLECKEN 1948)
130	k. A.	k. A.	(BECK 1968)
100 - 200	k. A.	k. A.	(CLARK 2007)
90 - 150	k. A.	k. A.	(SCHELUTO et al. 2007)
300	k. A.	ganze Pflanze u. Bodenvorrat	(LYON 1936)
200	k. A.	ganze Pflanze	(SIMON 1962)
> 200	k. A.	ganze Pflanze	(KREUZ 1965)
300	k. A.	ganze Pflanze	(BECK 1968)
90 - 135	k. A.	ganze Pflanze	(BUNDY et al. 1997)
45 - 135	k. A.	ganze Pflanze	(RUARK & STUTE 2009)
70	k. A.	Ernterückstände	(SIMON 1962)
66	1. Jahr, Herbst	k. A.	(HENNING & WHEATON 1993)
100	1. Jahr, Herbst	ganze Pflanze	(CYBOPOB 1950)
165 - 175	1. Jahr, Herbst	ganze Pflanze	(STICKLER & JOHNSON 1959a)
143	1. Jahr, Herbst	Sproß	(MCEWEN & JOHNSTON 1985)
164	1. Jahr, Herbst	ganze Pflanze	(HENNING & WHEATON 1993)
196 - 299	1. Jahr, Herbst	ganze Pflanze	(VIIL & VÖSA 2005)
127	1. Jahr, November	ganze Pflanze	(RHYKERD & HANKINS 2007)
125	1. Jahr, Herbst	ganze Pflanze	(LOIDE 2010)
80	1. Jahr, Herbst	Wurzeln	(CYBOPOB 1950)
75 - 80	1. Jahr, Herbst	Wurzeln	(STICKLER & JOHNSON 1959a)
100	1. Jahr, Herbst	Wurzeln	(SIMON 1960a)
107	1. Jahr, November	Wurzeln	(SCHMIDT et al. 2007)
75	1. Jahr, Herbst	Wurzeln	(LOIDE 2010)
6-20	1. Jahr, Herbst	Wurzeln	(MENKE 2011) ¹⁰⁶
200-300	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(BECKER-DILLINGEN 1929)
230-310	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(BURKHARDT 1957)
45	2. Jahr, frühes Frühjahr	ganze Pflanze	(CYBOPOB 1950)

¹⁰⁵ Die Angaben von RHYKERD & HANKINS (2007) und CLARK (2007) beziehen sich wahrscheinlich auf Steinkleebe-
stände, die unter Deckfrucht ausgesät wurden. Die Werte von STICKLER (1959a, b) wurden mit unter Hafer ausgesä-
tem Gelben Steinklee (*M. officinalis*) ermittelt.

N-Ertrag	Termin	bezogen auf	Quelle
kg N ha ⁻¹			
125-150	2. Jahr, spätes Frühjahr	ganze Pflanze	(CYBOPOB 1950)
200	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(SIMON 1960a)
150-212	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(MEYER 1987)
60 – 70	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(CLARK 2007)
124-182	2. Jahr, April-Juni	ganze Pflanze	(RHYKERD & HANKINS 2007)
64	2. Jahr, Frühjahr	ganze Pflanze	(LOIDE 2010)
55	2. Jahr, Mai	Sproß	(MENKE 2011) ¹⁰⁶
57	2. Jahr, Frühjahr	Ernterückstände	(BURKHARDT 1957)
103	2. Jahr, April	Wurzeln	(RHYKERD & HANKINS 2007)
28	2. Jahr, Frühjahr	Wurzeln	(LOIDE 2010)
25-20	2. Jahr, Frühjahr	Wurzeln	(CYBOPOB 1950)
56-84	2. Jahr, Frühjahr	Wurzeln	(MEYER 1987)
7-14	2. Jahr, Mai	Wurzeln	(MENKE 2011) ¹⁰⁶
211-236	2. Jahr, 3 Schnitte	Sproß	(PIETSCH 2004) ¹⁰⁷
110-180	2. Jahr, Sommer	ganze Pflanze	(CYBOPOB 1950)
130-140	2. Jahr, Sommer	ganze Pflanze	(CLARK 2007)
127	2. Jahr, Sommer	ganze Pflanze	(LOIDE 2010)
246-294	2. Jahr, 3 Schnitte	ganze Pflanze	(PIETSCH 2004)
15-10	2. Jahr, Sommer	Wurzeln	(CYBOPOB 1950)
55-33	2. Jahr, Mai-Juni	Wurzeln	(RHYKERD & HANKINS 2007)
15	2. Jahr, Juli	Wurzeln	(SCHMIDT et al. 2007)
23	2. Jahr Sommer	Wurzeln	(LOIDE 2010)

Unterschieden werden müssen selbstverständlich Werte über die gesamte N-Fixierleistung der Pflanze und über N-Mengen in Wurzeln oder Ernterückständen, die nur bei Gründung ohne vorherige Ernte gleichzusetzen sind. Ein Einfluss des Anbausystems (Aussaatzeit, Blank- oder Untersaat, Nutzungen) ist anzunehmen, in der Literatur aber selten vollständig angegeben und deshalb hier nicht quantifizierbar.

Ableiten lassen sich folgende Werte zum Stickstofffixierungspotential des Steinklees (außer Sommeransaat):

- in Abhängigkeit von der Wuchsleistung maximal insgesamt: ca. 100 – 300 kg N ha⁻¹

¹⁰⁶ Nach Aussaat von Gelbem Steinklee im August des Vorjahres.

¹⁰⁷ Hier wurden nach einer Spätsommersaat im Folgejahr drei Ernteschnitte ausgeführt.

- 1. Jahr im Herbst in der ganzen Pflanze: 100 – 300 kg N ha⁻¹; in den Wurzeln: 75 – 110 kg N ha⁻¹
- 2. Jahr im Frühjahr in der ganzen Pflanze: 45 – 310 kg N ha⁻¹; in den Wurzeln: 20 – 100 kg N ha⁻¹
- 2. Jahr im Sommer in der ganzen Pflanze: 90 – 180 kg N ha⁻¹; in den Wurzeln: 15 – 55 kg N ha⁻¹

Die höchsten Stickstofferträge werden mit einem Umbruch des Steinklees ohne Nutzung nach der Überwinterung erzielt. Zusätzliche Wachstumszeit im zweiten Frühjahr führt nicht zu einer Erhöhung des Nitratgehaltes im Boden für die Nachfrucht. Ein vorheriger erster Schnitt reduziert die erzielbare N-Menge nur wenig. Weitere Ernten verringern dagegen die Stickstoffausbeute deutlich (vgl. auch JOST 1988; MEYER 2005).

„Ein guter Luzernebestand hinterlässt in den typischen Luzerneanbaugebieten 60 bis 120 dt/ha Wurzelmasse und 60 bis 120 kg N/ha im Boden“ (LÜDDECKE 1990). Rotklee kann in der oberirdischen Biomasse bis zu 300 kg N ha⁻¹ speichern (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b). Durch Steinklee können also ähnliche N-Mengen wie durch Luzerne- oder Rotklee fixiert werden. Voraussetzung ist der Vergleich ähnlich gut entwickelter Bestände zu einem entwicklungsphysiologisch gleichwertigem Zeitpunkt (Spätherbst bis frühes Frühjahr).

Das N-Fixierungspotential einjähriger Sorten liegt aufgrund geringerer Spross- und Wurzelmasse und niedrigerer N-Gehalte zum Herbst des ersten Vegetationsjahres um 50-70 % unter dem zweijähriger Sorten (STICKLER & JOHNSON 1959b).

WILLARD (1926) weist darauf hin, dass Steinklee auch im zweiten Vegetationsjahr Stickstoff aus dem Bodenvorrat oder aus den Rhizobien aufnehmen kann, wobei diese Prozesse bei Pflanzen, die mit geringeren Wurzelmassen überwintern, stärker ausgeprägt sein sollen.

5.8 Zum Auftreten von Krankheiten und Schädlingen, insbesondere von *Sitona* spp.

Durch die große Pflanzenhöhe der Bestände bis zur Herbsternte und die Ausbildung der Speicherwurzeln sind Steinkleebestände attraktiv für Schadnager. Während des Winters kann es bei hohen Populationsdichten von Feld- oder Wühlmäusen zu Pflanzenausfällen kommen, die aber unter normalen Bedingungen ausgeglichen werden.

Alle Herkünfte des Steinklees sind anfällig für Blattkrankheiten. Besonders stark traten Falscher Mehltau und Echter Mehltau in Erscheinung (bis zu 50 % befallener Blattfläche). Zwischen den großen jahresbedingten Ertragsschwankungen und dem Mehлтаubefall konnte jedoch kein augenscheinlicher Zusammenhang beobachtet werden.

Starke Wachstumsdepressionen im ersten Vegetationsjahr werden beim Steinklee oft von N-Mangel-Symptomen begleitet. Die Pflanzen kümmern, die Laubblätter bleiben klein und färben sich hell gelb-grün (Manchmal sind sogar schon die Keimblätter betroffen). Auch eine Rotfärbung der Stängel ist häufiger zu beobachten. Die Wurzeln bleiben schwach, einzelne sind fädig-dünn, manche auffallend dunkel. Knöllchen sind nur wenige und kleinere als normal zu finden. Eine ursächliche pilzliche oder bakterielle Erkrankung kann meist ausgeschlossen werden. (Abb. 21)



Abb. 21: Pflanzen mit N-Mangel-Symptomen (links) und gesunde Jungpflanzen (rechts) bei gleichem Aussaattermin

Da gesunde Leguminosen keinen Anspruch an eine N-Versorgung über den Boden haben, müssen diese Symptome als Störung des N-Fixierungs-Systems gedeutet werden. Neben witterungsbedingten Faktoren und Einflüssen der Nährstoffversorgung verringern die Knöllchen fressenden Larven von *Sitona* spp. den N-Ertrag der Steinkleepflanze. In allen Versuchsbeständen wurden beachtliche Käferdichten beobachtet, so dass hier ein Zusammenhang angenommen werden kann.

Allgemeine Beobachtungen:

Die ersten adulten Käfer erscheinen im Frühjahr (Ende März/ April) mit Ansteigen der Temperatur in den überwinterten Steinkleebeständen und beginnen dort mit der Paarung. Sie halten sich vor allem auf dem Boden und unter den obersten Erdkluten auf. Gleichzeitig treten auch die ersten Fraßkerben an den Pflanzen auf. Neuansaat werden schon nach dem Erscheinen der Keimblätter angefliegen, was leicht an den Fraßkerben zu erkennen ist. Je dichter ein Altbestand liegt, desto stärker ist auch der Fraßschaden im neuen Bestand. Die hier beobachteten Pflanzen wurden jeweils in direkter Nachbarschaft eines überwinterten Bestandes ausgesät, so dass von einer hohen Zuflugrate ausgegangen werden kann. Während der gesamten Vegetationsperiode können Imagines beobachtet werden. Spätestens ab Mai sind Larven unterschiedlicher Größe und ab Juni auch Puppen im Boden unter den Steinkleepflanzen zu finden. Am Ende der Vegetationsperiode fehlen die Larven. Zum Ausgang des Winters, noch deutlich vor dem Er-

scheinen der Käfer an der Erdoberfläche, sind weder Puppen noch Larven im Boden sichtbar.

Mit den Bodenelektoren, die auf überwinterten Beständen aufgestellt wurden, kann die Zahl der neugeschlüpften Käfer bestimmt werden. Die Anzahl wird mit der angewandten Methode etwas unterschätzt, da die unter der Falle lebenden Käfer nicht vollständig in die Kopfdose gelangen. Darauf weisen Fraßkerben an den unter dem Netz wachsenden Pflanzen hin. Bis zum ersten Schnitt Mitte/ Ende Mai ist keine neue Käfergeneration zu erwarten, so dass die hier festgestellte Zahl mindestens der Menge der überwinterten *Sitona*-Käfer entspricht. In den Bodenelektoren über den Neuansäen wurden die bis zum Aufstellen zugeflogenen Käfer und später im Jahr zusätzlich die eventuell neuschlüpfenden Adulten erfasst. Genau wie bei den überwinterten Pflanzen blieben auch hier Käfer in den Fallen aktiv, was anhand der durchgängig bonitierten Fraßkerben unter dem Netz dokumentiert wurde. Außerdem wurden das weitere Zuwandern von Adulten und die Eiablage der gefangenen Käfer verhindert. Deshalb unterschätzt die festgestellte Anzahl also den tatsächlichen Befall ebenfalls. Die trotzdem ermittelten hohen Käferzahlen zeigen die hohen Populationsdichten der *Sitona*-Käfer in beiden Jahren.

Aus den Auszählungen in den überwinterten Steinkleebeständen lässt sich ableiten, dass gleichzeitig mit dem Erscheinen der Käfer an der Erdoberfläche der Blattfraß beginnt (Abb. 22, Abb. 23). Beide Parameter nehmen im folgenden Monat zu, was mit einem zeitlich versetzten Erscheinen weiterer Jungkäfer an der Erdoberfläche erklärt werden kann.¹⁰⁸

Eine frühe Insektizidbehandlung trafe deshalb nur die ersten Jungkäfer. Mit einer späteren Spritzung würden zwar mehr Käfer erfasst, durch die bis zu diesem Zeitpunkt schon erfolgte Eiablage entsteht jedoch eine neue Käfergeneration, die als Larven an den Wurzelknöllchen fressen. Eine chemische Bekämpfung ist deshalb nur als akute Maßnahme zum Schutz vor drohendem Totalschaden, der in diesem Entwicklungsstand des Steinklees extrem selten ist, wirksam. Weitere Behandlungserfolge lassen sich mit nur einer Spritzung nicht erreichen.¹⁰⁹

¹⁰⁸ Dazu passt die Beobachtung von mit dem Insektizid „Karate Zeon“ im Frühjahr behandelten Beständen, in denen zwei Wochen nach einer Behandlung erneut eine große Anzahl von *Sitona*-Käfern gefunden wurde.

¹⁰⁹ Zur Zeit ist kein Pflanzenschutzmittel für eine Anwendung in Steinkleebeständen zugelassen. Die Aussagen dienen der Einordnung einer theoretischen Behandlungsstrategie.

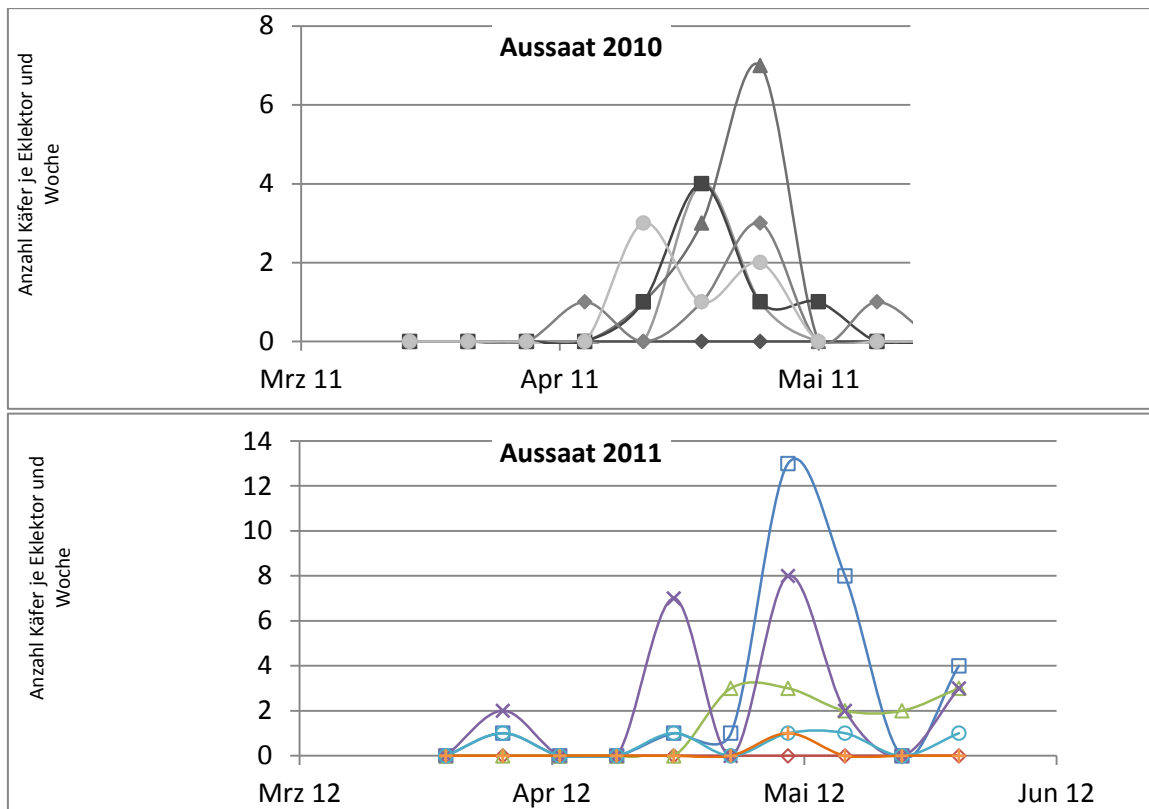


Abb. 22: Anzahl der mit 4 bzw. 6 Elektoren in überwinterten Beständen gefangenen *Sitona*-Käfern

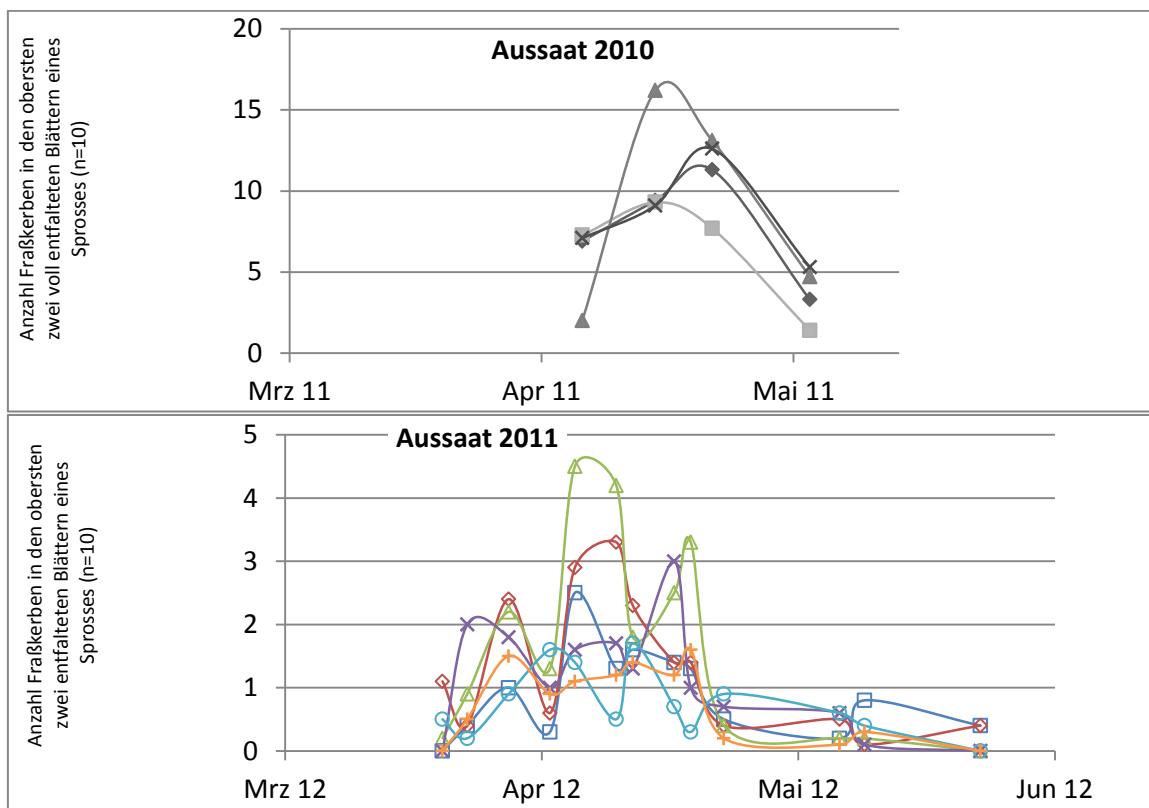


Abb. 23: Fraßaktivität von *Sitona*-Käfern an den Blättern von überwinterten Steinkleepflanzen in 4 bzw. 6 unterschiedlichen Parzellen

Das scheinbare Nachlassen der Fraßaktivität ab Ende April (Abb. 23) liegt am schnellen Wachstum des Steinklees in dieser Zeit. Auf den größeren Pflanzen verteilen sich die Käfer, so dass pro Einzelblatt weniger Fraßstellen entstehen. Die ab Mai geringeren Käferfänge (Abb. 22) deuten dagegen darauf hin, dass fast alle Käfer, die unter der Falle schlüpften, eingefangen wurden. 2011 wurden insgesamt 0, 5, 11, 7, 6 und 6 Käfer in den Einzelfallen gefangen, das sind im Mittel bezogen auf die Fläche 129 Käfer je m². 2012 waren es 28, 0, 13, 22, 5 und 1 Käfer und im Mittel 254 Käfer je m².¹¹⁰ Diese sehr hohen Zahlen liegen weit über dem Schadschwellenwert von 10 Käfern je m² für Futterleguminosen (ANONYM 2002). Eine deutliche Schädigung der Pflanzen wäre also anzunehmen. Ein Vergleich mit der für Steinklee benannten Schadschwelle von 20-40 Käfern je Pflanze ist ebenfalls schwierig, da auch hier kein Entwicklungsstadium der Pflanze angegeben ist (ТУЖИЛИН et al. 2002) (s. auch S. 45). Mit 50-100 Pflanzen je m² nach der Überwinterung wäre diese Grenze jedoch etwa erreicht. Dem Augenschein nach wurde das Steinkleewachstum nach dem Winter nicht wesentlich durch die Fraßschäden gestört. Im zweiten Vegetationsjahr des Steinklees können also hohe Befallszahlen toleriert werden. Dass die Käfer und vorher die Larven aber das Wachstum überhaupt nicht minderten, ist unwahrscheinlich. Außerdem baut sich ohne Gegenmaßnahmen eine hohe Population an Sitona-Käfern auf, die Neuaussaaten empfindlich schädigen können. Bei der Einordnung der hohen Zahlen muss außerdem beachtet werden, dass – wie auch an die unterschiedlichen Ergebnisse der Einzelfallen zeigen – die Käferdichte kleinräumig starke Abweichungen aufweist.

In den Neuaussaaten wurden die ersten Fraßkerben und Käfer 2010, 2011 und 2012 ungefähr 10 Tage nach dem Auflaufen beobachtet. Da die Keimpflanzen zu diesem Zeitpunkt noch keine Laubblätter ausgebildet hatten, konnte die Fraßaktivität nicht mit der beschriebenen Methode ermittelt werden. Die Anzahl der angefressenen Keimpflanzen je m² nahm in den einzelnen Jahren unterschiedlich schnell zu. 2010 und 2011 wurden schnell kritische Werte bei im Mittel 40 (Spannweite: 8 - 92) angefressene Pflanzen je m² erreicht. 2012 kam es erst nach der Ausbildung des ersten Laubblattes zu einer starken Zunahme der Fraßkerben (bis zu 60 angefressene Pflanzen je m²), so dass in diesem Jahr das Überleben des Bestandes nicht gefährdet war.

Auch in den neuangesäten Beständen verlaufen die Kurven über die Anzahl der Fraßkerben an den Blättern und die Anzahl der gefangenen Käfer von Frühjahr bis Sommer annähernd parallel (Abb. 24, Abb. 25). Nach einem anfänglich geringen und gleichmäßigen Niveau ist im Juli ein starker Anstieg zu beobachten. Diese Zunahmen sind mit

¹¹⁰ Bei der Diskussion der Käferzahlen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass alle Tiere bis zum Ende der Vegetationsperiode überleben. Tatsächlich erscheinen die Käfer nacheinander und wahrscheinlich überlebt nur die neue Generation den Sommer. Allerdings überwiegen die Jungkäfer die Elterngeneration in der Summe erheblich, worauf der steile Anstieg der Kurven hindeutet.

dem Schlupf einer neuen Käfergeneration zu dieser Zeit zu erklären. Die bis zum Herbst über einen Zeitraum von 3-4 Monaten weiterhin hohe Anzahl der Käferfänge deutet darauf hin, dass auch diese Generation zeitlich versetzt über einen längeren Zeitraum schlüpft. Dieses Phänomen ist vermutlich auf eine längere Eiablagephase der Elterngeneration im Frühjahr zurückzuführen. Die Beobachtung, dass ab Mitte Juni bis zum Frost Larven unterschiedlicher Größe im Boden unter Steinkleepflanzen zu finden sind, stützt diese Vermutung.

2011 wurden insgesamt 28, 17, 60, 60, 46 und 28 Käfer in den Einzelfallen gefangen, das sind im Mittel bezogen auf die Fläche 880 Käfer je m². 2012 waren es 232, 155, 76, 54, 84 und 104 Käfer und im Mittel 2597 Käfer je m².¹¹⁰ Diese Käferzahlen liegen weit über denen, die im überwinterten Bestand gefangen wurden. Die Neuansaat erfolgte auf einer vorher mit Gras bewachsenen Fläche, die im vorherigen Herbst gepflügt und im Frühjahr noch einmal bearbeitet wurde. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Besiedelung nicht über den Boden unter den neu ausgesäten Pflanzen stattfand. Der Bodenelektor verhinderte nach der Aufstellung eine weitere Zuwanderung. Der junge Steinklee unter den Fallen wurde also nur durch Zuflug adulter Käfer aus benachbarten Altbeständen bis Mai/ Juni besiedelt. Die Zahlen zeigen das Vermehrungspotential der Käfer im Sommer und die Bedeutung eines räumlichen Abstandes zwischen Neuansaat und überwinterten Steinkleebeständen.

Bei der Diskussion von Schadschwellen in Neuansaat müssen zwei Aspekte betrachtet werden. Zum einen können die zufliegenden Käfer bis nach dem Jugendstadium der Pflanzen aufgrund der geringen vorhandenen Blattmasse einen erheblichen Anteil der Blätter abfressen. Bei sehr kleinen Pflanzen und insbesondere während der Keimphase führen schon wenige Käfer zum Totalverlust. Da die Insekten von außen in den Steinklee einfliegen, unterscheiden sich die Befallsdichte und das Schadensausmaß je nach Abstand vom Überwinterungsort. Dies konnte auch auf den Versuchspartzellen beobachtet werden. Ein Handlungsbedarf¹¹¹ besteht zu dieser Zeit bei drohendem Totalschaden auf den betroffenen Teilflächen. Der Zuflug weiterer Käfer kann nicht verhindert werden. Nach der erfolgreichen Ausbildung mehrerer Laubblätter ist das Überleben der Pflanzen in der Regel nicht mehr gefährdet.

¹¹¹ Insektizidspritzung oder Umbruch der betroffenen Teilflächen

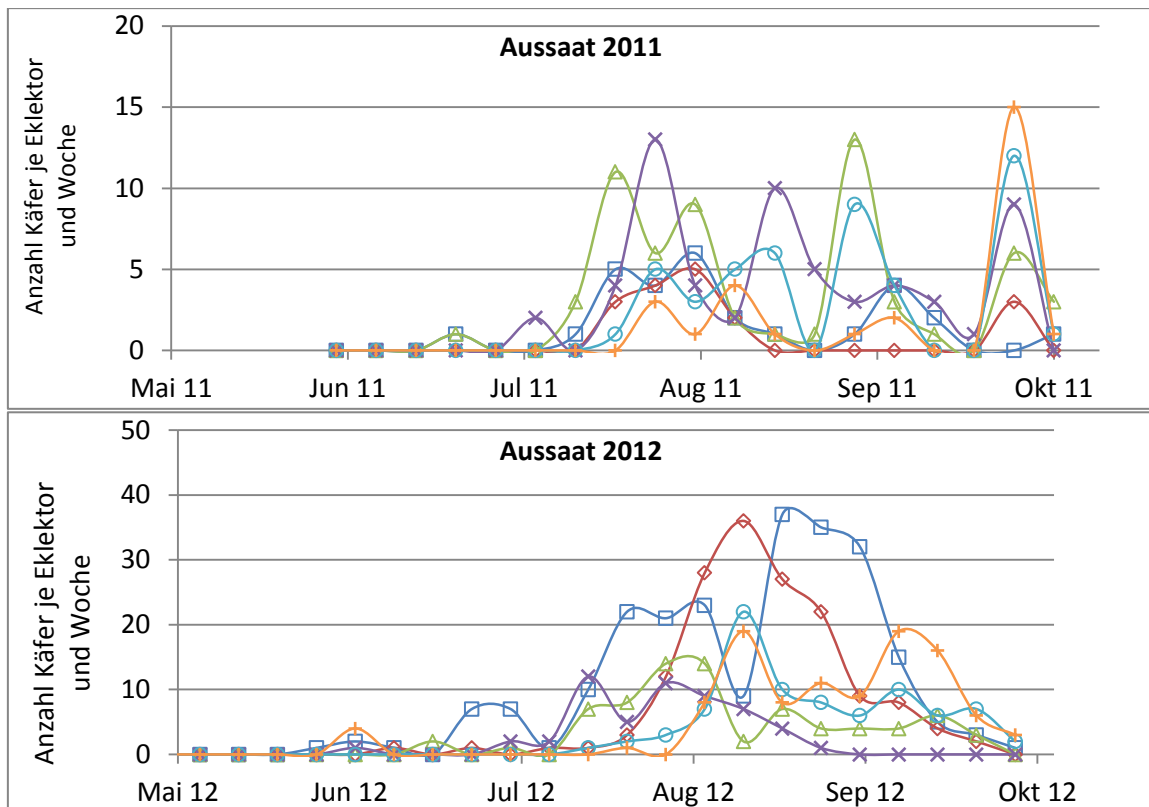


Abb. 24: Anzahl der mit 6 Bodenelektoren in neuausgesäten Beständen gefangenen *Sitona*-Käfern

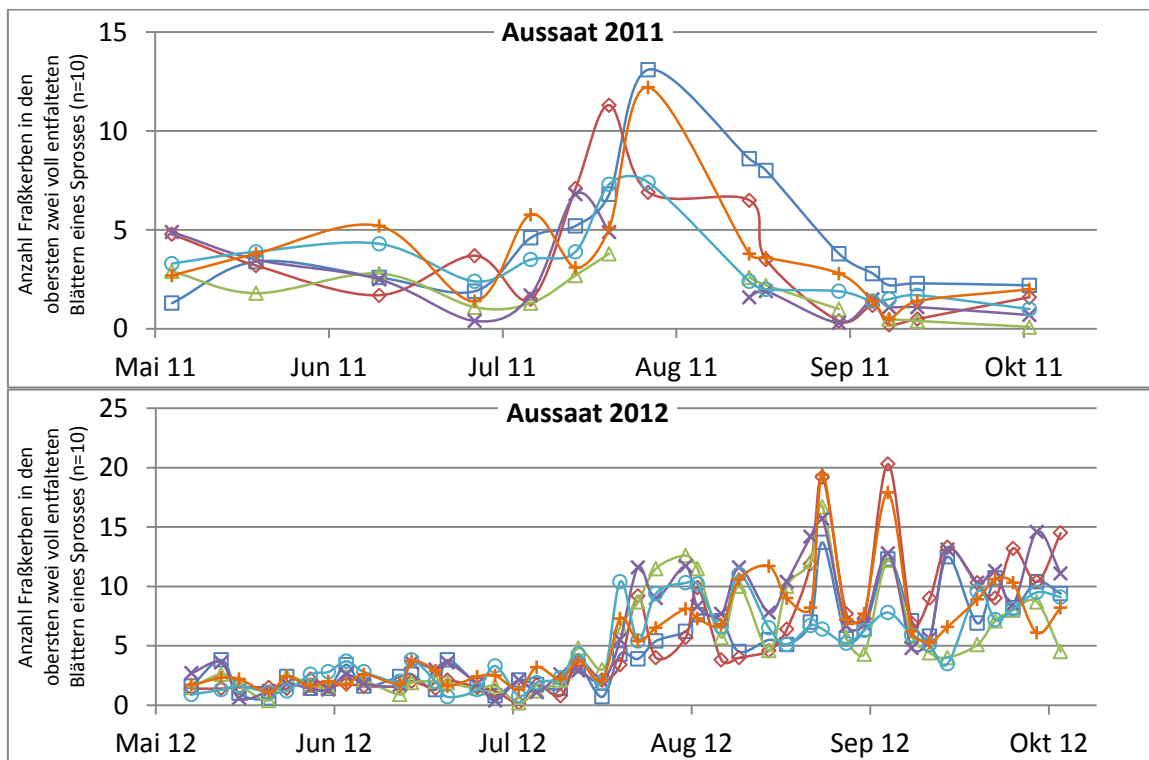


Abb. 25: Fraßaktivität von *Sitona*-Käfern an den Blättern von neuausgesäten Steinkleepflanzen in 6 unterschiedlichen Parzellen

Der zweite Aspekt liegt in dem durch die Larven verursachten Schaden an Wurzelknöllchen und Wurzeln, der schwer bestimmbar ist. Das Schadensausmaß ist umso größer anzunehmen, je kleiner die Pflanzen, je ungünstiger die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen und je mehr und je größere Larven vorhanden sind. Außerdem wird eine sekundäre Erkrankung der Pflanzen durch bodenbürtige Erreger bei höherem Befallsdruck wahrscheinlicher. Da durch den Knöllchenfraß die N-Aufnahme der Pflanzen gestört wird, passen die in den Versuchen beobachteten N-Mangelerscheinungen (Abb. 21, S. 118) zum Auftreten der Käfer im Bestand. Die große Anzahl der ab Juli gefangenen Käfer macht einen merklichen unterirdischen Schaden sehr wahrscheinlich. Da der Zuflug von adulten Käfern der Elterngeneration über einen längeren Zeitraum stattfindet, kann eine einmalige chemische Behandlung den Aufbau einer hohen Larvendichte im Boden nicht verhindern. Die im Boden lebenden Larven sind mit einer Spritzung nicht erreichbar. Zur Schadensbegrenzung müssen deshalb vorbeugende Maßnahmen genutzt werden (s. Abschnitt 2.4.4). Da die N-Assimilation des Steinklees durch weitere Faktoren wie Witterung und Nährstoffverfügbarkeit beeinflusst wird, sind der unterschiedliche Wachstumsverlauf und die Ertragsschwankungen zwischen den verschiedenen Versuchsjahren (Tab. 21, Tab. 57) trotz hohen Sitona-Befalls erklärbar. Die Prozesse, die zur Bildung neuer Wurzelknöllchen führen, sowie die N-Assimilation selbst, verlaufen bei niedrigeren Temperaturen langsamer. So ist es möglich, dass die ungewöhnlich kühle Witterung nach der Saat im Mai 2010 und 2012 im Gegensatz zu 2011 die Auswirkungen des Larvenfraßes verstärkte.

5.9 Praxisversuch

Im Praxisversuch konnten schon zwei Wochen nach dem Auflaufen Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzen innerhalb des Gesamtschlages beobachtet werden. Während 2009 Wachstumsdepressionen nur in geringem Umfang vorkamen, litt 2010 mehr als die Hälfte des Bestandes schon im Jungpflanzenstadium unter Beeinträchtigungen. Ein Zusammenhang zum pH-Wert des Bodens konnte nicht festgestellt werden.

Gesunde Pflanzen laufen schnell und in ausreichender Dichte auf (hier 300-600 Pflanzen m^{-2} , im Mittel 350). Die Keimpflanze bildet bald die ersten Laubblätter. Schon 14 Tage¹¹² nach dem Auflaufen ist ein stark verzweigtes Wurzelsystem mit ersten Wurzelknöllchen, das in seiner Längenausdehnung den oberirdischen Spross um das 2-3-fache übertrifft, vorhanden. Auf reinen Lockersandflächen bleiben die Pflanzen dagegen von Anfang an im Wachstum zurück und zeigen N-Mangelsymptome. Eine zufriedenstellende Bodenbedeckung wird dort trotz z. T. ausreichender Pflanzenanzahl nicht erreicht (Abb. 26, Abb. 27 A).

¹¹² Die genaue Zeitspanne ist mit Sicherheit von der aktuellen Witterung abhängig.



Abb. 26: unterschiedliche Jungpflanzenentwicklung auf einem Schlag, AZ < 20 (links N-Mangelsymptome auf reinem Sand; rechts gesunde Pflanzen)

Keimpflanzen sind in der Lage, geringe Sandverwehungen mit einer Streckung des Hypokotyls zu durchwachsen. Im Versuch betrug die noch überwachsene Verwehungshöhe bis zu 5 cm. Die betroffenen Keimpflanzen wiesen im Vergleich zu normal entwickelten Individuen kleinere Laubblätter und nur kurze Seitenwurzeln auf (Abb. 27).

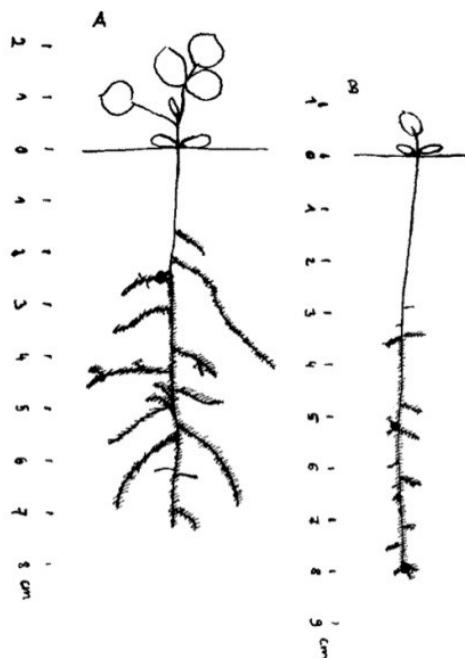


Abb. 27: Einfluss einer Sandüberwehung im Keimpflanzenstadium auf die Länge des Hypokotyls, die Blatt- und Wurzelentwicklung, A - normale Pflanze, B - nach Überwehung, (Ramin, 06.05.2009, 27 Tage nach der Aussaat)

Die weitere Bestandesentwicklung verlief in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen der Einzelpflanzen unterschiedlich. Eine gleiche Beobachtung wurde schon von SIMON & BRÜNING (1964) und LOIDE (2010) berichtet. Da Verwehungen im Frühjahr auf Sandböden häufiger auftreten, ist diese Eigenschaft für den Anbau auf solchen Standorten wichtig. Zusätzlich kann einer Verwehung mit einer im Winter gesäten Deckfrucht vorgebeugt werden.

Von den 2009 verwendeten Herkunftsnur der als zweijährig identifizierte Gelbe Steinklee. Die Herkunft NSL erwies sich auch an diesem Standort zu 100 % als einjährige Form. Die 2010 und 2012 ausgesäte Herkunft UKR ist zweijährig und überwinterte auch 2010/ 11 bei starkem Kahlfröst (< -20 °C) gut. Dies bestätigt die in Gülzow gewonnenen Erkenntnisse zur Ein- und Zweijährigkeit der Herkunftn (Tab. 20).

2009 konnte im Praxisversuch ein für den Standort sehr ansprechender Ertrag erzielt werden (Tab. 31). Aufgrund der Witterungsverhältnisse im Jahr 2010 verzögerte sich die zu Blühbeginn geplante Ernte im zweiten Vegetationsjahr. Deshalb wurde erst am 28.06.2010 (zum Zeitpunkt der Vollblüte) ein erster Schnitt durchgeführt. Obwohl eine hohe Schnitfführung, die für einen Wiederaustrieb in der gleichen Vegetationsperiode unabdingbar ist, gewährleistet wurde, musste unerwartet das Absterben des Gesamtbestandes festgestellt werden. Der erste Schnitt im zweiten Vegetationsjahr der Aussaat 2010 wurde deshalb schon im Knospenstadium am 30.05.2011 durchgeführt. Diesmal führte die Ernte nicht zum Absterben des Bestandes. Gleiche Auswirkungen von Schnittmaßnahmen in Abhängigkeit von der generativen Entwicklung der Pflanzen wurden auch in Gülzow beobachtet und sind vereinzelt auch in der Literatur beschrieben (s. Abschnitt 5.1.1). Trotzdem war die Biomassebildung der Aussaat 2010 nicht zufriedenstellend. Nur auf Teilflächen wuchs überhaupt eine nennenswerte Pflanzenmasse nach. Bis Ende September waren auf diesen Flächen nur maximal 20 dt TM ha⁻¹ festzustellen. Eine Wurzeluntersuchung im Juli mit Wiederholung im September 2011 durch das LALLF Rostock ergab einen starken Befall mit *Rhizoctonia* sp.

Tab. 31: Ergebnisse der Ertragsschätzung im Praxisversuch

Aussaat	1. Jahr, Herbst	2. Jahr, 1. Schnitt	2. Jahr, 2. Schnitt
2009	67 dt TM ha ⁻¹	50 dt TM ha ⁻¹	-
2010	43 dt TM ha ⁻¹	43 dt TM ha ⁻¹	(20 dt TM ha ⁻¹)

Während die wenigen Wachstumsdepressionen der Aussaat 2009 mit Bodenunterschieden erklärt werden können (Der Steinklee wuchs nur auf reinen Lockersandflächen schlecht.), muss für das negative Ergebnis der Aussaat 2010 ein weiterer die N-Versorgung störender Faktor dazugekommen sein. Da die Niederschlagsverteilung im Frühjahr nach der Steinkleeaussaat eher 2009 ungünstiger als 2010 einzuschätzen ist, kann die Wasserversorgung als Ursache ausgeschlossen werden. 2010 und 2011 waren

aber anders als 2009 sehr viele Käfer und Larven der Untergattung *Sitona* s. str. im Bestand zu finden. Eine stichprobenartig durchgeführte Zählung¹¹³ ergab Ende Mai 2011 eine mittlere Anzahl von 10 Larven in einem Bodenblock von ca. 20 x 15 x 30 cm. Bezogen auf die Bodenoberfläche wurden im Durchschnitt also mehr als 300 Individuen je m² gefunden. In der Tendenz waren unter Pflanzen ohne augenscheinliche Wuchsdepressionen weniger und nur kleinere Larven zu finden. Dies deutet auf einen geringeren und späteren Zuflug der Elterngeneration auf diese Teilflächen. Dadurch würde der Fraßschaden durch die Adulten im Vorjahr und die Larven geringer ausgefallen sein als bei höheren Käferdichten und eine Erklärung für die unterschiedliche Pflanzenentwicklung bieten. Es ist davon auszugehen, dass die Fraßschäden der Larven den Befall mit *Rhizoctonia* sp. zumindest begünstigt haben und diese als Sekundärerkrankung zusätzlichen Schaden verursachte.

Um die o. g. Vermutung zu unterstützen, wurden 2012 noch einmal zwei kleinere Flächen – eine wieder in direkter Nachbarschaft des Altbestandes und die zweite ca. 10 km entfernt – auf Sandboden angesät. Wie erwartet, entwickelte sich der entfernt angesäte Bestand besser als der in der Nähe der Aussaat von 2010 liegende. Auch die Anzahl der Fraßkerben durch *Sitona* spp. zeigte den Zusammenhang zu dieser Entfernung. Allerdings wurden auch an den 10 km entfernten Pflanzen schon im Ansaatjahr Fraßkerben und *Sitona*-Käfer gefunden.

Die Beobachtungen aus dem Praxisversuch zeigen, dass auch in Regionen, in denen langjährig kein Steinklee angebaut wurde, *Sitona* spp. vorkommen. Steinkleebestände werden schnell besiedelt und schon nach einem Jahr können sich Schadschwellen überschreitende Populationsdichten aufbauen. Es ist wahrscheinlich, dass die Pflanzen auf Sandstandorten die Fraßschäden schlechter kompensieren als auf besseren Böden, was das Ausmaß der hier festgestellten Wachstumsdepressionen erklärt. Alle vorbeugenden Maßnahmen wie Anbaupausen und Einhaltung eines räumlichen Abstandes zwischen den Schlägen sind hier deshalb besonders wichtig.

Die Erfahrungen aus dem Produktionsexperiment belegen, dass alle Arbeitsgänge im Steinkleeanbau mit der üblicherweise in Betrieben vorhandenen Landtechnik durchgeführt werden können. Bei der Düngung, Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung bestehen keine Unterschiede zu den Verfahren für andere Kleearten. Auf Sandboden hat sich ein Walzengang nach der Aussaat zur Rückverfestigung als günstig erwiesen. Die bei Ernteterminen während der Vegetationsperiode einzuhaltende hohe Schnitthöhe kann auch mit traditionellen Mähwerken eingehalten werden. Pendelmähwerke, die eine Bo-

¹¹³ Hierfür wurden die Larven ohne Hilfsmittel aus dem Boden ausgelesen. Eine Siebung des Bodens erfolgte nicht. Bei dieser Zählung wurden deshalb sicher nicht alle Larven und die jüngsten Larvenstadien überhaupt nicht erfasst. Die Stichprobe umfasst 18 Einzelproben.

denführung benötigen, sind aber eher ungeeignet. Für Ernteschnitte mit sehr großen Bestandeshöhen hat sich der Einsatz eines reihenunabhängigen Feldhäckslers als vorteilhaft erwiesen (Tab. 32). Crackerwalzen unterstützen dabei das Aufbrechen stärkerer Stängelabschnitte. Auch unter Praxisbedingungen verlief die Silierung der geernteten Biomasse bei Beachtung der bekannten Silierregeln unproblematisch (s. Abschnitt 4.7). Beim Einsatz des Substrates in der Biogasanlage zeigte sich, dass halmartige Biomassen mit verschiedener Anlagentechnik unterschiedlich gut verarbeitet werden. Hierbei ist Steinkleesilage ähnlich wie Grassilage einzuschätzen, so dass bei dafür anfälliger Technik eher als bei Maissilage auf das Vermeiden von Wicklungen geachtet werden muss. Kurze Häcksellängen und die gemeinsame Silierung (und Fütterung) mit Mais wirken dem Problem entgegen.

Tab. 32: Mögliche Erntetermine beim Steinklee: Schnittzeit, Stoppellänge, Technik

	einschnittig	zweischnittig
1. Jahr, 1. Schnitt	nach Anfang Oktober, kurze Stoppel, Feldhäcksler	Juli bis Mitte August, lange Stoppel, Mähwerk
1. Jahr, 2. Schnitt	-	nach Anfang Oktober, kurze Stoppel, Mähwerk
2. Jahr, 1. Schnitt	zur Vollblüte im Juli, kurze Stoppel, Feldhäcksler	Mai, lange Stoppel, Mähwerk
2. Jahr, 2. Schnitt	-	zur Vollblüte ab Mitte Juli, kurze Stoppel, Mähwerk o. Feldhäcksler

5.10 Substratqualität

Die Gehalte an wertgebenden Inhaltsstoffen in der Steinklee Biomasse zeigen erwartbare Abhängigkeiten von der Herkunft und dem Erntetermin (Tab. 33, Tab. 34, Tab. 35). Schätzwerte ohne Berücksichtigung des Entwicklungsstadiums sind zur Beschreibung der Biomassequalität ungeeignet. Für die Darstellung der Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium in Tab. 33 wurden Analysenergebnisse aus den hier vorgestellten Parzellenversuchen zusammengefasst.

Tab. 33: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees nach Frühjahrsblanksaat in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium¹¹⁴

	Herbst	Frühjahr	Spät- frühjahr	Früh- sommer	Sommer	Herbst
Vegetationsjahr	1.	2.	2.	2.	2.	2.
	Ende Sept.- Mitte Okt.	Anf.- Ende Mai	Mitte-Ende Mai	Ende Juni	Anf. Juli	Ende Aug.- Anf. Okt.
Stadium	vor Über- winterung	vor Knospen	Knospen	Blühbeginn	Vollblüte	nach Vollblüte
Messjahre [n]	5	2	2	1	2	3
Messwerte [n]	21	4	10	1	4	6
TS [% FM]	31 (17-36)	13 (13-14)	16 (12-18)	22 (-)	28 (27-29)	36 (30-40)
RA [g kg TM ⁻¹]	91 (39-162)	128 (100-147)	92 (76-111)	74 (-)	70 (66-76)	81 (55-91)
RP [g kg TM ⁻¹]	145 (81-220)	257 (234-283)	232 (186-268)	161 (-)	135 (125-153)	157 (125-212)
RFa [g kg TM ⁻¹]	333 (225-505)	181 (161-195)	245 (219-286)	327 (-)	368 (325-400)	395 (363-419)
RFe [g kg TM ⁻¹]	16 (7-25)	23 (19-27)	28 (22-34)	20 (-)	13 (9-19)	15 (9-23)
FoTS ¹¹⁵ [g kg TM ⁻¹]	627 (467-714)	742 (714-753)	718 (695-746)	655 (-)	613 (579-660)	570 (538-616)
Stadium ¹¹⁶	Vollblüte	vor Blüte	vor Blüte	Blühbeginn	Vollblüte	Vollblüte

Die Ergebnisse entsprechen in etwa den Angaben in der Futtermitteltabelle von NEHRING et al. (1970), Tab. 2, die demnach durchaus verwendbar sind. Abweichungen können sich aus der Nutzung anderer Herkünfte, aber auch aus anderen Standortverhältnissen ergeben. In den aktuellen Analysen lagen vor Blühbeginn die RP-Gehalte etwas über und die RFa-Gehalte unter den Tabellenwerten. Zur Vollblüte wurde ein leicht höherer Fasergehalt als angegeben ermittelt. In der Futtermitteltabelle sind nur die drei Entwicklungsstadien „vor Blüte“, „Beginn der Blüte“ und „Vollblüte“ beschrieben, da nur diese beim damals üblichen Anbauverfahren zur Futternutzung relevant waren. In

¹¹⁴ Ohne die artenreine Herkunft von *M. officinalis* „GELB“. Mittelwerte aller Messungen. Die Zahlen in den Klammern geben die Spannweite der Messwerte an.

¹¹⁵ Berechnung s. S. 56

¹¹⁶ Zur Berechnung des Methanbildungspotentials nach FRIEHE et al. (2010) zugeordnete Stadien zur Auswahl der Verdaulichkeitskennziffern

den hier vorgestellten Verfahren wurden Schnitte zu weiteren Terminen durchgeführt. Für die im Herbst des ersten Vegetationsjahres geerntete Biomasse besteht eine annähernde Übereinstimmung der Nährstoffgehalte mit denen des angegebenen Stadiums „Vollblüte“. Die zugehörigen Verdaulichkeitskennziffern werden deshalb in Abschnitt 5.12 zur Berechnung des theoretischen Methanbildungspotentials eingesetzt. Die jahresabhängigen Schwankungen der Inhaltsstoffgehalte sind im Herbst des Ansaatjahres im Vergleich zu den späteren Entwicklungsstadien jedoch höher. Die Biomasse aus dem Herbstschnitt des zweiten Vegetationsjahres ist mit der Zuordnung zum Stadium „Vollblüte“ zu positiv bewertet, da trotz stetiger Knospenneubildung mit der Samenreife die Biomassequalität abnimmt. Mangels Alternative müssen bekannte Verdaulichkeitsangaben trotzdem genutzt werden.

Ein- und zweijährige Formen können nur im Herbst des Ansaatjahres verglichen werden (Tab. 34). Die deutlichen Unterschiede erklären sich mit dem unterschiedlichen Entwicklungsstadium der Pflanzen. Die Einjährigen befinden sich zu diesem Zeitpunkt schon in der Samenreife, während bei den Zweijährigen noch das vegetative Stadium überwiegt. Anders als bei WILLARD (1926) liegen aber die Proteingehalte im Spross der Einjährigen nicht unter denen der Zweijährigen. Für eine Nutzung einjähriger Herkunft ist dennoch ein wesentlich früherer Termin, spätestens im Sommer zur Vollblüte günstiger einzuschätzen. Da keine Rücksicht auf die Überwinterungsfähigkeit der Pflanzen genommen werden muss, sollte zu einem früheren Termin ein ähnlicher Ertrag bei besserer Futterqualität erzielt werden.

Tab. 34: Inhaltsstoffe im Erntegut ein- und zweijähriger Herkunft im Herbst des ersten Vegetationsjahres nach Frühjahrsblanksaat¹¹⁴

Parameter	Einheit	Einjährige Herkunft	Zweijährige Herkunft
Messjahre	Anzahl	4	5
Messwerte	Anzahl	6	21
TS	% FM	35 (31-39)	31 (26-36)
RA	g kg TM ⁻¹	74 (55-92)	91 (39-162)
RP	g kg TM ⁻¹	151 (133-179)	145 (81-178)
RFa	g kg TM ⁻¹	378 (349-418)	333 (225-505)
RFc	g kg TM ⁻¹	15 (13-20)	16 (7-22)
FoTS	g kg TM ⁻¹	597 (568-628)	627 (467-714)
Stadium ¹¹⁶	-	Vollblüte	Vollblüte

Die Unterschiede zwischen zweijährigen Herkunft gleichen Entwicklungsstadiums sind dagegen geringer (Tab. 35, Tab. 36). Um den Einfluss von Standortunterschieden auszuschließen, können nur Herkunft aus demselben Versuch direkt miteinander verglichen werden. Auffällig ist die etwas niedrige Biomassequalität der cumarinarmen

Herkunft „GÜ“. Der Gelbe Steinklee reifte im zweiten Vegetationsjahr nach der Vollblüte ab, während der Weiße Steinklee bis zum letzten Schnitttermin neue Blütenknospen trieb. Auch der Blattfall war zu dem Zeitpunkt beim Gelben Steinklee fast vollständig. Dagegen behielt der Weiße Steinklee einen gewissen grünen Blattanteil. Zu einem großen Teil erklären sich die Qualitätsunterschiede zwischen der Herkunft „GELB“ (100 % *M. officinalis*) und den anderen zweijährigen Herkünften (0-50 % *M. officinalis*) aus den unterschiedlichen Anteilen der beiden verschieden schnell abreifenden Steinkleearten (vgl. Abschnitt 5.2.1). Die leicht höheren Rohfasergehalte der Pflanzen, die im Frühjahr gepflanzt wurden (Tab. 35), im Vergleich zu denen aus der Drillsaat (Tab. 36) begründen sich im größeren Einzelpflanzenabstand nach der Pflanzung. Der weitere Standraum begünstigte die Ausbildung kräftigerer Pflanzen mit dickeren Trieben.

Der Cumariningehalt im Erntegut konnte aufgrund der Laborkapazität nur stichprobenartig analysiert werden. Die festgestellten Mengen liegen zwischen 0,05 und 0,56 % TM. Dabei treten Unterschiede zwischen den Herkünften, dem Entwicklungsstadium und den Jahren auf (s. S. 88).

Tab. 35: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees im Herbst des zweiten Vegetationsjahres in Abhängigkeit von der Herkunft (Ergebnisse aus dem Herkunftsversuch mit Pflanzung)¹¹⁷

Parameter	Einheit	Herkunft		
		UKR	BIE	GÜ
Messjahre	Anzahl	3	3	3
Messwerte	Anzahl	3	3	3
TS	% FM	32 (26-35)	31 (29-32)	32 (29-34)
RA	g kg TM ⁻¹	87 (67-108)	72 (57-94)	62 (39-79)
RP	g kg TM ⁻¹	154 (153-156)	134 (122-151)	117 (81-142)
RFa	g kg TM ⁻¹	328 (232-388)	354 (266-400)	399 (295-505)
RFe	g kg TM ⁻¹	17 (11-21)	15 (11-19)	15 (7-19)
FoTS	g kg TM ⁻¹	637 (575-714)	623 (585-696)	577 (467-683)
Stadium ¹¹⁶	-	Vollblüte	Vollblüte	Vollblüte

¹¹⁷ Mittelwerte aller Messungen. Die Zahlen in den Klammern geben die Spannweite der Messwerte an.

Tab. 36: Inhaltsstoffe im Erntegut zweijährigen Steinklees in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin (Ergebnisse aus dem Herkunftsversuch nach Drillsaat)¹¹⁷

	1. Vegetationsjahr Herbst			2. Vegetationsjahr Knospenstadium			2. Vegetationsjahr nach Vollblüte		
Herkunft	UKR	KRA	GELB	UKR	KRA	GELB	UKR	KRA	GELB
Messjahre [n]	3	3	3	2	2	2	1	1	1
Messung [n]	3	3	3	2	2	2	1	1	1
TS [% FM]	29 (26-32)	31 (27-36)	30 (28-32)	16 (14-18)	15 (13-18)	16 (14-19)	39	38	43
RA [g kg TM ⁻¹]	106 (83-149)	91 (72-114)	112 (86-152)	95 (87-102)	99 (87-111)	92 (86-97)	87	84	77
RP [g kg TM ⁻¹]	150 (134-162)	148 (133-178)	159 (131-203)	246 (226-265)	248 (227-268)	259 (237-281)	145	138	119
RFa [g kg TM ⁻¹]	355 (276-409)	325 (308-356)	302 (261-377)	224 (222-226)	224 (219-229)	212 (207-217)	388	419	446
RFe [g kg TM ⁻¹]	16 (14-18)	16 (15-19)	16 (15-19)	27 (26-27)	27 (25-28)	27 (23-31)	15	14	12
FoTS [g kg TM ⁻¹]	589 (551-632)	640 (625-659)	641 (587-692)	734 (728-740)	729 (713-746)	747 (737-757)	573	538	510
Stadium ¹¹⁶	Voll- blüte	Voll- blüte	Voll- blüte	vor Blüte	vor Blüte	vor Blüte	Voll- blüte	Voll- blüte	Voll- blüte

5.11 Silierversuche

JÄNICKE (2006) gibt als Orientierungswert zum Ausgangsmaterial für gute Grassilagen TS-Werte von 30 - 40 % und RFa-Gehalte von 210 - 230 g kg⁻¹ TM an. Die TS-Gehalte liegen nur für die Ausgangssubstrate **SK 3** und **M 1** im angestrebten Bereich. Die RFa-Gehalte der Ausgangssubstrate **SK 2** und **SK 3** überschreiten den Optimalbereich. Grünfutter lässt sich gut silieren, wenn es ausreichend vergärbare Kohlenhydrate (> 80 g Zucker kg⁻¹ TM) und einen hohen Vergärbarkeitskoeffizienten (VK > 45) aufweist. Hohe Eiweiß- und Aschegehalte vergrößern die Pufferkapazität und verringern damit die Vergärbarkeit. Leguminosen wie Steinklee sind von Natur aus kohlenhydratarm und proteinreich. Damit ist das Problem für eine beabsichtigte Silierung von Steinklee benannt. Die gemessene Pufferkapazität als eine Kennziffer der Silierbarkeit liegt analog zum Rohproteingehalt ungefähr doppelt so hoch wie der Vergleichswert bei Mais. Steinklee lässt sich mit diesen Werten erwartungsgemäß den mittelschwer bis schwer silierbaren Pflanzenarten zuordnen. Es wird deshalb angenommen, dass zur Her-

stellung guter Silagen aus Steinklee, gleich welchen Entwicklungsstadiums, zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden müssen (Tab. 37).

Tab. 37: Charakterisierung der Erntesubstrate

Parameter	Einheit	SK 1	SK 2	SK 3	M 1
Herkunft		"NSL"	"NSL"	"NSL"	Silomais
Erntedatum		19.10.09	19.10.09	19.10.09	19.10.09
Entwicklungsstadium		Knospenstadium	Vollblüte	beginnende Samenreife	
TS	%	19,5	23,7	31,6	34,3
RA	g kg ⁻¹ TM	106	84	87	41
RP	g kg ⁻¹ TM	241	200	142	79
RFa	g kg ⁻¹ TM	215	243	383	218
RFc	g kg ⁻¹ TM	27	24	17	22
Zucker	g kg ⁻¹ TM	64	84	23	128
Stärke	g kg ⁻¹ TM	20	31	37	181
PK	g MS kg ⁻¹ TM	72	69	72	32 ¹¹⁸
VK	zur Ernte	27	33	34	66

Um die Silierbarkeit der Substrate **SK 1** und **SK 2** zu erhöhen, wurden sie über ein bzw. drei Tage angewelkt. Eine andere Möglichkeit zur Verbesserung der Silierbarkeit ist die Mischsilierung mit zuckerreichem Material, wie z. B. hier im Versuch mit Silomais durchgeführt. Diese Variante ist wegen des gleichen Erntezeitraumes beider Grünfütterarten praxisrelevant. Im Laborversuch wurden jeweils ein Teil (bezogen auf die FM) gehäckselter Steinklee (von **SK 3** erntefrisch und von **SK 2** und **SK 1** angewelkt) und zwei Teile erntefrischer Silomaishäcksel sorgfältig gemischt. Nach KALZENDORF (2006), Tabelle der Mischungsverhältnisse, könnte auch noch ein Verhältnis von bis zu 2 : 1 (Steinklee : Silomais) zu einem guten Ergebnis führen. Voraussetzung dafür ist eine „weitgehende homogene Vermischung der Futterkomponenten“, anderenfalls muss der Anteil der Komponente mit dem geringeren VK reduziert werden. Die unter Praxisbedingungen dabei unvermeidbare Ungenauigkeit beim Mischvorgang sollte durch einen höheren Maisanteil ausgeglichen werden. Als dritte Strategie sollte geprüft werden, ob Silierzusätze mit Milchsäurebakterien geeignet sind, die Steinkleesilierung positiv zu beeinflussen. Mit den zugefügten MSB wird der vorhandene Zucker besonders schnell und verlustarm zu Milchsäure umgesetzt. NUßBAUM (2007) konnte mit dem Einsatz von homofermentativen MSB bei der Silierung angewelkter Luzerne den pH-Wert um 0,2 Einheiten senken. Heterofermentative MSB sind zur Leguminosensilierung weniger

¹¹⁸ Tabellenwert (DLG 2006), alles andere sind Messwerte

geeignet, da sie mehr von dem ohnehin wenig vorhandenen Zucker verbrauchen. Zum Vergleich der Wirkungsweise wurden im Laborversuch zwei verschiedene Siliermittel mit ausschließlich homofermentativen und eines mit einer Mischung aus homo- und heterofermentativen MSB eingesetzt. Eine weitere Strategie, die hier nicht untersucht wurde, wäre der Zusatz von chemischen Siliermitteln mit direktem Einfluss auf den pH-Wert und der Hemmung von Gärschädlingen, wie sie von Weißbach für mittelschwer und schwer vergärbare Klee- und Luzernesubstrate empfohlen wird (WEIßBACH 2005). Die einzelnen Versuchsvarianten sind in Tab. 38 aufgeführt. Jede Variante wurde in zwei Wiederholungen (1. und 2. Silo) geprüft.

Tab. 38: Beschreibung der Siliervarianten im ersten Silierversuch

Varianten	Ernte-substrate	Anwelk-dauer (nur SK)	Anteile M : SK	Milchsäurebakterien
Einheit		d	% FM	
SK 1 (3d)	SK 1	3	0 : 100	-
SK 3	SK 3	-	0 : 100	-
SK 1 (1d)+M 1	SK 1+M 1	1	67 : 33	-
SK 2 (1d)+M 1	SK 2+M 1	1	67 : 33	-
SK 3 + M 1	SK 3	-	67 : 33	-
SK 1 (3d)+MSB _{hor}	SK 1	3	0 : 100	homofermentative ¹¹⁹
SK 3 + MSB _{hor}	SK 3	-	0 : 100	homofermentative ¹¹⁹
SK 3 + MSB _{hos}	SK 3	-	0 : 100	homofermentative ¹²⁰
SK 3 + MSB _{ho/he}	SK 3	-	0 : 100	homo- u. heterofermentative ¹²⁰

Am Vergärbarkeitskoeffizienten (VK > 45) der Substrate zu Silierbeginn ist ablesbar, dass in allen Substratmischungen mit Mais ausreichend vergärbare Material für die Milchsäuregärung vorhanden war und damit ein guter Silierverlauf erwartet werden konnte. Die reinen Steinkleesubstrate erreichten auch nach dem Anwelken nicht den angestrebten Wert. Ein stärkeres Anwelken war aufgrund der Witterungsbedingungen Mitte Oktober nicht möglich (Tab. 39).

¹¹⁹ Proferm, AGRAVIS Raiffeisen AG

¹²⁰ Silasil Energy G, Schaumann

Tab. 39: Charakterisierung der Substrate zu Silierbeginn

Varianten	TS Siliergut	Z ¹²¹	PK ¹²¹	VK ¹²¹
Einheit	%	g kg ⁻¹ TM	g MS kg ⁻¹ TM	
SK 1 (3d)	28,4	64	72	36
SK 3	31,6	23	72	34
SK 1 (1d) + M 1	31,9	108	42	52
SK 2 (1d) + M 1	33,5	111	43	54
SK 3 + M 1	33,4	95	44	50
SK 1 (3d) + MSB _{hor}	28,4	64	72	36
SK 3 + MSB _{hor}	31,2	23	72	34
SK 3 + MSB _{hos}	31,4	23	72	34
SK 3 + MSB _{ho/he}	32,1	23	72	35

Die Gärqualität kann anhand optischer, olfaktorischer und taktiler Kriterien ohne Hilfsmittel nach der Anleitung zur Grobfutterbewertung ohne Berücksichtigung des pH-Wertes (Sinnenprüfung) (DLG 1999) beurteilt werden. Drei Silagen wiesen leichten Schimmelbefall auf, der auf einen Luftertritt während der Silierung hindeutet. Diese Silagen erhielten die Note III und wurden aussortiert. Die Bewertung der anderen Silagen war trotz teilweise ungünstiger Ausgangsbedingungen unerwartet gut (Tab. 40).

Tab. 40: Bewertung der Gärqualität nach verschiedenen Methoden (DLG 1999; DLG 2006) und Gärverluste der Laborsilagen

Varianten	Note nach Sinnenprüfung (1. u. 2. Einzelsilo)	Note nach chemischer Analyse	GV 1. Silo	GV 2. Silo
Einheit			%	%
SK 1 (3d)	I, I	III	5,3	5,5
SK 3	I, I	II	6,8	6,9
SK 1 (1d) + M 1	I, I	I	5,1	5,4
SK 2 (1d) + M 1	I, III ¹²²	I	6,2	7,8
SK 3 + M 1	II, I	I	5,9	6,2
SK 1 (3d) + MSB _{hor}	I, I	III	5,1	5,4
SK 3 + MSB _{hor}	I, I	II	6,8	6,9
SK 3 + MSB _{hos}	I, III ¹²²	II	6,7	7,2
SK 3 + MSB _{ho/he}	I, III ¹²²	II	7,1	7,2

¹²¹ Die Werte für die Substratmischungen wurden anteilig aus den Werten der Ausgangssubstrate berechnet.

¹²² mit Schimmelbildung im Laborsilo

Eine exaktere Bestimmung der Gärqualität erfolgt auf Basis einer chemischen Untersuchung (DLG 2006). Obgleich die Notwendigkeit der Berücksichtigung von pH-Wert und NH_4^+ für die Silagebeurteilung von Kaiser (2006) hinterfragt wird, sind der pH-Wert, die Gärsäuren und der Anteil des Ammoniak-Stickstoffs am Gesamtstickstoff wichtige Kenngrößen. Zur chemischen Analyse der Gärparameter wurde jeweils ein Einzelsilo¹²³ je Variante ausgewählt. Die Ergebnisse bestätigen die grundlegende Aussage der einfachen Bewertung. Die beste Gärqualität wurde von den Mischsilagen, wie aufgrund des hohen VK erwartbar war, erreicht. Höhere Milchsäuregehalte, niedrigere Essigsäuregehalte und niedrigere pH-Werte kennzeichnen die bessere Silagequalität. Unerwartet gute Qualitäten zeigten aber die restlichen Varianten. Alle Silagen waren praktisch buttersäurefrei. Punktabzug gab es aufgrund erhöhter pH-Werte und Essigsäuregehalte. Der Einsatz von Milchsäurebakterien hatte keinen Effekt auf die Gärqualität der Silagen. Durch die geringen Zuckergehalte zu Silierbeginn fehlte vergärbare Material, ohne das die zugesetzten MSB nicht wirksam werden konnten (Tab. 40, Tab. 41).

Tab. 41: Gärsäuregehalte und Kennwerte der Gärqualität der Laborsilagen¹²⁴

Varianten	MS	ES	PS	IB	NB	IV	NV	NC	pH	TS _k	NH ₃ -N
Einheit	g kg ⁻¹ FM									%	% N _{ges}
SK 1 (3d)	13,4	11,2	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,8	27,7	5,0
SK 3	13,4	7,2	0,6	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,8	29,2	5,1
SK 1 (1d) + M 1	18,3	7,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	4,3	29,4	4,1
SK 2 (1d) + M 1	18,3	5,6	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,2	31,2	3,9
SK 3 + M 1	19,5	5,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	4,2	31,7	3,4
SK 1 (3d)+MSB _{hor}	11,7	10,1	0,4	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,8	26,9	4,7
SK 3 + MSB _{hor}	12,2	7,1	0,6	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,8	28,5	4,7
SK 3 + MSB _{hos}	14,0	8,5	0,7	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,8	29,5	5,2
SK 3 + MSB _{ho/he}	12,1	8,8	0,8	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,9	29,5	6,2

MS – Milchsäure, ES – Essigsäure, PS – Propionsäure, IB – i-Buttersäure, NB – n-Buttersäure, IV – i-Valeriansäure, NV – n-Valeriansäure, NC – n-Caprinsäure

Sekundäre Pflanzenstoffe können den Silierverlauf und den Gebrauchswert von Silagen beeinflussen (WEIBBACH 1998b). Steinklee enthält eine beachtliche Menge dieser Substanzen, von denen Cumarin das charakteristischste ist. Cumarin und Cumarinderivate sind hoch aktive Verbindungen, die in biologischen Prozessen hemmend wirken können. Pflanzenextrakte aus *M. officinalis* behinderten im Versuch z. B. das Mycelwachstum einiger Pilzarten (s. S. 15ff), (BLAESER et al. 2002). Während der aeroben Phase des Silierprozesses sind durch das Häckseln schon etliche Zellen zerstört, das meiste

¹²³ Die weiter untersuchte Silage wurde den in Tab. 40 als 1. Silo bezeichneten Gläsern entnommen.

¹²⁴ Die Alkoholgehalte für die exakte Korrektur der TS wurden analysiert, aber nicht dargestellt.

Pflanzengewebe stirbt aber erst während der folgenden Hauptgärphase ab. Erst dann werden alle Zellinhaltsstoffe freigesetzt und können den Gärprozess beeinflussen (PAHLOW 2006). Ein Effekt der sekundären Pflanzenstoffe des Steinklees auf den Silierprozess kann als Ursache der guten Gärqualität vermutet werden, ist bisher aber noch nicht untersucht worden. Ein zweiter Versuchsdurchlauf diente deshalb der Absicherung der o. g. Ergebnisse und der Erweiterung um Varianten mit noch ungünstigeren Silierbedingungen. Dazu wurden Silagen aus Erntegut mit sehr geringen TS-Gehalten angesetzt. Die Silierung von Galegabiomasse¹²⁵ lieferte den Vergleich von Siliereigenschaften einer Leguminose ohne Cumarinhalt.

Tab. 42: Charakterisierung der Erntesubstrate für den zweiten Silierversuch

Varianten	Einheit	SK 4	SK 5	SK 6	M 2	G 1	G 2
Substrat		Herkunft „UKR“			Silomais	<i>Galega orientalis</i>	
Erntedatum		04.10.10	19.05.11	30.05.12	04.10.10	19.10.09	22.05.12
Stadium		Herbst- aufwuchs 1. Jahr	frühes Knospen- stadium	Knos- pen- stadium.		Herbst- aufwuchs	Blüh- beginn
TS	%	27,1	11,9	17,8	31,3	30,5	12,9
RA	g kg ⁻¹ TM	93	100	87	42	n. b.	103
RP	g kg ⁻¹ TM	169	247	226	86	n. b.	295
RFa	g kg ⁻¹ TM	313	246	226	144	n. b.	267
RFc	g kg ⁻¹ TM	16	23	26	28	n. b.	25
Zucker	g kg ⁻¹ TM	54	52	n. b.	77	16	n. b.
Stärke	g kg ⁻¹ TM	35	19	n. b.	435	79	n. b.

Tab. 43: Beschreibung der Siliervarianten für den zweiten Gärversuch

Varianten	Substrate	Anwelkdauer (nur SK)	Anteile M: SK	TS Siliergut	VK ¹²⁶
Einheit		d	% FM	%	
SK 4	SK 4	-	0 : 100	27,1	33
SK 4 (1d)	SK 4	1 d	0 : 100	41,3	47
SK 5	SK 5	-	0 : 100	11,9	18
SK 6	SK 6	-	0 : 100	17,8	25
SK 4 + M 2	SK 4 + M 2	-	67 : 33	29,3	47
G 1	G1	-	0 : 100	30,5	n. b.
G 2	G2	-	0 : 100	12,9	n. b.

¹²⁵ Diese Leguminosenart wurde aufgrund ihrer leichten Beschaffbarkeit für den Autor ausgewählt.

¹²⁶ bei angenommener PK von 70 g MS kg⁻¹ TM (analog gemessener Werte des ersten Versuchsdurchlaufs, Tab. 37)

Vergleichbare Siliereigenschaften wie bei der verwandten Luzerne vorausgesetzt, weisen vor allem die Erntesubstrate **SK 5**, **SK 6** und **G 2** aus physiologisch jungen Pflanzen TS-Gehalte auf, die zum Verderb der Silage führen müssten. Der Siliererfolg des Ausgangsmaterials **SK 4** sollte nach den Erfahrungen mit Luzerne mindestens unsicher sein (WEIßBACH 1998b; NUßBAUM 2003; JÄNICKE 2004). Sowohl nach der Mischung mit Silomais als auch mit dem Anwelken auf einen TS-Gehalt von > 40 % konnte dagegen eine gute Gärqualität erwartet werden (Tab. 42, Tab. 43).

Tab. 44: Bewertung der Gärqualität nach verschiedenen Methoden (DLG 1999; DLG 2006), Gärverluste und Cumaringehalte der Silagen

Varianten	Note nach Sinnesprüfung (1. u. 2. Einzelsilo)	Note nach chemischer Analyse ¹²⁷	GV 1. Silo	GV 2. Silo	Cumarin- gehalt
Einheit			%	%	% TM
SK 4	I, I	I	3,8	4,9	n. b.
SK 4 (1d)	I, I	I	4,0	3,6	n. b.
SK 5	I, I	I	n. b.	n. b.	n. b.
SK 6 ,1. Silo	II, -	I	4,1	-	0,37
SK 6, 2. Silo	II, -	II	4,1	-	0,83
SK 4 + M 2	I, I	I	3,8	3,5	n. b.
G 1	I, II	II	5,4	5,5	n. b.
G 2, 1. Silo	III, -	V	8,7	-	0,01
G 2, 2. Silo	III, -	V	7,8	-	0,00

Genau wie im ersten Versuchsdurchlauf war die Gärqualität der erzeugten Steinkleesilagen besser als die Erwartung anhand der Ausgangswerte. Die schlechten Silagequalitäten der Variante **G 2** zeigen, dass bei sonst gleichen Versuchsbedingungen die Ursachen für die guten und sehr guten Qualitäten der reinen Steinkleesilagen in den Inhaltsstoffen dieser Pflanzenart liegen müssen. Die hohe anaerobe Stabilität der Silagen bei niedrigem TS-Gehalt und kleinem Vergärbarkeitskoeffizienten deutet auf die Wirkung eines unbekannten Hemmstoffs, wie sie vergleichbar für Hornklee (*Lotus corniculatus*) nachgewiesen wurde (WEIßBACH 1998b). (Tab. 44, Tab. 45) Bei Vergärbarkeitskoeffizienten unter 35 - wie in den Ausgangssubstraten **SK 5** und **SK 6** - würden auch eventuelle hohe Nitratgehalte (hier nicht bestimmt) allein nicht ausreichen, um Fehlgärungen auszuschließen (WEIßBACH 1998b). Interessant erscheint in diesem Zusammenhang, dass auch bei der Silierung anderer Leguminosen (*Medicago sativa* und *Trifolium pratense*) ähnliche, wenn auch deutliche geringere, Hemmstoffwirkungen auftreten (WEIß-

¹²⁷ Die Silage aus dem jeweils 1. Silo der Varianten wurde chemisch untersucht. Bei den Varianten SK 6 und G 2 wurden zur Erhöhung der Aussagensicherheit beide Silos analysiert und bewertet.

BACH 1998b). Luzerne enthält neben anderen sekundären Inhaltsstoffen wie der Steinklee auch Cumarin, allerdings in bedeutend geringeren Mengen. Ob tatsächlich das Cumarin oder seine Derivate oder aber andere Verbindungen die Fehlgärungen verhindern, lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungen dennoch nicht ableiten. Die Wirkrichtungen dieser Inhaltsstoffe des Steinklees sind offenbar selektiv, da sie, wie die hohen Milchsäuregehalte anzeigen, die Milchsäurebakterien nicht behindern (Tab. 41, Tab. 45). Durch die Silierung wird Cumarin nicht oder nur in geringem Umfang abgebaut, wie die hohen Werte in der Steinkleesilage zeigen (Tab. 44).

Tab. 45: Gärsäuregehalte und Kennwerte der Gärqualität der Silagen¹²⁴

Varianten	MS	ES	PS	IB	NB	IV	NV	NC	pH	TS _k	NH ₃ -N
	g kg ⁻¹ FM									%	% N _{ges}
SK 4	20,9	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	30,2	4,6
SK 4 (1d)	19,3	5,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	4,4	41,2	4,6
SK 5	22,1	3,6	0,5	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	15,5	2,5
SK 6, 1.Silo	23,6	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,4	19,2	3,5
SK 6, 2.Silo	13,5	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,7	20,0	1,4
SK 4 + M 2	18,3	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	4,0	32,0	3,8
G 1	17,4	7,0	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,7	29,0	3,7
G 2, 1.Silo	0,5	3,8	1,2	<0,1	7,8	<0,1	<0,1	<0,1	5,7	18,7	10,4
G 2, 2.Silo	0,4	3,5	0,5	<0,1	6,5	0,2	<0,1	0,4	5,9	17,6	14,9
MS – Milchsäure, ES – Essigsäure, PS – Propionsäure, IB – i-Buttersäure, NB – n-Buttersäure, IV – i-Valeriansäure, NV – n-Valeriansäure, NC – n-Caprinsäure											

Die Ziele für Biogassilagen sind ein geringer Stoffabbau während der Silierung, eine hohe Lagerungsstabilität und ein hohes Methanbildungspotential der Silagen. NUBBAUM (2003) empfiehlt zur Silageherstellung aus Leguminosen den kombinierten Einsatz von zuckerreichem Material und Milchsäurebakterien. Im Versuch konnte gezeigt werden, dass schon die Mischsilierung mit Mais bei einem Verhältnis von 2 : 1 (Frischmasse Mais : Steinklee) allein ausreichend ist, sehr gute lagerfähige Silage herzustellen. Als besonderer Vorteil dieser Strategie kann hervorgehoben werden, dass dadurch, wie mit anderen Leguminosen auch, die aerobe Stabilität der Silage deutlich verbessert wird (PAHLOW 2003; PAUL & WILKINS 2001). Für die Erntetermine Frühjahr/ Sommer ist auch eine Mischsilierung mit Getreideganzpflanzen vorstellbar, wobei der Steinklee über die Erhöhung der aeroben Stabilität der Gesamtsilage eine Schwierigkeit der GPS-Silierung ausgleichen kann. Die Zugabe von Milchsäurebakterien ohne Erhöhung des Anteils an vergärbaren Kohlenhydraten im Siliergut führte nicht zu einer Verbesserung im Vergleich zu den unbehandelten Varianten. Die in den Silagen festgestellten erhöhten Essigsäuregehalte sind typisch für Leguminosensilagen (WEIßBACH 1998b; PAHLOW 2003). Da die Silagen zur Biogasherstellung eingesetzt werden sollen, ist dieser Wert

allein nicht negativ zu bewerten. Essigsäure wird zu Methan abgebaut und ist damit in der Biogasproduktion nutzbar. Die Ammoniakgehalte und Gärverluste aller Steinkleesi-lagen liegen in dem für gute Gärqualität üblichen Bereich $< 10 \% N_{ges}$ (WEIßBACH 1993), $< 8 \%$ (SPIEKERS 2006) und deuten auf geringen Substanzabbau während des Gärverlaufs. Es wurde nachgewiesen, dass spezielle sekundäre Inhaltsstoffe im Stein-kleesubstrat Fehlgärungen bei ungünstigen Silierbedingungen verhindern, ohne die Milchsäuregärung zu beeinträchtigen. Um Sickersaftbildung zu vermeiden, sollte in der Praxis nasses Pflanzenmaterial trotzdem angewelkt oder mit trockenerem Substrat ge-mischt werden. In allen Varianten zeigte sich eine gute Wiederholbarkeit der Ergebnis-se, wenn ein ausreichender Luftabschluss der Einzelsilos realisiert werden konnte. Da-mit konnte nachgewiesen werden, dass Steinklee als Ausgangssubstrat für den Silier-prozess geeignet ist.

5.12 Gärversuche

Eine Übersicht über die in den Gärversuchen eingesetzten Substrate bietet Tab. 46.

Tab. 46: Zusammensetzung und Benennung der Substratvarianten im kontinuierlichen Gärversuch

Fermenter	2010		2011		2012	
I	M10	Mais frisch	M11	Maissilage	M12 MS12	1. Maissilage 2. Mais-Steinklee-Silage
II	S10	Steinklee frisch	MS 11	Maissilage + Steinklee, frisch	MS12	Mais-Steinklee-Silage
III	S10	Steinklee frisch	MS 11	Maissilage + Steinklee, frisch	MSR12	Mais-Steinklee-Silage + Rindergülle

Im ersten Versuchsdurchlauf 2010 sollte die getrennte Vergärung von Mais und Stein-klee eine Aussage über eventuelle Besonderheiten im Prozessablauf beim Einsatz von Steinklee-biomasse aufzeigen. Dafür wurde Erntegut aus dem ersten (Frühjahrs-)Schnitt im zweiten Vegetationsjahr vor dem Knospenstadium genutzt. Die geringen TS- und Faser-gehalte sind bei diesem frühen Erntetermin zu erwarten (Tab. 47). Um vergleich-bare Gärbedingungen zu simulieren, sollten die Raumbelastung und Verweilzeit aller drei Fermenter in diesem Versuch auf einem gleichen Niveau gehalten werden. Dem-entsprechend beinhaltete das Beschickungsregime für Fermenter I sehr geringe Sub-stratzugaben (Abb. 28). Um trotzdem eine gleiche Verweilzeit wie bei der Steinklee-vergärung einzustellen, musste das Substrat mit der entsprechenden Menge destillierten Wassers ergänzt werden. Von der ersten bis zur vierten Woche wurde die Raumbelas-tung der drei Fermenter langsam erhöht, um in dieser Anfahrphase eine Anpassung der

Mikroorganismen an die Fütterung zu ermöglichen. Die pro Tag gebildete Methanmenge zeigt ein typisches dem Fütterungsregime entsprechendes wöchentliches Schwankungsmuster. Am ersten Fütterungstag der Woche nimmt die gebildete Methanmenge zu, während sie in Fütterungspausen abfällt. In der 5. Versuchswoche war eine Abnahme der Methanproduktion und des pH-Wertes im Fermenter I zu verzeichnen. Ab der 6. Woche wurde als Reaktion auf die offensichtliche Prozessstörung die Substratzugabe reduziert. Auch eine Pufferung mit Natriumhydrogencarbonat¹²⁸ nach der 9. Woche (2 x 70 g) und 14. Woche (2 x 25 g) führte nicht zu einer stabilen Erholung des Gärprozesses. Zu Versuchsende muss der Fermenter I als umgekippt bezeichnet werden. Um die Raumbelastung in diesem Versuch in beiden Varianten auf etwa gleichem Niveau zu halten, wurde die Substratzugabe der Fermenter II und III nach der 4. Versuchswoche nicht weiter erhöht (Abb. 28).

Mit der gemeinsamen Vergärung von Mais und Steinklee (im Verhältnis 2 : 1 bezogen auf die Frischmasse der Substrate) im Versuchsdurchlauf 2011 sollte der Biogasprozess einer Mischung simuliert werden, wie sie für den Einsatz in der Praxis empfohlen werden könnte (s. Abschnitt 5.11). Parallel dazu diente die Beschickung von Fermenter I mit reiner Maissilage wieder als Vergleichsvariante. Aus der Erfahrung des Gärversuches 2010 wurde dafür ein Maissubstrat mit niedrigem TS-Gehalt genutzt, um bei angestrebter gleicher Raumbelastung aller drei Fermenter auch die Frischmassezugaben auf einem ähnlichen Niveau zu halten. Die Steinkleebiomasse stammte diesmal von einem Herbstschnitt aus dem Ansaatjahr. Entsprechend sind die TS- und Fasergehalte höher als 2010 (Tab. 47). Ab der 6. Versuchswoche deuteten sich wieder Prozesshemmungen in Fermenter I an, weswegen eine Pufferung mit Natriumhydrogencarbonat¹²⁸ nach der 8. Woche (2 x 60 g) und wiederholt nach der 17. Woche (1 x 20 g) durchgeführt wurde. Gleichzeitig erfolgte eine Reduzierung der Substratzugabe. Auch die mit Mais und Steinklee gefütterten Fermenter II und III zeigten spätestens ab der 8. Versuchswoche Prozessstörungen. Ab der 9. Woche konnte die Substratzugabe für alle Fermenter auf eine tägliche Beschickung umgestellt werden. Die gleichmäßigere Substratzugabe, eine Reduzierung der Fütterung und eine Pufferung nach der 10. Woche mit 2 x 35 g Bicar® Z 0/50 führte in den Fermentern II und III zu einer Prozessstabilisierung, so dass anschließend die Raumbelastung langsam wieder erhöht wurde. Nach der 27. Versuchswoche musste dieser Versuchsdurchlauf, ohne eine maximale Raumbelastung erreicht zu haben, beendet werden (Abb. 29).

¹²⁸ Bicar® Z 0/50 entsprechend den Ergebnissen von BURGSTALER et al. (2010).

Tab. 47: Parameter der eingesetzten Substrate und Substratmischungen

Substrat	TS _k	oTS	FoTS	RA	RP	RFa	RFc	Cumaringehalt
Einheit	% FM	% TS _k	g kg ⁻¹ TM					% TM
M10	34,2	96	813	42	76	192	26	n. b.
S10	13,4	86	730	137	264	176	22	0,56
M11	20,3	90	676	98	125	278	26	n. b.
S11	27	91	651	93	169	313	16	0,28
MS11	23,8	91	711	93	135	247	27	0,12
M12	32,7	96	827	39	86	180	31	n. b.
S12	29,5	92	584	85	135	380	18	0,27
R12	10,8	78	366	268	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
MS12	31,9	93	735	66	97	250	28	0,05
MSR12	23,6	90	707	100	100	244	26	n. b.
zusätzlich zu den in Tab. 46 benannten Biomassen sind die Einzelsubstrate der Mischungen mit S11 = Steinklee, frisch im Jahr 2011; S12 = Steinklee, frisch im Jahr 2012; R12 = Rindergülle bezeichnet.								

Aus diesem Grund sollte im Durchlauf 2012 versucht werden, eine möglichst hohe Raumbelastung bei stabilem Gärprozess mit praxistauglichen Substratmischungen zu erreichen. Dazu kamen zu Versuchsbeginn drei verschiedene Substratmischungen zum Einsatz. Fermenter I wurde als Wiederholung der Vergleichsvariante mit reiner Maissilage gefüttert. Es war zu vermuten, dass dabei wie 2010 und 2011 Prozessstörungen auftreten. Diese Annahme bestätigte sich nach der 12. Versuchswoche. Trotz Einstellens der Fütterung erholte sich die Mikrobiologie nicht. Erst nach einem Austausch von insgesamt 3,5 l Fermenterinhalt mit Gärrest aus der o.g. Biogasanlage konnte ein Anstieg der Biogasbildung festgestellt werden. Nach einer Regenerationsphase wurde die Substratzufuhr auf die Mais-Steinklee-Mischung umgestellt. Von der Umstellung wurde eine Stabilisierung des Gärprozesses erwartet. Fermenter II erhielt in Wiederholung der Prüfvarianten von 2011 eine Mais-Steinklee-Mischung. Dafür wurde im vorhergehenden Herbst eine Silage aus zwei Teilen Mais und einem Teil Steinklee (bezogen auf die Frischmasse nach der Ernte) hergestellt. Der Steinklee stammt wieder von einem Ernteschnitt im Herbst vor der Überwinterung. Im Fermenter III sollte eine zweite praxistaugliche Substratmischung vergoren werden. Die Kofermentation von nachwachsenden Rohstoffen und Gülle bringt Vorteile im Gärprozess. Der Gärprozess verläuft stabiler und es ergibt sich in der Regel ein höherer spezifischer Gasertrag, da einseitige Nährstoffzusammensetzungen ausgeglichen werden und durch die höhere Pufferwirkung der Gülle die Umsetzungsraten des Kosubstrates steigen (DANIEL & VOIGT, 2008). Deshalb wurde hier die Mais-Steinklee-Silage mit 30 %¹²⁹ Rindergülle ergänzt (Abb. 30).

¹²⁹ bezogen auf die Frischmasse der zu fütternden Mischung

Vergärung von Mais

Die Vergärung von reinem Maissubstrat führte in jedem der drei Versuchsdurchläufe zu Prozessabstürzen (Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30, jeweils Fermenter I). 2010 wird dies durch die zu geringe Substratzugabe zumindest mitverursacht worden sein. In den Jahren 2011 und 2012 wurde die Fütterungsplanung so geändert, dass bei ähnlicher Raumbelastung aller Fermenter auf eine Wasserzugabe verzichtet werden konnte. Die danach aufgetretenen Störungen sind demnach auf das Substrat zurückzuführen.

Dass die Monovergärung von Mais vor allem aufgrund Spurenelementmangels im Fermenter häufig zu Beeinträchtigungen des Biogasprozesses führt, ist bekannt. Dieser Mangel löst durch Hemmung der Methanogenese eine Versäuerung aus, da Hydrolyse, Acido- und Acetogenese über gewisse Zeit weiter aktiv bleiben (LEBUHN & GRONAUER 2009; BLESSEN 2009; WEILAND & ABDOUN 2009; FNR 2010). Die mit der Weißbach-Methode errechneten Methanbildungspotentiale liegen in dem für reine Maissubstrate üblichen Bereich (KTBL 2010; BELAU 2012). Die tatsächlich erzielten Ausbeuten sind aufgrund der aufgetretenen Prozessstörungen nur eingeschränkt auswertbar, zeigen aber doch die gute Funktion der Laboranlage (Tab. 48, Tab. 49, Tab. 50).

Vergärung von Steinklee

In allen drei Versuchsdurchläufen zeigte sich, dass die Vergärung von Steinklee als Einzelsubstrat oder in einer Mischung mit Mais zu stabilen Fermentationsprozessen führt. 2010 konnten die Fermenter mit Steinkleefütterung sogar die relativ diskontinuierliche Substratzugabe anders als der Fermenter mit Maisfütterung gut verarbeiten (Abb. 28). Bei der Fütterung des Mischsubstrates MS11 traten anfangs wie bei M10, M11 und M12 Hemmungen auf, die aber nach Pufferung und durch Umstellung auf eine durchgängig 1x-tägliche Substratzugabe behoben wurden (Abb. 29, Fermenter II u. III). Nach der Fütterungsumstellung des Fermenters I auf ein Mais-Steinkleegemisch im Jahr 2012 konnten auch die Mikroorganismen, die bis dahin nicht an Steinklee angepasst waren, diesen ohne Schwierigkeiten verarbeiten (Abb. 30). Alle untersuchten Prozessparameter zeigten in den Versuchswiederholungen (Fermenter II und III im Jahr 2010; Fermenter II und III im Jahr 2011 und Fermenter II und z. T. I im Jahr 2012) einen parallelen Verlauf. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass in den Laborfermentern wiederholbare Prozessverläufe dargestellt wurden und die Ergebnisse verallgemeinert werden dürfen.

Eine Prozesshemmung durch sekundäre Pflanzenstoffe oder hohe NH_4^+ -Gehalte ließ sich durchgängig nicht erkennen. 2010 ging die Methanproduktion zwar in Fermenter III in der 12. Versuchswoche leicht zurück. Der gleich behandelte Fermenter II zeigte bis zum Versuchsende eine gleichmäßig hohe Methanbildung. Die Prozessparameter (NH_4^+ -Gehalte, FOS/ TAC-Werte, Abb. 35, Abb. 36) beider Fermenter unterscheiden sich zu dieser Zeit nicht und deuten nicht auf eine Prozesshemmung. Bei der Fütterung der Steinklee-Mais-Mischungen lassen sich die beobachteten Störungen immer auf un-

günstige Prozessbedingungen zurückführen. Der Rückgang der Methanproduktion und die beginnende Versäuerung in den Fermentern II und III 2011 nach der 6. Versuchswoche wurde durch die dargestellten Fütterungsschwankungen verursacht. 2012 war in den Fermentern II und III in der 16. Versuchswoche mit $> 4,5 \text{ g oTS l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ offenbar die für die eingesetzten Substrate in dieser Laboranlage maximale Raumbelastung erreicht. In jedem Fall konnte nach Veränderung der verursachenden Bedingungen mit dem gleichen Substrat ein stabiler Gärprozess fortgeführt werden (Abb. 38, Abb. 39, Abb. 41, Abb. 42).

Auch in einem von ENGLER (2011) durchgeführten Hemmstofftest mit dem Oberhausen-Rostock-Göttinger-Aktivitätstest¹³⁰ konnte keine Hemmwirkung festgestellt werden (s. S. 228). Die von ENGLER (2011) benannte höhere spezifische Methanausbeute der Luzerne gegenüber den Steinkleesubstraten ist wahrscheinlich auf das unterschiedliche physiologische Alter und damit die geringeren Fasergehalte der Luzerne zurückzuführen. Zwischen cumarinreichem und cumarinarmem Steinklee wurden keine Unterschiede gefunden.

In den Gärversuchen 2010-2012 war jedoch auffällig, dass der Abbaugrad der oTS im entnommenen Gärrest bei der Vergärung von Steinkleesubstraten immer unter dem nach reiner Maisvergärung liegt (Abb. 43). 2012 blieb der Unterschied allerdings sehr gering. Außerdem wurden in den Ausgärungsphasen der mit Mais gefütterten Fermenter höhere Methanausbeuten ermittelt als nach Steinkleefütterung. Die 2011 zu Versuchsende gemessenen CSB-Werte scheinen ebenfalls auf eine bessere Abbaubarkeit des Maissubstrates hinzuweisen. Der Unterschied der CSB-Werte nach der Ausgärungsphase 2012 kann allerdings nicht auf die Substrate zurückgeführt werden, da Fermenter I und II ab dem 141. Versuchstag gleichermaßen mit Mais-Steinklee-Silage beschickt wurden. Als Ursache müssen deshalb die länger zurückliegenden Fütterungsunterschiede bis zum 105. Versuchstag oder wahrscheinlicher die verschiedenen Herkünfte der Impfsubstrate zu Versuchsbeginn angenommen werden (s. S. 78). In der Summe deuten die Beobachtungen dennoch auf eine gewisse Hemmwirkung durch die Steinkleesubstrate hin, was sich aber während der Fütterungsphase nicht merkbar auswirkt.

Im Gegensatz zu den frischen Biomassen und den Steinkleesilagen konnten im Gärrest nach Steinkleevergärung keine nennenswerten Cumarinegehalte mehr festgestellt werden (Tab. 52). Um die Wirkung des Cumarins im Biogasprozess und seinen Abbau genauer beschreiben zu können, wären weitergehende Versuche mit diesem speziellen sekundären Pflanzenstoff notwendig. Für die Bewertung von cumarinreichen Steinkleesubstraten, die wie in den Gärversuchen bis zu 0,6 % TM Cumarin enthalten, ist die Beobachtung, dass weder akute Hemmwirkungen noch eine Hemmung aufgrund einer Stoffakkumulation auftreten, ausreichend.

¹³⁰ Methodenbeschreibung: ENGLER (2013)

Der von LINKE & MÄHNERT (2005) beschriebene Zusammenhang, dass bei höheren Raumbelastungen die Methanausbeute abnimmt, kann in den Gärversuchen 2011 und 2012 in den Fermentern II und III jeweils zum Ende der Versuchsdauer beobachtet werden. Mit der gegebenen Versuchsanlage und je nach der verwendeten Substratmischung ging ab einer Raumbelastung von 4-5 g oTM l⁻¹ d⁻¹ die erzielte Methanausbeute zurück. Dies bestätigt die o. g. optimale Raumbelastung von ca. 4,5 g oTM l⁻¹ d⁻¹ für die beschriebene Laboranlage und die geprüften Substrate (Abb. 32, Abb. 33).

Die Biogasqualität hängt von der Substratzusammensetzung und dem Prozessverlauf ab. Der Methangehalt im Biogas liegt nach einer Steinkleefütterung wenige Prozentpunkte über dem nach einer reinen Maisfütterung. Dies wird durch den höheren Proteingehalt des Substrates verursacht (Tab. 48, Tab. 49, Tab. 50).

Durch die Vergärung von proteinreichen Substraten entsteht im Fermenter H₂S, der bei höheren Konzentrationen zur Gärhemmung führt. Als kritisch werden Gehalte ab 0,1 g l⁻¹ (BLESSEN 2009) bzw. 0,05 g l⁻¹ (KTBL 2007; FNR 2010) angesehen, wobei eine Abhängigkeit zum pH-Wert besteht. 0,1 g H₂S l⁻¹ entsprechen dabei einem Anteil von 1 Vol.-% im Gas (BLESSEN 2009). Der Gehalt an Schwefelwasserstoff im Biogas lag in den Versuchen erwartungsgemäß bei der Vergärung des proteinreicheren Steinklees auf einem höheren Niveau als bei der Maisvergärung. Die gemeinsame Vergärung von Mais und Steinklee bewirkte im Vergleich zur Einzelvergärung von Steinklee eine deutliche Verringerung der H₂S-Gehalte im Biogas (Abb. 34, Abb. 37, Abb. 40). Konzentrationen, ab denen mit Hemmwirkungen zu rechnen ist, wurden in keinem der Gärversuche erreicht.

Die regelmäßigen wöchentlichen Schwankungen der Biogasqualität 2010 und in den ersten Wochen 2011 sind durch das 5-tägige Fütterungsregime und den dadurch beeinflussten Prozessverlauf verursacht. Eine beginnende Versäuerung wird u. a. durch ansteigende CO₂- und H₂S-Gehalte begleitet (KTBL 2007; BLESSEN 2009). In den Versuchen stiegen jeweils in der zweiten Wochenhälfte die CO₂- und H₂S-Gehalte und die FOS-Werte an und sanken in den Fütterungspausen wieder. Eine Verringerung des Fütterungsabstandes kann bei sonst gleichen Bedingungen den H₂S-Gehalt des Biogases verringern (KTBL 2010), was an der Gasqualität in den Versuchen nach der Fütterungsumstellung gut abzulesen ist. Auch die Schwankungen der CO₂-Gehalte wurden deutlich geringer. Prozessumstellungen führen aber auch bei täglicher Fütterung zu höheren H₂S-Gehalten. Im Versuch zeigt sich dies immer nach Erhöhung der Raumbelastung. (Abb. 34, Abb. 37, Abb. 40)

Durch den Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen entsteht Ammoniak. Es kann von den Bakterien als Stickstoffquelle genutzt werden. Zusammen mit Wasser wirkt Ammoniak als Puffer. Eine Prozesshemmung durch Ammoniak kann vor allem bei höheren pH-Werten und Temperaturen vorkommen, weil dadurch das Gleichgewicht zum toxisch wirkenden NH₃ verschoben wird. Die Ammoniumgehalte im Fermenter und Gärrest

liegen bei der Fermentation von Steinklee aufgrund der höheren Eiweißgehalte der Substrate über denen nach reiner Maisvergärung (Abb. 36, Abb. 39, Abb. 42). Bei der Fütterung von reinem Steinkleesubstrat wurden Werte um $3 \text{ g NH}_4^+ \text{-N kg}^{-1} \text{ FM}$ im Gärrest gemessen. In diesem Bereich können beginnende Hemmwirkungen auftreten. Es ist jedoch möglich, dass sich die Fermenterbiologie an noch höhere Konzentrationen anpasst (BLESSEN 2009; FNR 2010). Da bei einer gemeinsamen Vergärung von Mais und Steinklee die Eiweißgehalte im Mischsubstrat unter denen der Steinkleebiomasse liegen, waren die gemessenen niedrigeren NH_4^+ -Konzentrationen in den Gärversuchen 2011 und 2012 im Vergleich zur Monovergärung von Steinklee im Jahr 2010 erwartbar. Eine Akkumulation über die Versuchsdauer wurde in keinem Gärversuch beobachtet. An den weiteren Prozessparametern der Steinkleevergärung ist außerdem in keinem Jahr eine Prozesshemmung durch erhöhte Ammoniakkonzentrationen abzulesen. Da bei der Mischvergärung mit Mais die Ammoniakkonzentrationen im Gärrest immer unter den kritischen Bereichen blieben und eine Anreicherung nicht stattfand, dürfte auch im Praxismaßstab bei einem Steinkleeanteil bis 33 % eine Hemmung durch eine zu hohe Ammoniakkonzentration nicht auftreten.

Bei der reinen Steinkleevergärung 2010 stieg der pH-Wert in den Fermentern an (nicht dargestellt). Diese Erhöhung lässt sich mit dem höheren Proteingehalt des Substrates im Vergleich zum Mais erklären. Mit dem Proteinabbau wird Ammoniak gebildet, das mit Wasser zu Ammonium reagiert und den pH-Wert erhöht. Prozesshemmungen sind erst ab einem pH-Wert von 8 zu erwarten (FNR 2010). Dieser Wert wurde im Versuch nicht überschritten. Bei einer länger andauernden reinen Steinkleevergärung sind höhere Werte und daraus folgende negative Wirkungen nicht auszuschließen. Bei der gemeinsamen Vergärung mit Mais war dieser pH-Anstieg nicht mehr zu beobachten.

Proteine, die u. a. mit eiweißreichen Substraten eingetragen werden, spielen eine bedeutende Rolle bei der Schaumbildung im Biogasfermenter (MOELLER et al. 2010). Auch in den hier vorgestellten Gärversuchen trat bei einer Fütterung mit Steinklee eine verstärkte Schaumbildung auf, die aber mit einer angepassten Rührstrategie ausgeglichen werden konnte.

Die gemeinsame Vergärung der Steinklee-Mais-Silage mit Rindergülle führte im Versuch zu einer Stabilisierung des Gärprozesses. Entgegen der Erwartung wurden aber geringere Methanausbeuten als ohne Gülle erzielt. Dieser geringere Ausnutzungsgrad von nur 80 % des Methanbildungspotentials kann mit der kürzeren Verweilzeit aufgrund des niedrigeren oTS-Gehaltes dieser Substratmischung und auch der aufgrund der Versuchsfrage angestrebten höheren Raumbelastung in Fermenter III erklärt werden (Abb. 30, Abb. 33 jeweils Fermenter III, Abb. 43, Tab. 50).

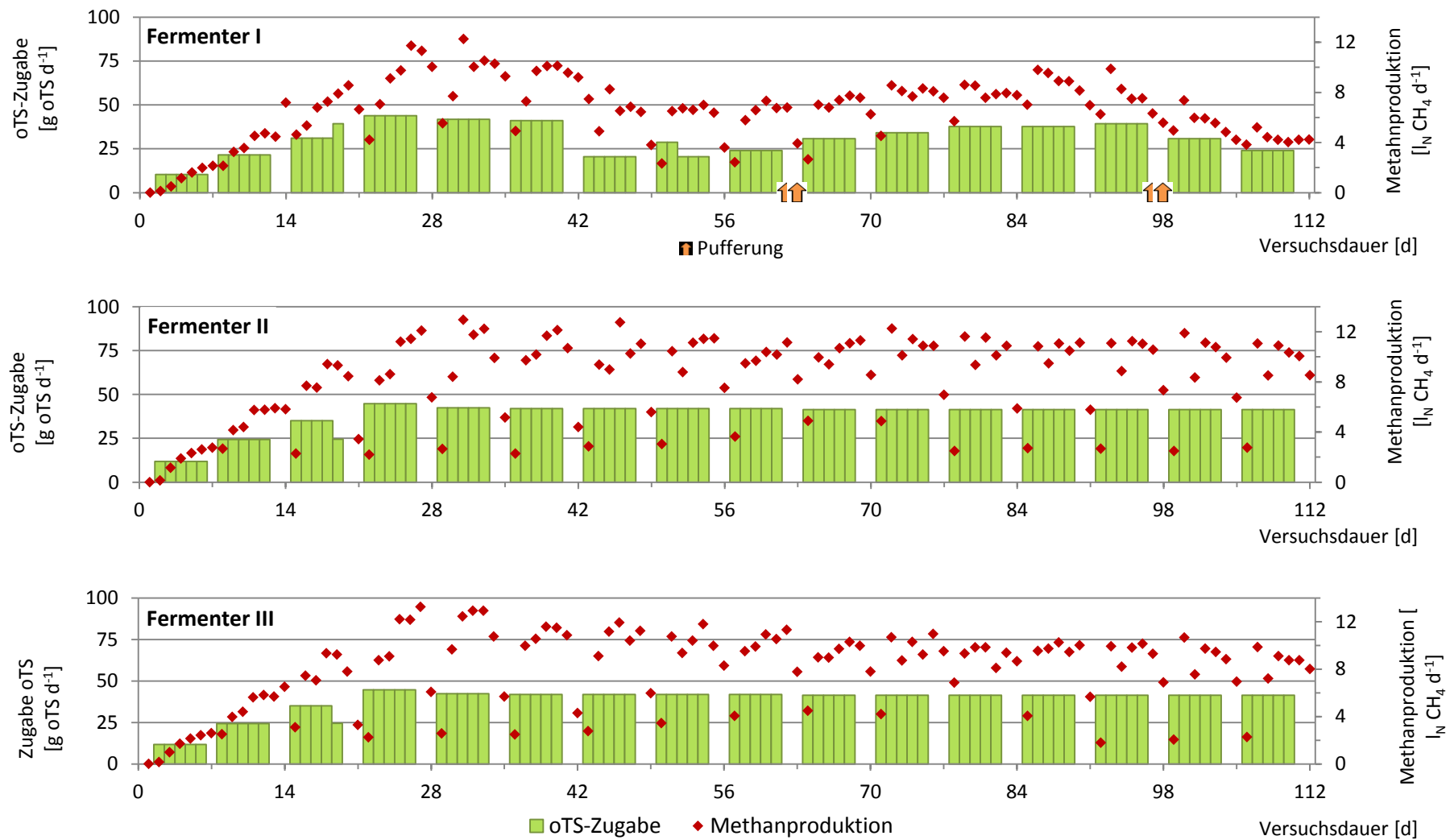


Abb. 28: Substratzugabe und Methanproduktion bei der Vergärung von Mais- und Steinkleesubstraten, Gärversuch 2010

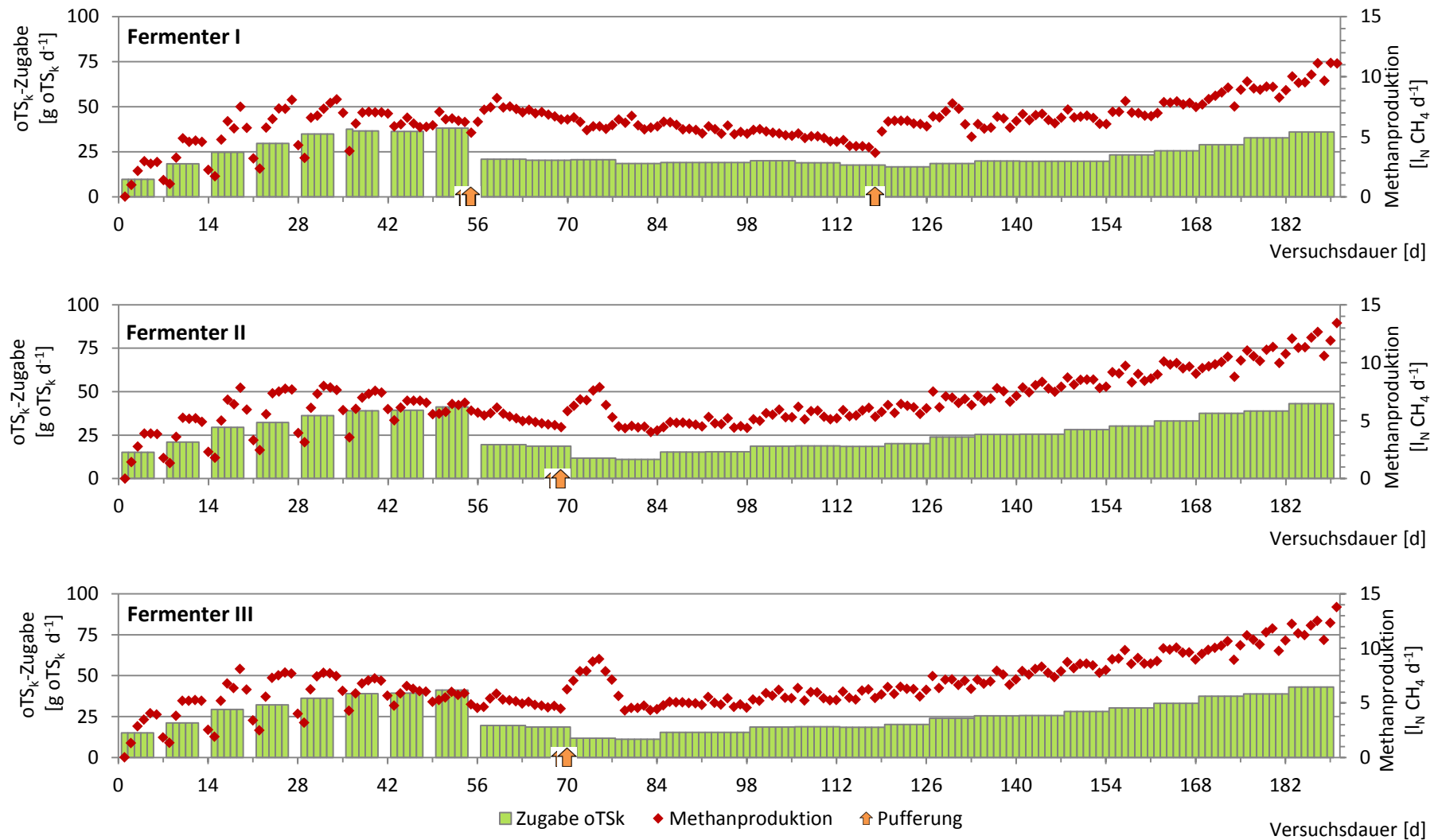


Abb. 29: Substratzugabe und Methanproduktion bei der Vergärung von Mais- und Steinkleesubstraten, Gärversuch 2011

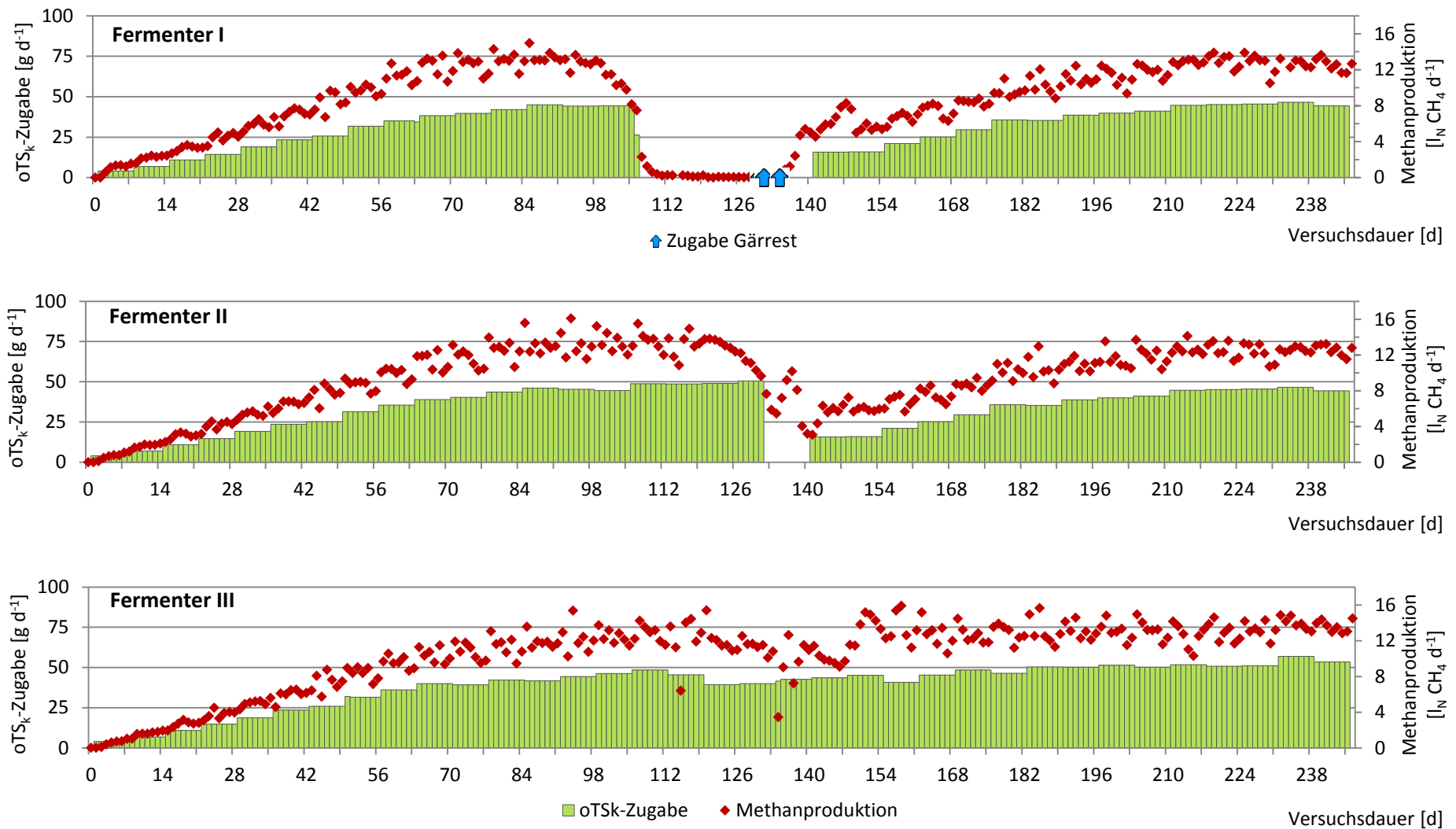


Abb. 30: Substratzugabe und Methanproduktion bei der Vergärung von Mais- und Steinkleesubstraten, Gärversuch 2012

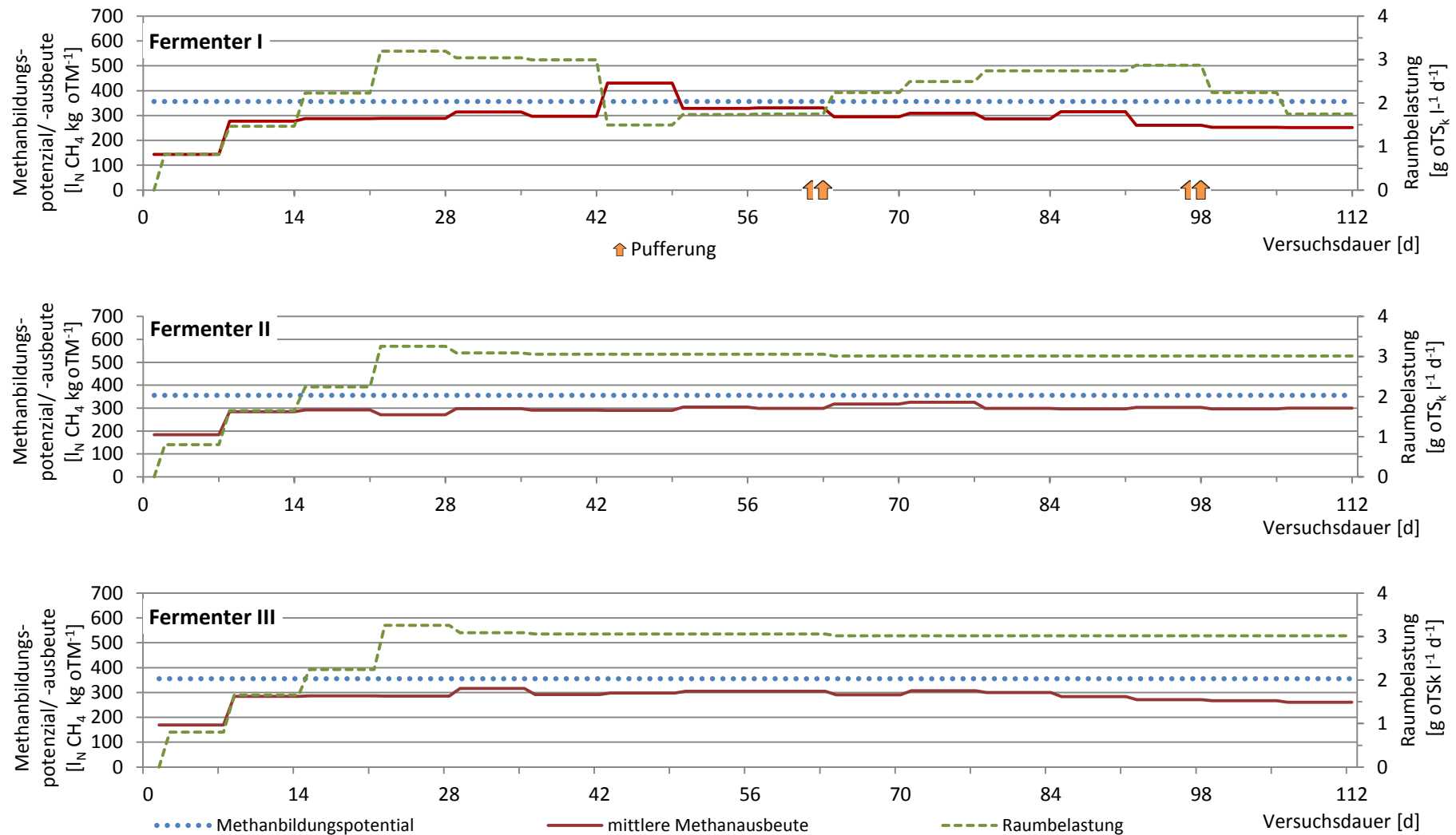


Abb. 31: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2010

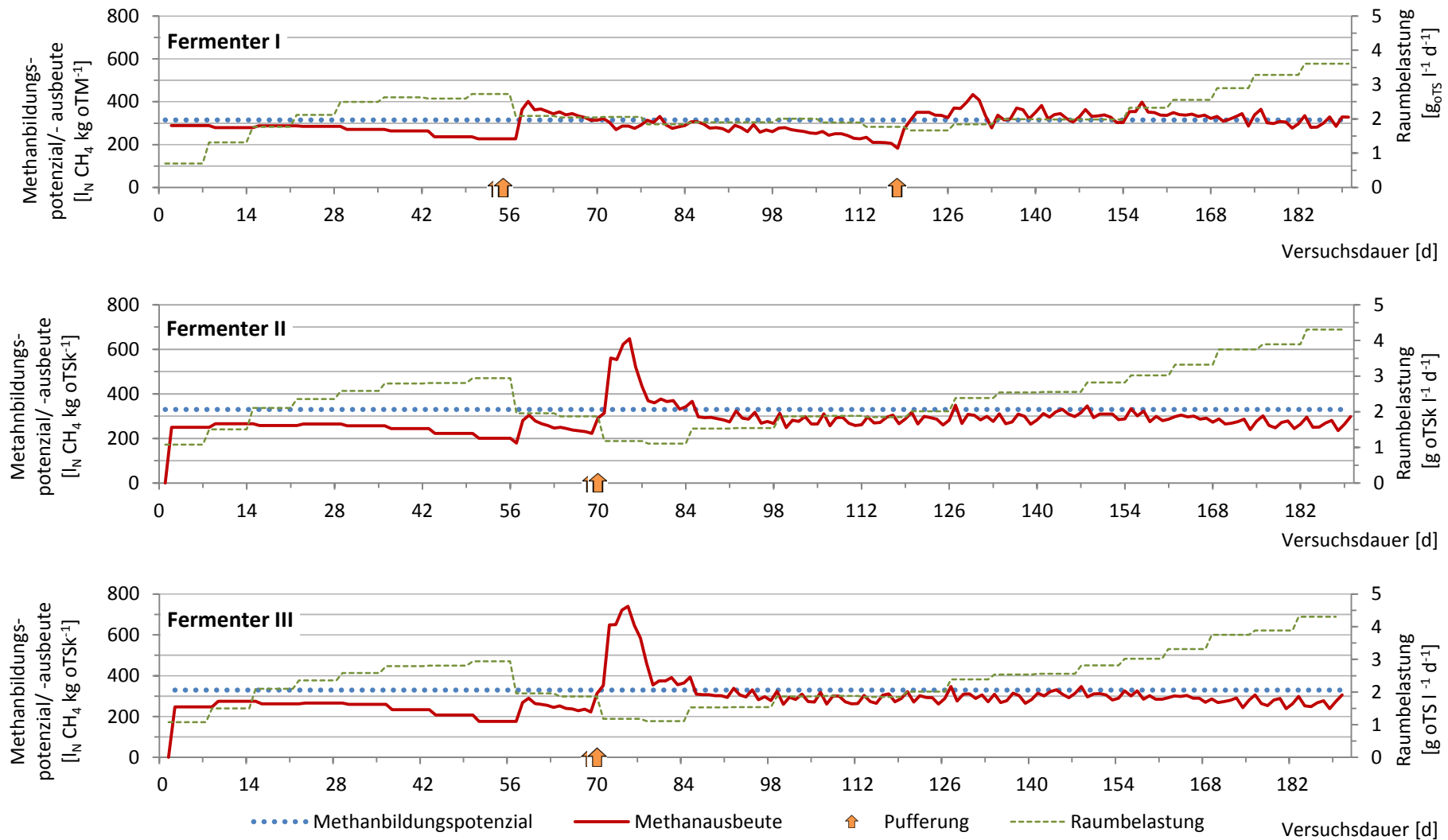


Abb. 32: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2011

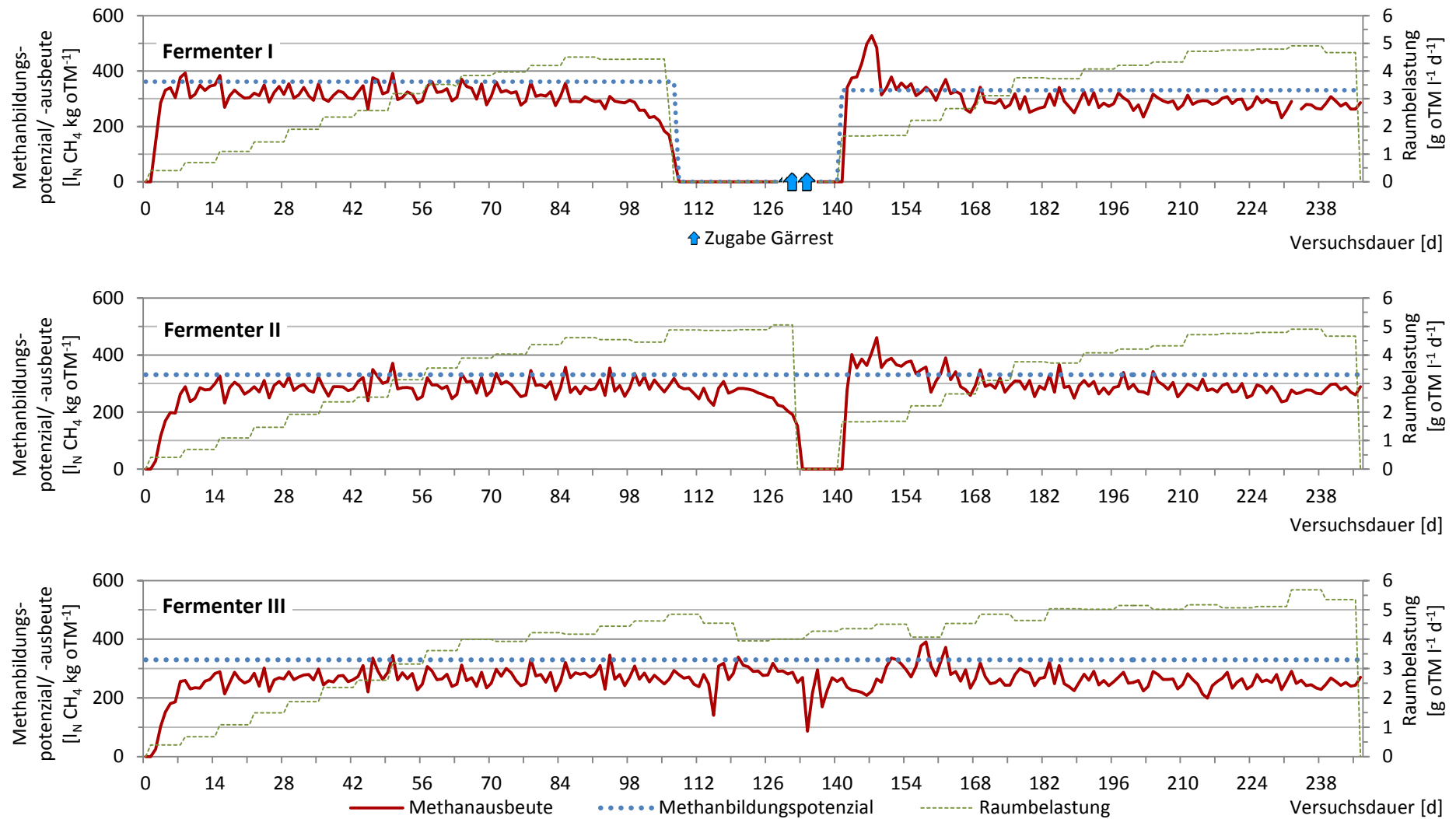


Abb. 33: Veränderung der Methanausbeute in Abhängigkeit von der Raumbelastung und dem Prozessverlauf, Gärversuch 2012

Anwendbarkeit der Schätzgleichungen zur Bestimmung des Methanbildungspotentials

Leguminosen haben allgemein ein geringeres spezifisches Methanpotential als Getreide, Mais und Gras (MENKE 2011; BELAU 2012). Dies spiegelt sich sowohl in den Schätzwerten zum Methanbildungspotential als auch in den tatsächlich gemessenen Methanausbeuten wieder (Tab. 48, Tab. 49, Tab. 50). Ebenfalls bekannt ist, dass mit jüngerem Pflanzenmaterial bei der Nutzung von Leguminosen oder Gräsern höhere spezifische Methanausbeuten erreicht werden als mit älteren faserreicheren Substraten. Dem entsprechen die vergleichsweise hohen Werte für das Substrat S10 (Tab. 48).

Tab. 48: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2010

Fermenter	Einheit	I	II	III
Substrat		M10	S10	S10
Potential d. Ausgangssubstrate Baserga-Methode	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	299	359	359
Potential d. Ausgangssubstrate Weißbach-Methode	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	357	356	356
stabile Phase	Versuchstage von-bis	21-38, 71-88	29-122	29-84
mittlere Ausbeute, stabile Phase	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	301	302	302
Ausbeute, Versuchsmittel	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	292	291	290
Ausnutzungsgrad, stabile Phase	% Weißbach-Potential	84	85	85
Ausnutzungsgrad, stabile Phase	% Baserga-Potential	100	84	84
Methangehalt, stabile Phase	%	49	52	52
Methangehalt, Versuchsmittel	%	48	52	52
Potential, Weißbach-Methode	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{ TM}$	342	307	307
Potential, Weißbach-Methode	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{ FM}$	117	41	41

Die beiden Methoden zur Schätzung des Methanbildungspotentials liefern teilweise stark abweichende Ergebnisse. Mit der Baserga-Methode wurden für Mais und den älteren Steinklee deutlich geringere Werte berechnet als mit der Weißbach-Methode. So ergeben sich rechnerisch nach der Baserga-Methode in stabilen Prozessphasen unrealistisch hohe Ausnutzungsgrade des Methanbildungspotentials. Die Ursache dafür ist die nach WEIßBACH (2009b) unzulässige Verwendung der Quotienten der scheinbaren Verdaulichkeit. Die Werte der Weißbach-Methode erscheinen im Vergleich zu den Versuchsergebnissen plausibel. So lag der Ausnutzungsgrad aller Substrate mit Steinklee in sämtlichen Versuchsdurchläufen zwischen 85 % und 91 % des Methanbildungspotentials (Weißbach-Methode) der eingesetzten Mischung. Diese hohen tatsächlich erzielten Methanausbeuten können als Beleg für die Zulässigkeit der verwendeten Schätzgleichungen Weißbachs für Steinklee dienen. Im Versuch lag das theoretische Methanbil-

dungspotential nach Weißbach für die Steinkleebiomassen S10 bei 356, für S11 bei 302 und für S12 bei 268 l_N CH₄ kg⁻¹ oTM. Bei Anwendung der in den Anbauversuchen bestimmten durchschnittlichen Substratqualitäten (vgl. Tab. 33) können mittlere Methanbildungspotentiale abgeleitet werden (Tab. 51). Die Werte liegen in der Größenordnung der für Luzerne und Klee angegebenen Richtwerte (KTBL 2010). Eine Differenzierung der Werte für Steinklee ist aufgrund der starken Abhängigkeit vom physiologischen Alter der Pflanzen sinnvoll.

Tab. 49: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2011

Fermenter	Einheit	I	II	III
Substrat		M11	MS11	MS11
Potential d. Ausgangssubstrate Baserga-Methode (additiv)	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	286	273	273
Potential d. Ausgangssubstrate Weißbach-Methode (additiv)	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	315	308	308
Potential der Mischung Baserga-Methode	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	286	-	-
Potential der Mischung Weißbach-Methode	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	315	329	329
stabile Phase	Versuchstage von-bis	71-95, 133-190	84-167	84-167
mittlere Ausbeute, stabile Phase	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	316	293	299
Ausbeute, Versuchsmittel	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTM	298	284	290
Ausnutzungsgrad, stabile Phase	% Weißbach-Potential	101	89	91
Ausnutzungsgrad, stabile Phase	% Baserga-Potential	111	-	-
Methangehalt, stabile Phase	%	51	50	50
Methangehalt, Versuchsmittel	%	50	50	50
Potential, Weißbach-Methode	m ³ CH ₄ t ⁻¹ TM	284	299	299
Potential, Weißbach-Methode	m ³ CH ₄ t ⁻¹ FM	58	71	71

Auch die Berechnung des Methanbildungspotentials (Weißbach-Methode) der Mischsubstrate nach den Schätzformeln für den Hauptbestandteil der Mischung (Mais) führte zu plausiblen Ergebnissen, die ebenfalls durch die Versuchsergebnisse bestätigt wurden. Wie erwartet, liegen die durch Addition der Einzelsubstratwerte berechneten Methanbildungspotentiale etwas unter denen der durch die Schätzung der Mischung bestimmten. Die Unterschiede sind jedoch gering und erklärbar (s. S. 76), (Tab. 48, Tab. 49, Tab. 50).

Tab. 50: Vergleich von Methanbildungspotential und Methanausbeute im Gärversuch 2012

Fermenter	Einheit	I	I	II	III
Substrat		M12	MS12	MS12	MSR12
Potential d. Ausgangssubstrate Baserga-Methode (additiv)	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	296	279	279	253
Potential d. Ausgangssubstrate Weißbach-Methode (additiv)	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	361	322	322	309
Potential der Mischung Baserga-Methode	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	296	-	-	-
Potential der Mischung Weißbach-Methode	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	361	331	331	330
stabile Phase	Versuchstage von-bis	28-70	183-225	97-102, 186-222	62-100, 170-232
mittlere Ausbeute, stabile Phase	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	322	289	290	265
Ausbeute, Versuchsmittel	$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	310	300	288	264
Ausnutzungsgrad stabile Phase	% Weißbach- Potential	89	87	88	80
Ausnutzungsgrad stabile Phase	% Baserga- Potential	109	-	-	-
Methangehalt, stabile Phase	%	52	51	52	53
Methangehalt, Versuchsmittel	%	49	52	52	52
Potential, Weißbach-Methode	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{ TM}$	347	309	309	297
Potential, Weißbach-Methode	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ t}^{-1} \text{ FM}$	113	99	99	70

Tab. 51: Mittleres Methanbildungspotential von Steinklee (Weißbach-Methode) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanzen

	Herbst	Frühjahr	Spät- frühjahr	Früh- sommer	Sommer	Herbst
Vegetationsjahr	1.	2.	2.	2.	2.	2.
	Ende Sept.- Mitte Okt.	Anf.- Ende Mai	Mitte- Ende Mai	Ende Juni	Anf. Juli	Ende Aug.- Anf. Okt.
Stadium	vor Über- winterung	vor Knospen	Knospen	Blühbe- ginn	Voll- blüte	nach Vollblüte
$l_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	290	357	332	297	277	261

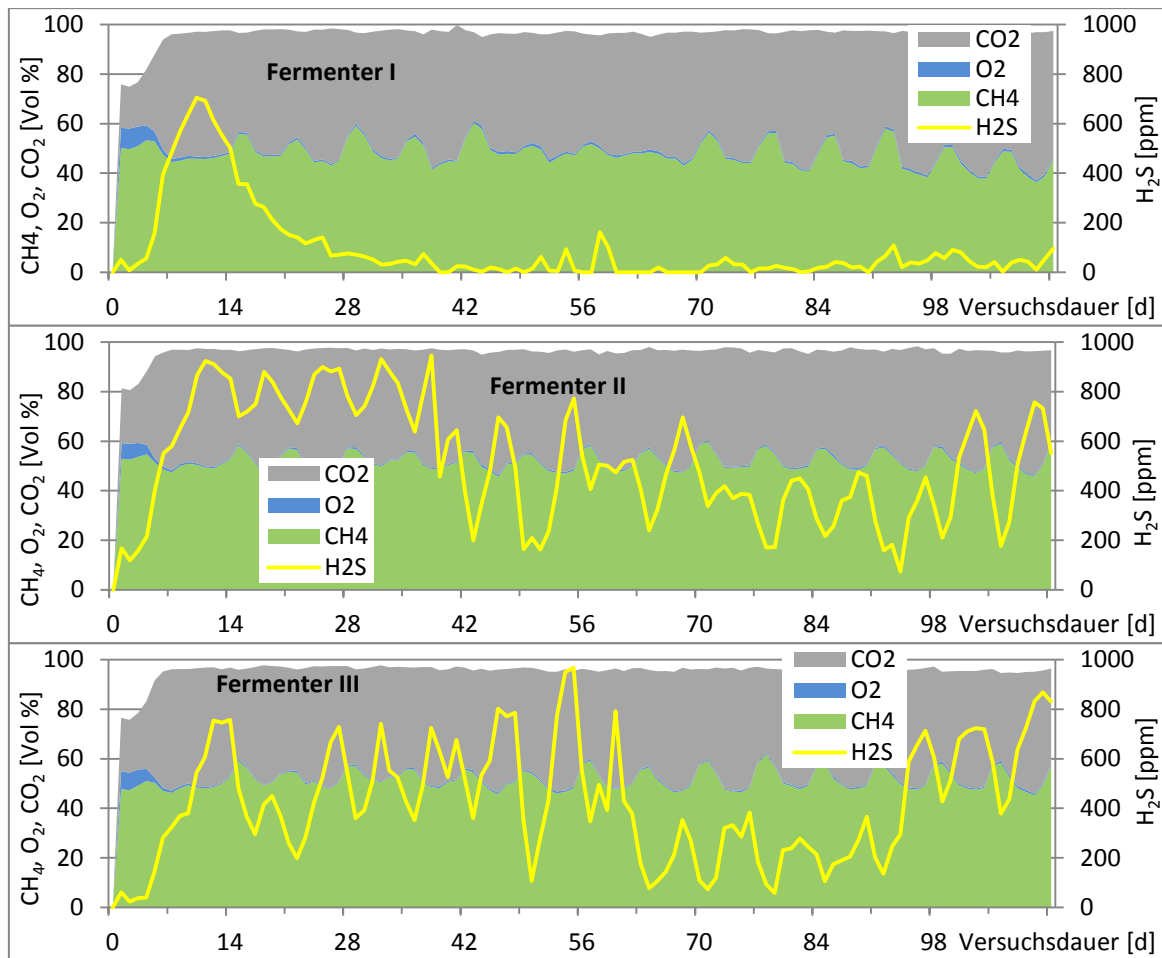


Abb. 34: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2010

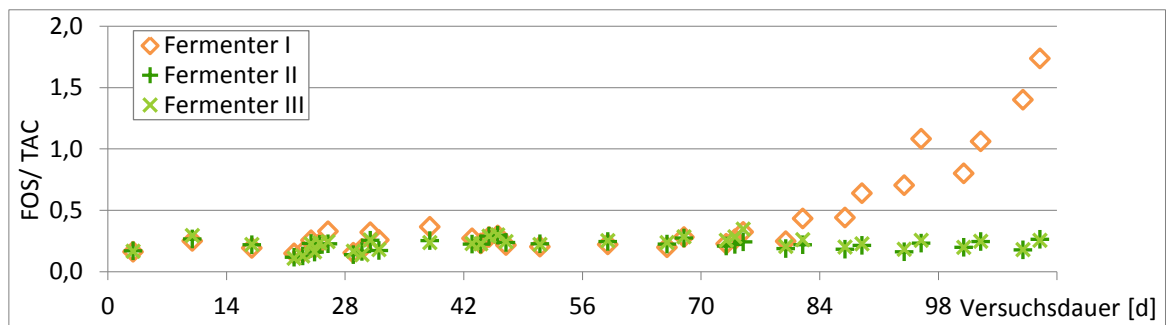


Abb. 35: FOS/ TAC im Gärversuch 2010

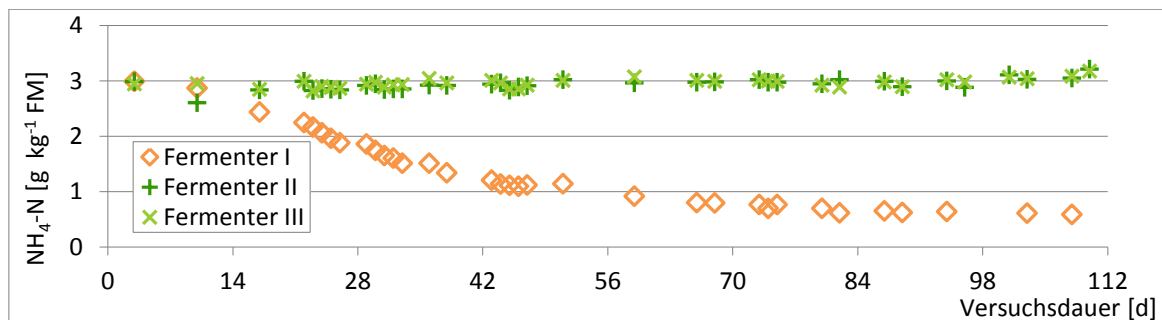


Abb. 36: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2010

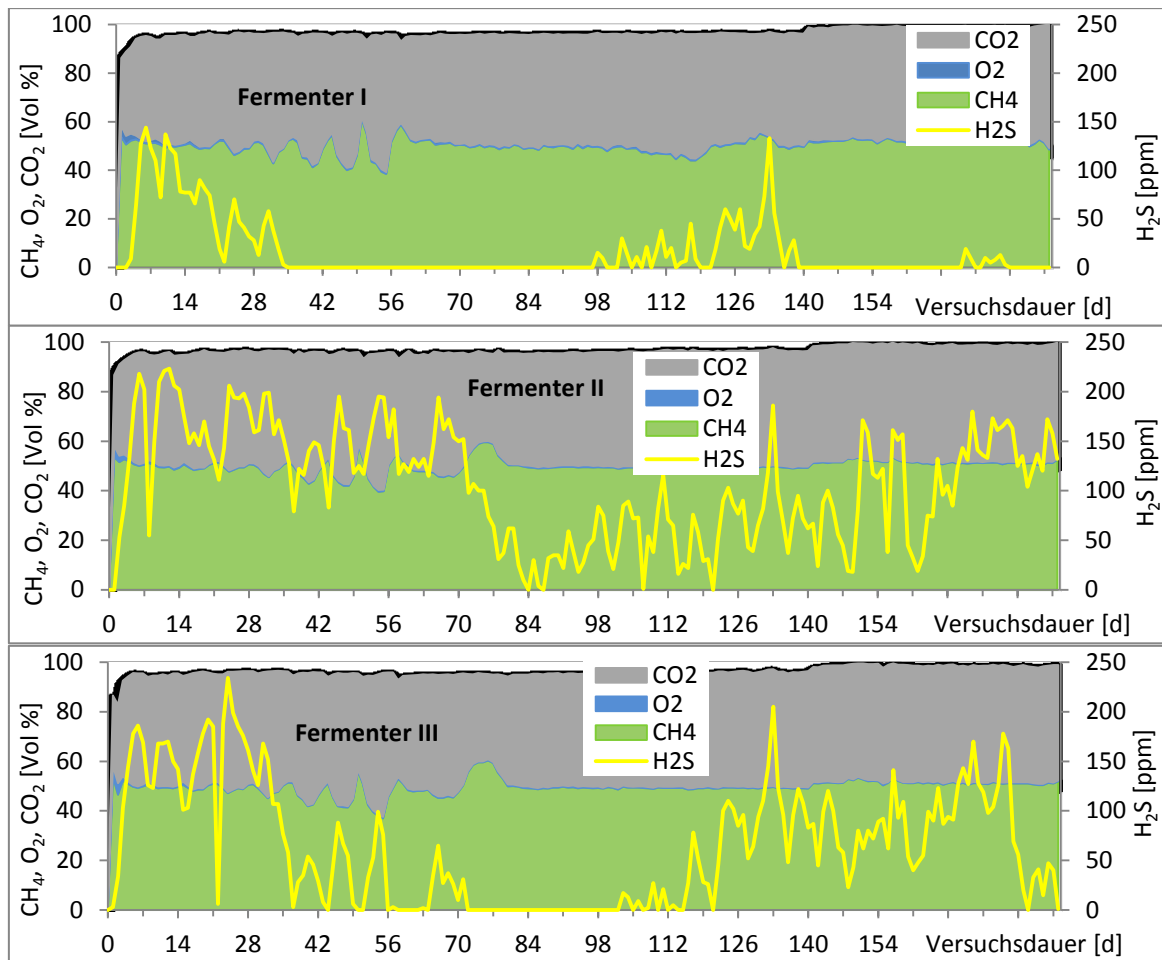


Abb. 37: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2011

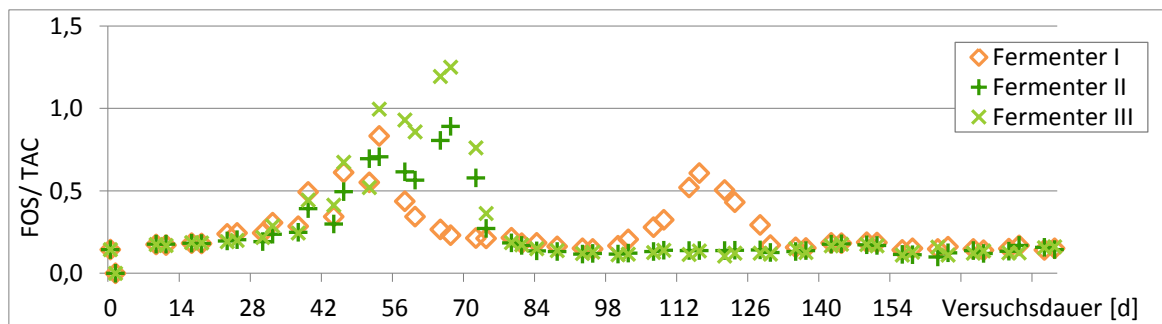


Abb. 38: FOS/ TAC im Gärversuch 2011

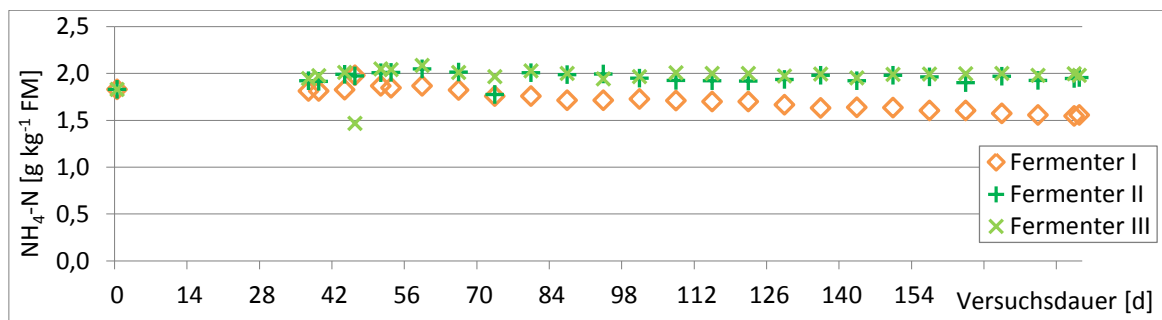


Abb. 39: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2011

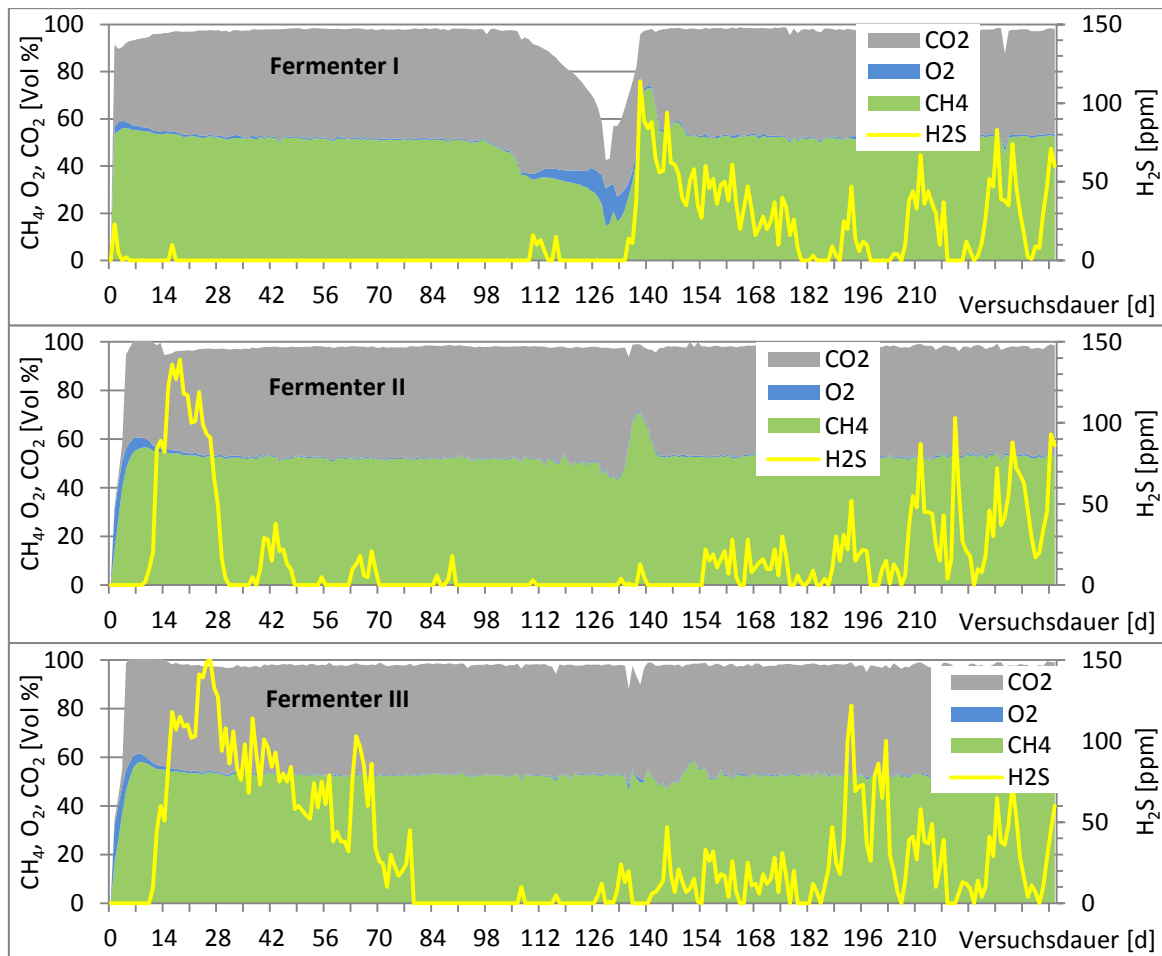


Abb. 40: Qualität des gebildeten Biogases im Gärversuch 2012

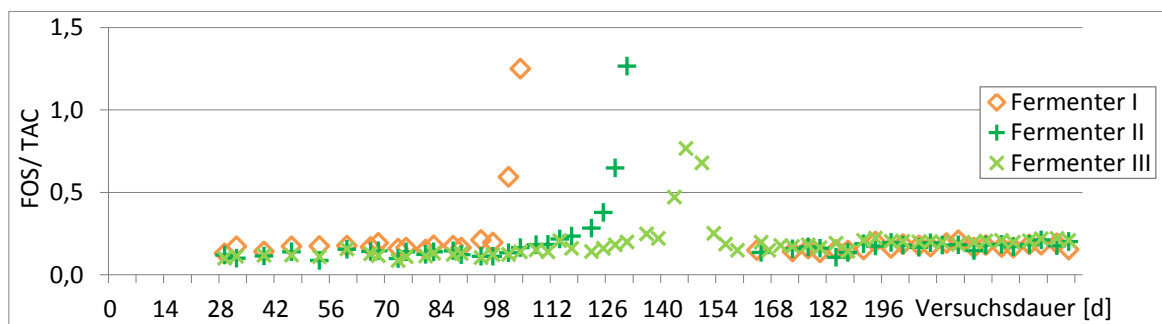


Abb. 41: FOS/ TAC im Gärversuch 2012

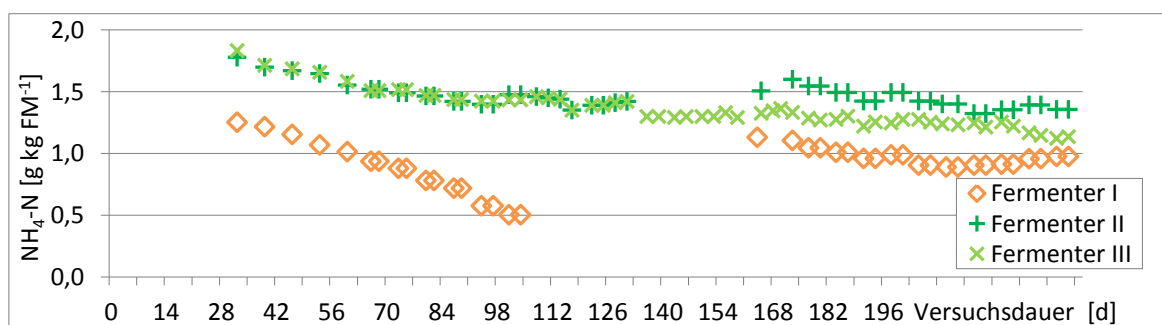


Abb. 42: Verlauf der Ammoniumstickstoffgehalte im Gärversuch 2012

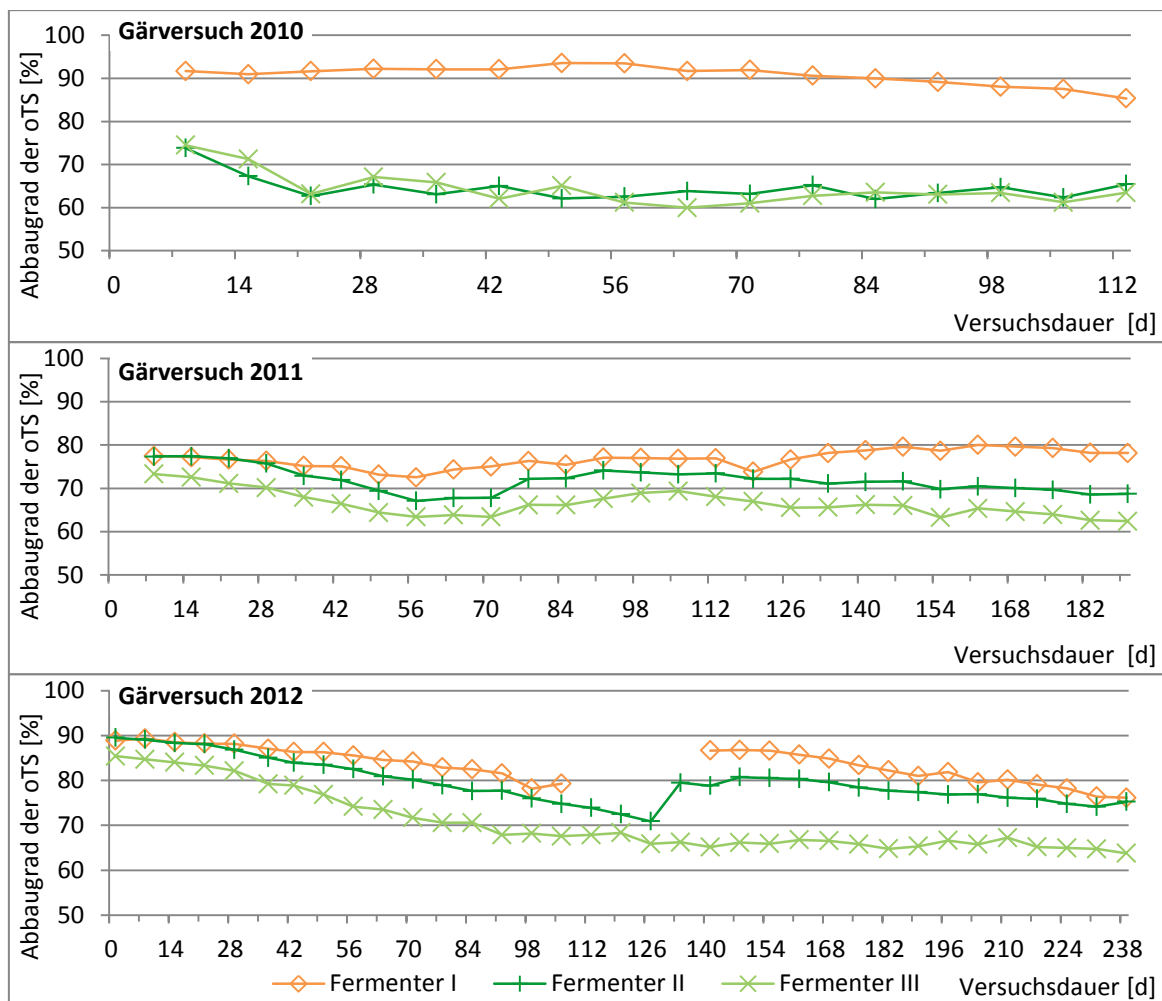


Abb. 43: Abbaugrad der zugeführten oTS im Gärrest

Tab. 52: CSB-Werte vor und nach der Fermentation und nach der Ausgärungsphase und Cumaringehalte der Gärreste

Gärversuch	Einheit	2010			2011			2012		
Fermenter		I	II	III	I	II	III	I	II	III
CSB _{Substrat}	mg g ⁻¹ FM	n.b.	n.b.	n.b.	348	257	257	378	325	283
CSB _{Gärrest} am letzten Fütterungstag	mg g ⁻¹ FM	n.b.	n.b.	n.b.	43	80	78	78	87	91
CSB _{Gärrest} nach Ausgärung	mg g ⁻¹ FM	n.b.	n.b.	n.b.	n. b.	77	77	5,7	69,1	67,6
Cumarin im Gärrest	% TM	n.b.	n.b.	n.b.	<0,003	<0,002	<0,002	<0,003	<0,003	<0,002
CH ₄ -Ausbeute in der Ausgärungsphase	l _N CH ₄ kg ⁻¹ oTS	127	53	17	87	76	74	85	88	91

5.12.1 Methanerträge

Werden die in Abschnitt 5.5 bestimmten Ertragspotentiale für eine Frühjahrsblanksaat des Steinklees von 50 - 80 dt TM ha⁻¹ im Ansaatjahr und 100 - 150 dt TS ha⁻¹ im Folgejahr und die entsprechenden spezifischen Methanbildungspotentiale von 250 - 300 l_N CH₄ kg⁻¹ oTS¹³¹ angenommen, ergeben sich potentielle Methanerträge von 1200 - 2100 m³ ha⁻¹ im Ansaatjahr und 2500 - 4000 m³ ha⁻¹ im zweiten Vegetationsjahr.

Beim Vergleich dieser Schätzwerte mit den Versuchsergebnissen aus dem Fruchtfolgeversuch und dem Herkunftsversuch¹³² (Tab. 53, Tab. 54, Tab. 55) wird deutlich, dass in Gülzow Methanbildungspotentiale von ca. 350 l_N CH₄ kg⁻¹ oTS mit Frühjahrsschnitten bis Ende Mai erreicht wurden. Die Herbstschnitte im Ansaatjahr lagen bei 300 l_N CH₄ kg⁻¹ oTS und die Sommer- bzw. Herbstschnitte im zweiten Vegetationsjahr um 250 l_N CH₄ kg⁻¹ oTS. In der Summe wurden in Gülzow 3000 m³ CH₄ ha⁻¹ im zweiten Vegetationsjahr erreicht, aber in keinem Teilversuch wesentlich überschritten. Die Methanerträge im Ansaatjahr waren differenzierter und lagen zwischen 1200 und 2850 m³ CH₄ ha⁻¹. Die Bewertung des Gesamtertrages der Fruchtfolgen im Fruchtfolgeversuch ändert sich durch den Bezug auf den Methanertrag anstatt des Trockenmasseertrages nicht (s. Abschnitt 5.1.1).

Tab. 53: Spezifisches Methanbildungspotential und Methanertrag der ertragreichsten Herkunft (KRAJOVA) im Herkunftsversuch; berechnet nach der Weißbach-Methode

	1. Jahr		2. Jahr			
	Herbstschnitt		1. Schnitt		2. Schnitt	
Ansaat-jahr	Anf. Okt.		Mitte/ Ende Mai		Ende Aug./ Anf. Sept.	
Methan-	-Potential	-Ertrag	-Potential	-Ertrag	-Potential	-Ertrag
	l _N kg ⁻¹ oTM	m ³ CH ₄ ha ⁻¹	l _N kg ⁻¹ oTM	m ³ CH ₄ ha ⁻¹	l _N kg ⁻¹ oTM	m ³ CH ₄ ha ⁻¹
2010	303	1221	337	636	260	2126
2011	283	2863	343	1243	247	1605

¹³¹ In diesem Bereich liegen die nach der Weißbach-Methode geschätzten Methanbildungspotentiale für Herbstschnitte des ersten und Sommerschnitte des zweiten Vegetationsjahres. Die Gärversuche 2010-2012 bestätigten die Anwendbarkeit dieser Schätzformeln für Steinklee.

¹³² Versuchsbeschreibung s. Abschnitte 0 und 4.2

Tab. 54: Spezifische Methanbildungspotentiale und Methanerträge der Ernte-schnitte im Fruchtfolgeversuch, 1. Anlage; berechnet nach der Weißbach-Methode

		Methanpotential	berechneter Methanertrag			
		$I_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$			
	Fruchtfolge	-	A	B	C	D
1. Jahr 2009	Grünroggen	322	1615	1615	1615	1615
	Steinklee, Mitte Okt.	266	1205	1205	1205	-
	Luzerne, Mitte Okt.	316	-	-	-	392
2. Jahr 2010	Steinklee, Ende Mai	356	777	-	-	-
	Luzerne, Ende Mai	324	-	-	-	1375
	Steinklee, Ende Juni	297	-	-	1900	-
	Mais, Zweitfrucht	368	7232	-	-	6062
	Mais, Hauptfrucht	367	-	6606	-	-
	Steinklee, Mitte Okt.	277	-	-	1006	-
	Summe	-	10830	9426	5726	9445

Tab. 55: Spezifische Methanbildungspotentiale und Methanerträge der Ernte-schnitte im Fruchtfolgeversuch, 2. Anlage; berechnet nach der Weißbach-Methode

		Methanpotential	berechneter Methanertrag			
		$I_N \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}$	$\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$			
	Fruchtfolge	-	A	B	C	D
1. Jahr 2010	Grünroggen	393	1532	1532	1532	1532
	Steinklee, Anfang Okt.	302	1653	1653	1653	-
	Luzerne, Anfang Okt.	321	-	-	-	0
2. Jahr 2011	Steinklee, Mitte Mai	331	-	-	762	-
	Steinklee, Ende Mai	327	1812	-	-	-
	Luzerne, Ende Mai	337	-	-	-	784
	Mais, Zweitfrucht	343	5793	-	-	6527
	Mais, Hauptfrucht	338	-	6165	-	-
	Steinklee, Ende Sept.	255	-	-	2295	-
	Summe	-	10790	9350	6243	8843

Aktuell bleibt Steinklee noch genau wie andere alternative Biogassubstrate im Methan-ertrag hinter dem von Silomais zurück¹³³. Inwieweit das auch für die trockenen Sandbö-den, auf denen Mais einen deutlichen Ertragsabfall zeigt, gilt, kann nur im längerfristi-gen direkten Anbauvergleich ermittelt werden. Bei einem wirtschaftlichen Vergleich

¹³³ Vergleichswerte siehe z. B. KTBL (2007); NÜBBAUM & WURTH (2011)

üblicher einseitiger Maisfruchtfolgen mit Mais-Steinklee-Fruchtfolgen sind für den Steinkleeanbau neben dem Methanertrag die Kosteneinsparungen, die durch die geringeren Bedarfe an Stickstoffdünger und Energie für die Bodenbearbeitung entstehen, als kurzfristig wirksame und die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit als mittel- bis langfristig wirksame positive Bilanzgrößen zu verbuchen.

Es ist davon auszugehen, dass bei einem vorgezogenen Erntetermin Mitte/ Ende Juli im zweiten Vegetationsjahr (s. Abschnitt 5.4.3) höhere spezifische Methanbildungspotentiale erreicht werden können. Außerdem kann der Biomasseertrag durch erwartbare Züchtungsfortschritte und eine weitere Optimierung des Anbauverfahrens vermutlich noch gesteigert werden. Deshalb steht zu erwarten, dass sich dieses Methanertragspotential mit weiterführenden Arbeiten erhöhen lässt.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Literatur

Auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche wurde das vorhandene biologische Wissen über den Steinklee, seinen Anbau und seine landwirtschaftliche Nutzung für den Zeitraum vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart zusammengestellt. Dadurch konnten auch bisher weniger bekannte Erkenntnisse für weitere Forschungsarbeiten und Nutzungsmöglichkeiten erschlossen werden. Räumlich begrenzen sich die Daten vor allem auf Deutschland, Nordamerika, Australien, Weißrussland, die Ukraine und den baltischen Raum.

Herkünfte

Die Ergebnisse der Steinklee-Züchtung vergangener Jahrzehnte beeinflussen auch heute noch die Eigenschaften der im Handel angebotenen Saatgutpartien. Die Saatgutpartien unterscheiden sich in ihren pflanzenbaulich wichtigen Eigenschaften wesentlich voneinander.

So konnte nachgewiesen werden, dass die Eigenschaft der Ein- oder Zweijährigkeit ausschließlich von der Saatgutherkunft bestimmt wird. In allen Versuchsanstellungen und zu allen Aussatterminen erwiesen sich die geprüften Herkünfte der südlichen Hemisphäre in Mecklenburg-Vorpommern als einjährig, während aus dem Saatgut aus Kanada, der Ukraine, Estland und Tschechien sicher Pflanzen mit zweijähriger Entwicklung aufwuchsen. Mit dem Auffinden dieses Zusammenhangs konnte eine wesentliche Wissenslücke für die Saatguterzeugung und den Anbau geschlossen werden.

Auch Eigenschaften wie Ertragsniveau, Wuchsform und Wurzelbildung lassen sich auf verschiedene Herkünfte zurückführen. Außerdem beinhalten die Herkünfte unterschied-

liche Anteile der beiden Steinkleearten *Melilotus albus* und *M. officinalis*. Die Herkunft hat damit einen entscheidenden Einfluss auf das Ertragspotential eines Bestandes.

In Anbauversuchen von SPECHT et al. (1960), PÄTZOLD (1961) und DANCS (1964) erwies sich beispielsweise die Sorte „Bienenfleiß“ als besonders ertragreich und wenig mehltauanfällig. Die hier vorliegenden Ergebnisse bestätigen diese Einordnung. Für künftige Züchtungsarbeiten kann auf die in der Genbank des IPK Gatersleben gelagerten Samenbestände zurückgegriffen werden, in denen diese alte Sorte erhalten wurde.

Außerdem wurden insgesamt elf verfügbare Herkünfte auf ihre Ertragseigenschaften geprüft und beschrieben. Besondere Aufmerksamkeit verdienen die ertragreiche tschechische Sorte „Krajova“ und die Wiederentdeckung eines cumarinarmen Stammes in der Genbank des IPK Gatersleben.

Standort und Bodenazidität

Die in der Literatur herausgestellten besonders geringen Ansprüche an Standort und Bodenart wurden im Prinzip bestätigt. Ein gutes Pflanzenwachstum konnte selbst auf trockenen Sandböden (Ackerzahl < 20) festgestellt werden. Die pH-Werte der Böden aller Versuchsstandorte mit guter Bestandesentwicklung liegen in dem sehr weiten Bereich zwischen 4,9 und 7,7. Eine Abhängigkeit des Pflanzenwachstums vom pH-Wert konnte nicht exakt nachgewiesen werden. Die experimentelle Kalkung deutet auf einen nur leichten Zusammenhang hin, der im Feldversuch von anderen Faktoren mit deutlich größerem Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung des Steinklees überlagert wurde.

Winterhärte

Die sehr gute Winterhärte des zweijährigen Steinklees konnte in den vergangenen Jahren unter extremen Bedingungen bestätigt werden. Weder der schneereiche und lange Winter 2009/10 noch der Winter 2010/11 mit einer späten und extremen Kahlfröstoperode nach milder Witterung schaden den Pflanzen.

Allerdings beeinflusst der Erntetermin im Herbst des Ansaatjahres mit seinen Auswirkungen auf die Erneuerungsknospen die Winterfestigkeit eines Bestandes. Für die im Versuch geprüften Sorten und Herkünfte gilt als Voraussetzung für eine ausreichende Überwinterungsfähigkeit, dass der Ernteschnitt im Ansaatjahr nicht vor Anfang Oktober durchgeführt wird.

Fruchtfolge

Die optimale Aussaatzeitspanne des Steinklees ist vergleichsweise lang. Die Aussaat kann sowohl wie eine Hauptfrucht als Frühjahrsblanksaat als auch wie eine Zweitfrucht nach einer Winterzwischenfrucht wie Grünroggen erfolgen. Auch bei einer späten Saat Mitte Mai tritt im Vergleich zu einem früheren Saattermin kein nennenswerter Wachs-

tumsnachteil im ersten und zweiten Vegetationsjahr auf. Im Versuch wurden dabei außerdem keine Unterschiede zwischen einer Hauptfrucht- oder Zweitfruchtstellung des Steinklees beobachtet. Aussaattermine nach Mitte Juli bilden zwar überwinterungsfähige Bestände, bringen in der Mehrzahl der Jahre jedoch keine befriedigenden Wachstumsleistungen.

Die Einschätzung der besonders guten Vorfruchtwirkung des zweijährigen Steinklees nach einem Umbruch im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres für die Nachfrucht Mais wurde durch Anbauversuche bestätigt.

Sowohl die Steinkleerernte als auch die Maisaussaat erlauben in einem bestimmten Zeitrahmen eine Anpassung an die aktuelle Witterung, so dass günstige Perioden für die Ausführung der Arbeiten abgewartet werden können. Bei absehbaren Trockenperioden besteht die Möglichkeit, den Steinklee im zweiten Vegetationsjahr nur als Gründüngung einzuarbeiten und Mais zum frühen Termin zu säen oder aber den Steinklee als Hauptfrucht im zweiten Vegetationsjahr stehen zu lassen.

Eine volle zweijährige Nutzung des Steinklees bei einer abschließenden Sommernutzung im Juli stellt eine weitere Möglichkeit des Steinkleeanbaus dar. Die Entscheidung kann in Anpassung an die konkreten Produktionsziele und -gegebenheiten erfolgen. Nach einer Ernte des Steinklees zur Vollblüte im Juli des zweiten Vegetationsjahres bietet sich die Aussaat einer Zwischenfrucht oder von Raps als Nachfrucht an, wurde aber im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geprüft.

Bei einem frühen Umbruch im zweiten Vegetationsjahr wird auf einen Teil des möglichen Steinkleerertrags verzichtet. Ein nachfolgend ausgesäter Mais profitiert von den positiven Vorfruchtwirkungen des Steinklees. Die Stickstoffdüngung kann in diesem Fall deutlich reduziert werden. Ohne Schnittnutzung im Frühjahr könnte, ein guter Steinkleebestand vorausgesetzt, Mais ohne ergänzende mineralische Stickstoffdüngung angebaut werden. Nach einer Schnittnutzung Ende Mai wäre die Stickstoffmineraldüngung mindestens um ein Drittel zu reduzieren. Diese Einschätzungen beruhen vorrangig auf einer intensiven Literaturstudie, die durch Beobachtungen aus den Projektversuchen gestützt werden. Ein wissenschaftlich exakter Nachweis bzw. eine genauere Aussage zur N-Nachlieferung für die Folgefrucht steht noch aus und erfordert eine darauf ausgerichtete umfangreiche Versuchsanstellung.

Der kumulierte Biomasseertrag aus einer Schnittnutzung des Steinklees im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres und einem Zweitfruchtmais liegt, wie bei anderen Zweitfruchtssystemen auch, über dem einer Maisernte nach Steinklee Gründüngung in Hauptfruchtstellung. 2010 konnte anders als erwartet jedoch mit dem Zweitfruchtmais ein höherer Ertrag als mit dem früher gesäten Hauptfruchtmais erzielt werden. Weitere ver-

allgemeinernde Aussagen können dazu aus zwei Erntejahren allerdings nicht abgeleitet werden.

Pflege

Wegen der langsamen Jugendentwicklung des Steinklees besteht in allen genannten Zeiträumen für die Aussaat erhebliche Gefährdung durch Unkräuter. Erste Voraussetzung für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung ist die Unkrautkontrolle während der Jungpflanzenentwicklung.

Von den geprüften Maßnahmen zur chemischen Unkrautbekämpfung im Jugendstadium waren bei einmaliger Anwendung zu BBCH 13 die für Rotklee zugelassenen Herbizidwirkstoffe Bromoxynil und alternativ Bentazon geeignet. Als mechanische Unkrautbekämpfung erwies sich ein Schröpschnitt als vorteilhaft. Positiv ertragswirksam werden die Behandlungen allerdings nur bei starkem Unkrautdruck und hohem Steinkleertrag.

Von einer N-Startdüngung profitieren (standortabhängig) eher die Unkräuter als die Steinkleepflanzen. In der Regel ist diese Maßnahme deshalb nicht zu empfehlen.

Krankheiten und Schädlinge

Falscher und Echter Mehltau sind die am häufigsten auftretenden Krankheiten. Es lassen sich witterungsabhängig deutliche Jahreseffekte feststellen.

Sitona

In Norddeutschland sind *Sitona* s. str. weit verbreitet. Über ihr Auftreten, ihre Schadwirkungen und Bekämpfung in Steinkleebeständen liegen keine wissenschaftlichen Arbeiten vor.

Steinkleepflanzen stellen für einige Arten eine attraktive Nahrungsquelle dar. Neue Bestände werden von ihnen schnell besiedelt. Die Käfer besitzen ein sehr hohes Vermehrungspotential, so dass bekannte allgemeine Schadschwellen schon nach einem Anbaujahr überschritten werden können. Räumliche und zeitliche Anbauabstände erhalten deshalb eine besondere Bedeutung für die Vorsorge.

Schadschwellen müssen unbedingt auf ein Entwicklungsstadium des Steinklees bezogen werden, da große Unterschiede in der Gefährdung während des Vegetationsverlaufes bestehen. Schädigungen durch *Sitona*-Käfer und ihre Larven sind insbesondere während der Jugendentwicklung der Pflanzen und bei ungünstigen Standortbedingungen problematisch. Nach der ersten Problemfeststellung 2010 wurden 2011 und 2012 genauere Beobachtungen zum Erscheinen der Imagines, zur Populationsentwicklung und zur Abschätzung des Schadmaßes durchgeführt.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl der Fraßkerben ein tauglicher und leicht ermittelbarer Parameter zur Bestimmung der Befallsdichte mit *Sitona*-Käfern in Steinkleebeständen ist.

Auf trockenen Sandstandorten liegen die Schadschwellen für *Sitona* s. str. niedriger als auf besseren Böden, da die Pflanzen auf diesen Grenzstandorten Schäden schlechter kompensieren können.

Eine chemische Bekämpfung ist nur als akute Maßnahme zum Schutz einer keimenden Neuaussaat vor drohendem Totalfraß wirksam. Für die weitere Schadensabwehr müssen vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

Ernte

Bekannt ist, dass für den Wiederaustrieb nach einem Schnitt in derselben Vegetationsperiode in der Stoppel aktive Stängelknospen stehen bleiben müssen. Nicht eindeutig war bisher der Einfluss des Entwicklungsstadiums zum Schnittzeitpunkt auf die Austriebskraft geklärt. Nach den vorliegenden Untersuchungen treibt Steinklee umso schwächer nach, je weiter die generative Entwicklung fortgeschritten ist. Eine wiederholte Steinkleenutzung während eines Jahres setzt deshalb einen vorhergehenden Schnitt im vegetativen Stadium (bis zu Beginn des Knospenstadiums) mit entsprechend hoher Stoppel voraus.

Die Ertragshöhe ist bei Steinklee aufgrund der Zweijährigkeit in besonderem Maße von der Pflanzenentwicklung abhängig. Das Ertragspotential der möglichen Schnitttermine und der Jahreserntemengen wurde anhand eines Literaturvergleiches und der Versuchsergebnisse bestimmt. Die optimalen Erntetermine können mithilfe der Wachstumsbeobachtungen aus den Versuchen festgelegt werden.

Das größte Massenwachstum findet im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres statt. Die maximale Biomasse wird im zweiten Jahr während der Blühperiode erreicht. Deshalb stellt die Blühperiode die optimale Erntezeitspanne im zweiten Vegetationsjahr dar.

Ertragspotential

Die jahresbedingten Ertragsschwankungen sind besonders auf den sehr leichten Böden noch als relativ hoch einzuschätzen, liegen aber innerhalb der für andere Leguminosen bekannten Größenordnung. Der Schaden durch die Larven von *Sitona*-Käfern wurde als eine, aber nicht alleinige Ursache der hohen Unterschiede im Ertragsniveau zwischen den verschiedenen Versuchsjahren identifiziert.

Aus den Untersuchungen wurden für die einzelnen Erntetermine Ertragsschätzungen abgeleitet, die der wirtschaftlichen Einordnung des Produktionsverfahrens dienen. In der Summe ergaben sich für das Ansaatjahr Biomasseerträge zwischen 25 und

80 dt TM ha⁻¹ und im Hauptnutzungsjahr zwischen 100 und 150 dt TM ha⁻¹. Dabei ist abzusehen, dass noch ein großes Potential zur Ertragssteigerung in der Optimierung des Anbauverfahrens und der Züchtung besteht.

Es wurde gezeigt, dass mit der Ausnahme von reinen Lockersandflächen auch auf trockenen Sandstandorten hohe Biomasseerträge erzielt werden können.

Wurzelmengen und N-Lieferung

Für die Schätzung der nach der Ernte verbleibenden N-Rückstände können keine Pauschalwerte verwendet werden. Die Höhe der N-Rückstände ist stark vom Umbruchtermin und der oberirdischen Biomassebildung abhängig. Eine Möglichkeit der Bestimmung der für die Nachfrucht zur Verfügung stehenden N-Mengen besteht in der Schätzung der Wurzelmasse. Dafür wurden in Abhängigkeit von der Vegetationszeit und der oberirdischen Bestandesentwicklung folgende Regelmäßigkeiten abgeleitet. Nach der Aussaat bis Anfang September überwiegt die Wurzelmenge die oberirdische Biomasse um mindestens das Doppelte. Zwischen Anfang September und Ende Oktober liegt das Wurzelgewicht zwischen der Hälfte und dem Doppelten des Sprossgewichtes und zeigt in diesem Zeitraum eine rasante Zunahme. Nach der Überwinterung nimmt das Wurzelgewicht aufgrund der Auslagerung von Speicherstoffen ab und liegt ab Vegetationsbeginn bis zum 10. Mai zwischen dem doppelten und einem halben Sprossgewicht. Nach dem 10. Mai entspricht die Wurzelmenge bei abnehmender Tendenz nur noch einem Viertel des Gewichts der oberirdischen Biomasse. Die Schätzbereiche für die N-Rückstände ergeben sich aus der Multiplikation mit den N-Gehalten der Wurzeln zum jeweiligen Entwicklungsstadium.

Vergleichbare Schätzbereiche wurden - unter Voraussetzung einer guten Bestandesentwicklung - mit einer tabellarischen Zusammenstellung von Angaben aus der Literatur ermittelt. In Abhängigkeit von der Wuchsleistung liegt das N-Fixierungspotential des Steinklees insgesamt bei ca. 100 - 300 kg N ha⁻¹ N. Im Herbst des Ansaatjahres enthalten die Pflanzen 100 - 300 kg N ha⁻¹, davon 75 - 110 kg N ha⁻¹ in den Wurzeln. Im Frühjahr nach der Überwinterung kann mit N-Mengen von 45 - 310 kg N ha⁻¹ in den ganzen Pflanzen gerechnet werden, davon in den Wurzeln 20 - 100 kg N ha⁻¹. Im Sommer des zweiten Vegetationsjahres werden 90 - 180 kg N ha⁻¹ in den Pflanzen gefunden, zu diesem Zeitpunkt enthalten die Wurzeln nur noch 15 - 55 kg N ha⁻¹.

Die genannten Schätzmethode berücksichtigen zusätzliche N-Mengen, die sich aus der Veränderung des Boden-N-Gehaltes während des Steinkleeanbaus ergeben, nicht.

Technik

Die Erfahrungen aus dem Produktionsexperiment belegen, dass alle Arbeitsgänge im Steinkleeanbau mit den üblicherweise in Landwirtschaftsbetrieben vorhandenen Maschinen und Geräten durchgeführt werden.

Biomassequalität

Untersuchungen der wertgebenden Inhaltsstoffe belegen die starke Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanzen. Zusätzlich zu den Entwicklungsstadien „vor Blüte“, „Beginn der Blüte“ und „Vollblüte“ nach (NEHRING et al. 1970) wurden die wertgebenden Inhaltsstoffe zu den Terminen „vor Überwinterung“, „vor dem Knospenstadium“, „Knospenstadium“ und „nach der Vollblüte“ durch Laboranalysen bestimmt und beschrieben.

Erntegut aus einem Herbstschnitt im Ansaatjahr gleicht in der Qualität dem Stadium „Vollblüte“ im zweiten Vegetationsjahr. Die jahresabhängigen Qualitätsunterschiede sind zu diesem Termin aber größer als nach der Überwinterung.

In der Biomassequalität bestehen Unterschiede zwischen den Herkünften, insbesondere zwischen ein- und zweijährigen Herkünften und zwischen den Arten *M. albus* und *M. officinalis*.

Silierung

Die Ergebnisse zur Silagequalität zeigen, dass Steinklee unter Beachtung der allgemeinen Silierregeln erfolgreich konserviert werden kann. Die sicherste Variante ist dabei die gemeinsame Konservierung mit einem kohlenhydratreichen Material.

Es wurde nachgewiesen, dass spezielle sekundäre Inhaltsstoffe im Steinkleesubstrat Fehlgärungen bei ungünstigen Silierbedingungen verhindern, ohne die Milchsäuregärung zu beeinträchtigen.

Vergärung zur Biogasgewinnung

Die Fütterung einer Biogasanlage mit Steinklee oder mit Steinkleeanteilen führt zu stabilen Fermentationsprozessen. Die Versuche zum Gärverlauf mit Steinklee in der Labor-Biogasanlage zeigten einen stabilen Prozessverlauf mit guter Substratausnutzung. Es konnten sogar die bei alleiniger Vergärung von Mais auftretenden Prozessstörungen durch eine Substratmischung von Mais und Steinklee behoben werden.

Der Cumarin Gehalt der Biomasse führt in den Konzentrationen, wie sie in den Pflanzen der geprüften cumarinreichen Herkünfte vorkommen (bis 0,6 % TS), nicht zu einer Hemmung im Biogasprozess. Auch andere sekundäre Pflanzenstoffe des Steinklees oder hohe NH_4^+ - oder H_2S -Gehalte aufgrund eines höheren Eiweißgehaltes im Vergleich zu Mais bewirken keine Störung des Biogasprozesses. Eine Akkumulation

der Hemmstoffe im Prozessverlauf konnte in den Laborversuchen nicht beobachtet werden.

Mit dem für den Praxiseinsatz zu empfehlenden Mischungsverhältnis einer Mais-Steinklee-Silage von 2 : 1 wurden im Laborfermenter zwischen 87 % und 91 % des theoretischen Methanbildungspotentials bei einer Raumbelastung von $4,5 \text{ g oTM}_k \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ erzielt. Mit einem Güllezusatz konnte die Raumbelastung auf $5 \text{ g oTM}_k \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ bei allerdings verringerter Substratausnutzung erhöht werden.

Das Entwicklungsstadium der Pflanzen beeinflusst die Methanausbeute stark. So lassen sich mittlere Methanbildungspotentiale von $300 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ aus einem Herbstschnitt im Ansaatjahr erwarten. Im zweiten Vegetationsjahr können ca. $350 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ bei einem Schnitt bis zum Knospenstadium und $250 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ ab der Vollblüte erwartet werden.

Steinkleebiomasse enthält im Vergleich zu Silomais mehr Rohfaser. Daraus resultieren die relativ geringeren Methanbildungspotentiale. Neuere Forschungen stellen einen besseren Aufschluss faserreicher Ausgangssubstrate im Biogasreaktor in Aussicht z.B. (ZIELONKA et al. 2009; VINTILOIU et al. 2009; PÉREZ et al. 2011). Wenn diese Verfahren Praxisreife erlangen, lassen sich auch die Methanausbeuten aus Steinkleesubstraten erhöhen.

Der erzielbare Methanertrag liegt im Ansaatjahr zwischen 1200 und $2850 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ und bei $3000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ im zweiten Vegetationsjahr. Die große Spannweite wird im ersten Jahr durch die hohen Ertragsschwankungen verursacht. Im zweiten Jahr sind die Erträge stabiler.

7 Schlussfolgerungen

Gegenwärtig ist Mais das dominierende pflanzliche Kosubstrat für die Biogasgewinnung. Aufgrund seiner ökonomischen Vorzüglichkeit wird er diese Position in absehbarer Zeit behalten. Probleme, die aus einem zu hohen Maisanteil in der Fruchtfolge resultieren, wirken auf den trockenen Sandstandorten besonders gravierend. Die unzureichende Humusreproduktion gefährdet zunehmend die Ertragsfähigkeit dieser Böden. Eine Verbesserung dieser Situation lässt sich durch den Anbau von Komplementärpflanzen zum Mais erreichen. Dafür ist Steinklee insbesondere für trockene Sandstandorte - jedoch nicht für reine Sande - eine geeignete Kultur.

Ein erfolgreicher Anbau setzt allerdings die Beachtung der pflanzenspezifischen Besonderheiten dieser zweijährigen Pflanzenart voraus. Da der Steinklee über Jahrzehnte nicht mehr in Deutschland angebaut wurde, waren umfangreiche Literaturrecherchen und eigene praktische Experimente erforderlich. Auf dieser Basis ist eine Einführung in den praktischen Anbau möglich. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind kurz in der vorange-

gangenen Zusammenfassung aufgezeigt. Im Detail ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Die geprüften Herkünfte bewiesen ihre geringen Standortansprüche auch auf den trockenen Sandböden. Das bedeutet, dass der Steinklee auch unter unseren heutigen Anbauverhältnissen eine Anbauberechtigung hat und somit geeignet ist, die Fruchtfolgen in den benachteiligten Gebieten zu bereichern. Der Steinklee soll als Komplementärpflanze den Mais auf den grundwasserfernen Sandböden ergänzen und nicht ersetzen.
2. Aufgrund der starken Unterschiede im Wurzelsystem ergeben sich die größten positiven Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit nach dem Anbau zweijähriger Herkünfte. Die einjährigen Formen des Steinklees eignen sich wegen der geringeren Konkurrenzkraft und dem stärkeren Sprosswachstum im Ansaatjahr vor allem für eine kurzfristige Nutzung als Gründüngung, für Rekultivierungs- und Blühmischungen oder zur Erhöhung der Blühintensität eines Steinklee-Mischbestandes im ersten Vegetationsjahr.
3. Steinklee ist wegen seiner kurzen Kulturdauer, maximal zwei Jahre, problemlos in die Ackerbaufruchtfolgen einzuordnen. Außerdem erlauben sowohl der Aussaat- als auch der Umbruchtermin eine relativ variable Anpassung an die Produktionsziele und die aktuelle Witterung.
4. Aussaattermine zwischen März und Mitte Mai sind für die Entwicklung ertragreicher Bestände geeignet. Die Nutzung einer Winterzwischenfrucht wie Grünroggen vor dem Steinklee kann das vergleichsweise niedrige Ertragspotential im ersten Vegetationsjahr ausgleichen. Spätsaaten nach Mitte Juli bleiben in der Biomassebildung weit hinter den Frühjahrssaaten zurück. Zu Saatterminen zwischen Mitte Mai und Mitte Juli, die eine längere Wachstumszeit einer vorherigen Winterzwischenfrucht oder eine GPS-Ernte ermöglichen, können noch keine Empfehlungen gegeben werden. Hierzu sind weiterführende Feldversuche notwendig.
5. Die Wahl des Umbruchtermins der Steinkleekultur kann sehr flexibel gehandhabt werden. Es sind alle Varianten der Nachfruchtstellung (Hauptfrucht, frühe Zweitfrucht, späte Zweitfrucht, Sommerzwischenfrucht, Winterung) möglich. Während bei einem frühen Umbruch auf Ertragsanteile des Steinklees verzichtet wird, ermöglicht ein Erntetermin Ende Juli das Ausschöpfen des Ertragspotentials und eine Nachfruchtaussaat ab August.
6. Im Frühjahr umgebrochener Steinklee ist aufgrund der intensiven Bodendurchwurzelung und der hohen N-Rückstände eine sehr günstige Vorfrucht für Mais. Der Anbau des Fruchtfolgepaares Steinklee-Mais stellt nicht nur für ökologisch wirtschaftende Betriebe eine Möglichkeit dar, hohe Maiserträge ohne ergänzende N-Düngung zu erzielen. Bei Anbau von Zweitfruchtmais nach einem Steinkleeschnitt sollte die übliche N-Düngung deutlich reduziert werden.

7. Eine verlässliche Saatgutqualität ist eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Steinkleeanbau in Praxisbetrieben. Die aktuelle Situation der Saatgutbereitstellung ist sehr unbefriedigend. Mit der Beschreibung der Eigenschaften verschiedener Saatgutherkünfte wurde zwar eine erste Grundlage für eine gezielte Vermehrung und Züchtung ertragreicher Steinkleestämme gelegt, aber noch kein Beitrag zur Erhöhung des Ertragspotentials geleistet. Nach gegenwärtigen Schätzungen auf der Basis der Herkunftsprüfungen kann durch die Züchtung mit Ertragssteigerungen von mindestens 15 % gerechnet werden.
8. Bei einem Boden-pH-Wert $> 5 - 5,5$ hat die Bodenazidität nur einen untergeordneten Einfluss auf das Wachstum des Steinklees. Die turnusgemäße Kalkung kann in einer Rotation trotzdem gut vor der Steinkleeaussaat durchgeführt werden, da keine negativen Effekte zu erwarten sind.
9. Eine wesentliche Aufgabe könnte in der Züchtung von standortspezifischen Rhizobienstämmen bestehen. Da Wachstumsbeeinträchtigungen auf Sandböden häufig mit N-Mangel verbunden sind, würden an die Verhältnisse der trockenen Sandböden angepasste Rhizobien zur Ertragsstabilität des Steinklees auf diesen Standorten beitragen und seine Anbaugrenzen erweitern.
10. Die aufgezeigten Züchtungsziele bedürfen in der aktuellen wirtschaftlichen Situation einer unterstützenden Förderung.
11. Eine N-Startdüngung kann als Regelmaßnahme nach den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht empfohlen werden.
12. Unkräuter sind am günstigsten vorbeugend und durch die Unterstützung einer guten Jugendentwicklung des Steinklees zu regulieren. Bei einer guten Bestandsentwicklung und mittlerem Unkrautdruck kann auf eine Bekämpfung ganz verzichtet werden. Als Maßnahme im Nachauflauf darf gegenwärtig nur ein Schröpschnitt empfohlen werden. Mit den Wirkstoffen Bromoxynil und Bentazon könnten ggf. relativ kleeverträgliche chemische Herbizide eingesetzt werden.
13. Als gefährlichste Schädlingsgruppe für den Steinkleeanbau sind aktuell Käfer der Gattung *Sitona* einzustufen. Ihre Überwachung kann mithilfe der Auszählung der typischen Blattrandfraßkerben erfolgen. Schadschwellenwerte sind unbedingt auf das Entwicklungsstadium des Steinklees zu beziehen. Für Grenzstandorte sollten geringere Schadschwellen angesetzt werden. Die wichtigsten Maßnahmen zur Schadensabwehr dienen der Vorbeugung des Aufbaus hoher Populationsdichten von *Sitona* s. str. Dazu zählen v. a. die Einhaltung von Fruchtfolgeabständen und eine räumliche Entfernung zwischen Altbeständen und Neuaussaaten. Bei hohen Befallsdichten können ergänzend Spätsaaten und Umbruch von Teilflächen, chemische Behandlungen jedoch nur zum Keimpflanzenschutz genutzt werden.

14. Detaillierte Untersuchungen zur Ertragsbeeinflussung, zu Schadschwellen und zu Bekämpfungsstrategien gegen weitere Schad- oder Krankheitserreger sind nicht bekannt. V. a. mit der Züchtung mehltreuerresistenter Sorten dürften sich zusätzliche Ertragspotentiale erschließen lassen.

15. Verschiedene Formen des Gemengeanbaus könnten geeignet sein, Ertragsunsicherheiten des Steinklees im Ansaatjahr auszugleichen. Beispiele sind Untersaaten oder Streifenanbau in bzw. mit Getreideganzpflanzen oder Mais. In Anbetracht der unterschiedlichen Wurzelsysteme sind Vorteile beim gemeinsamen Anbau mit monokotylen Arten wahrscheinlich. Zur Anbaugestaltung dieser Verfahren besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf. Das gilt vor allem für die Fragen nach den optimalen Anbaubedingungen (Aussaattermine, Standraumverteilung) und die Pflege der Bestände (Unkrautbekämpfung, Düngung) für mitteleuropäische Standorte.

16. Als wichtigster Forschungsbedarf wird die Untersuchung von noch nicht geklärten jahresabhängigen Ertragsschwankungen angesehen. Dabei dürften die Standortvoraussetzungen für eine effektive N-Fixierung eine wichtige Rolle spielen. Die wissenschaftliche Begleitung bei der Einführung in Praxisbetriebe an verschiedenen Standorten könnte einen wichtigen Beitrag dazu leisten.

17. Für eine mehrfache Ernte müssen aufgrund der entwicklungsbiologischen Besonderheiten des Steinklees folgende Regeln zum Schnittregime eingehalten werden. Für eine sichere Überwinterung zweijähriger Herkünfte darf der Herbstschnitt im Ansaatjahr erst nach Ausbildung der Erneuerungsknospen durchgeführt werden. Eine wiederholte Ernte im gleichen Jahr erfordert einen vorhergehenden Schnitt im vegetativen Stadium mit hoher Stoppel.

18. Für die Schnittnutzung empfiehlt sich in Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung eine nur ein- bis zweimalige Ernte pro Jahr. Da jeder Schnitt mit zusätzlichen Erntekosten verbunden ist, von einer Zweischnittnutzung aber keine bedeutende Ertragssteigerung erwartet wird, sollte mit nur einem Schnitt pro Jahr das ökonomisch günstigere Ergebnis erzielt werden. Die Erntetermine liegen dabei Anfang Oktober nach vollständiger Ausbildung der Überwinterungsorgane im Ansaatjahr und Mitte Juli zur Vollblüte im zweiten Vegetationsjahr. Zusätzliche vorgezogene Schnitttermine können bei starkem Wachstum zur Vermeidung von Lagerbildung bis Mitte Juli im Ansaatjahr und evtl. bis zum Knospenstadium im zweiten Vegetationsjahr sinnvoll sein.

19. Die erarbeiteten Schätzbereiche der Wurzelmenge und der N-Fixierung in Abhängigkeit von dem Umbruchtermin und der Wachstumsleistung des Steinkleebestandes ermöglichen eine bessere Abschätzung der der Nachfrucht zur Verfügung stehenden N-Rückstände als die in der Literatur zu findenden weit gefächerten Pauschalwerte.

20. Die Biomassequalität verändert sich mit der Entwicklung der Pflanzen im Vegetationsverlauf stark. Diese muss deshalb zur Beurteilung der Biomassequalität unbedingt angegeben werden. Bekannte Futtermitteltabellenwerte (NEHRING et al. 1970) wurden bestätigt und können um Angaben zu weiteren Ernteterminen ergänzt werden. Für eine exakte Einschätzung der konkreten Biomassequalität sind Inhaltsstoffanalysen zu empfehlen.

21. Aus Steinkleebiomasse können lagerfähige Silagen hergestellt werden. Dabei müssen die bekannten Silierregeln eingehalten werden. Für Erntegut aus Herbstschnitten stellt die gemeinsame Silierung mit Mais eine einfache Variante dar. Material aus Sommerschnitten mit TS-Gehalten zwischen 25 und 35 % benötigt für günstige Silierbedingungen keine oder nur kurze Anwelkzeiten.

22. Mit der vorliegenden Arbeit wird erstmalig die Eignung des Steinklees für die Erzeugung von Biogas wissenschaftlich belegt. Es können verbindliche Aussagen zum Methanbildungspotential getroffen werden. Eine züchterische Reduzierung des Cumaringehaltes des Steinklees ist für die Biogaserzeugung aus Substratgemischen, die bis zu 1/3 Steinkleebiomasse enthalten, nicht erforderlich. Dem Abbau oder der Umwandlung des Cumarins und weiterer sekundärer Pflanzenstoffe konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgegangen werden. Die Klärung der Frage zum Verbleib des Cumarins bleibt eine Aufgabe für die Grundlagenforschung im Biogasbereich.

23. Der cumarinarme Zuchtstamm in der Genbank des IPK Gatersleben sollte trotzdem für spätere Forschungsarbeiten erhalten werden. Die für Tierhaltungsbetriebe interessante Doppelnutzung eines Silos sowohl für die Tierfütterung als auch für die Biogasanlage kann nur mit cumarinarmem Steinklee empfohlen werden. Der Erhalt dieser rezessiv vererbten Eigenschaft erfordert dringend eine angepasste Vermehrung, um sie für die Zukunft zu erhalten.

24. Die von WEIßBACH (2009b) für Luzerne vorgeschlagene Schätzformel zur Berechnung des theoretischen Methanbildungspotentials auf der Grundlage der FoTS lässt sich auch für Steinkleesubstrate einsetzen.

25. Um die Wirtschaftlichkeit des Anbaus insgesamt erfassen zu können, müssen neben der Ertragshöhe des Steinklees und einer Vergleichskultur unter bestimmten Standortbedingungen auch die Einsparung an Mineraldüngern, Pflanzenschutzmitteln, Bodenbearbeitung, eine Veränderung der Arbeitswirtschaft und die Vorfruchteffekte kalkuliert werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Anbauverfahren des Steinklees je nach Kulturdauer und Wurzelmasseleistung unterschiedlich zu bewerten sind. Vor allem für die sichere Einschätzung des Vorfruchtwertes und der langfristigen Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit sind die hier vorgestellten Ergebnisse noch nicht ausreichend.

Für den nach einer Zeit des Vergessens von ca. 50 Jahren wiederentdeckten Steinklee ist Petersens Plädoyer heute erneut gültig. „Vergessen sollte man beim Steinklee nicht, ebenso wie bei allen neu in Kultur genommenen Wildpflanzen, daß der Weg von der Wildpflanze zur Kulturpflanze meist ein sehr langer ist (Scheibe 1963). Der Steinklee aber, dem der Wildpflanzencharakter, daß er kommt, wann er will und nicht wann er soll, noch sehr anhaftet, befindet sich vielleicht erst am Anfang seines Weges. Seine Einbürgerung auf Sandböden, auf flachkrumigen Gesteinsverwitterungsböden und auf flachgründigen schweren Böden dürfte wahrscheinlich eine wichtige Zukunftsaufgabe sein“ (PETERSEN 1967).

Literaturverzeichnis

- ABDIN, O. A., X. M. ZHOU, D. CLOUTIER, D. C. COULMAN, M. A. FARIS & D. L. SMITH, 2000: Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). European Journal of Agronomy 12 (2), 93-102.
- AESCHLIMANN, J.-P., 1980: The *Sitona* (Col.: Curculionidae) species occurring on *Medicago* and their natural enemies in the mediterranean region. Entomophaga 25 (2), 139-153.
- AGROGEN, 2009: Komonice bilà. <<http://www.agrogen.cz/inpage/komonice-bila>>. Zugriff am 02.08.2013.
- ALBERTA AGRICULTURE, FOOD AND RURAL DEVELOPMENT, 2007: Sweetclover - Yukon. <<http://www.agric.gov.ab.ca/app95/loadCropVariety?action=display&id=493>> Zugriff am 08.09.2013.
- ANONYM, 1964: Das "Gierslebener Gemenge" - ein wertvolles Feldfuttermisch. Wissenschaftlich-Technischer Fortschritt für die Landwirtschaft (5), 92-93.
- ANONYM, 2002: Leguminous forage crops. Good plant protection practice. EPPO Bulletin 32 (2), 407-421.
- ANONYM 2004: *Sitona lineatus*. Efficacy evaluation of insecticides. EPPO Bulletin 34 (1), 9-11.
- ASHFORD, R. & J. L. BOLTON, 1961: Effects of sulphur and nitrogen fertilisation, and inoculation with *Rhizobium meliloti* on the growth of sweet clover (*Melilotus alba* Desr.). Canadian Journal of Plant Science. 41 (1), 81-90.
- ASSCHE, J. A. VAN, K. L. A. DEBUCQUOY & W. A. F. ROMMENS, 2003: Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (Fabaceae). New Phytologist 158 (2), 315-323.
- BADALÍKOVÁ, B., Bartlová J. & Hrubý J., 2010: Dekontaminace znečištěné půdy motorovou naftou s využitím netradičních rostlin a kompostu. In: BADALÍKOVÁ, B. & J. BARTLOVÁ (Hrsg.): Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů, 405-408.
- BARTELS, A., 1957: Vergleich verschiedener Untersaaten. In: NEHRING, K., F. LÜDDERCKE & W. SCHWARZ (Hrsg.): Versuchs- und Untersuchungsergebnisse. 1954-1957. 434-447, Neustrelitz.
- BARTELS, A., 1964: Der Sommerzwischenfruchtfrutterbau und sein Einfluß auf die Bodenfruchtbarkeit. Zeitschr. f. landw. Versuchs- und Untersuchungswesen 10, 397-406.

- BASKIN, C. C. & J. M. BASKIN, 1988: Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego.
- BÄTH, B., 2000: Matching the availability of N mineralised from green-manure crops with the N-demand of field vegetables. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Agraria 222. SLU/Repro, University Uppsala.
- BAUER, C., B. MUNK, M. LEBUHN & A. GRONAUER, 2011: Veränderungen der Mikrobiologie in NawaRo-Biogasfermentern. Landtechnik 66 (1), 46-49.
- BECK, T., 1968: Mikrobiologie des Bodens. Bayer. Landwirtschaftsverlag, München.
- BECKER, H., 2011: Pflanzenzüchtung. 66 Tabellen. Ulmer, Stuttgart, 2. Aufl.
- BECKER, M., 1969: Der Gehalt der wichtigsten Grünfütterpflanzen an Mineralstoffen. In: BECKER, M. & K. NEHRING (Hrsg.): Handbuch der Futtermittel. 178-185, Hamburg u. Berlin.
- BECKER-DILLINGEN, J., 1929: Handbuch des Hülsenfruchterbaues und Futterbaues. Paul Parey, Berlin.
- BELAU, T. (Hrsg.), 2012: Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. KTBL, Darmstadt, 2. Aufl.
- BENNETT, S. J., C. FRANCIS & B. REID, 2001: Minor and under-utilised legumes. In: MAXTED, N. & S. J. BENNETT (Hrsg.): Plant genetic resources of legumes in the Mediterranean, Dordrecht, 207-230.
- BERGER, F., 1952: Die Anbauwürdigkeit des Bokharaklees. Die deutsche Landwirtschaft 3 (2), 65-70.
- BESTE, A. & M. BECKER, 2009: Biomasse. Forschungsschwerpunkte klammern Nachhaltigkeit bisher aus. Bodenschutz 14 (1), 31.
- BEYER, M., A. CHUDY, L. HOFFMANN, W. JENTSCH, W. LAUBE, K. NEHRING & R. SCHIEMANN, 1986: DDR-Futterbewertungssystem. Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs für Fütterung und Futterplanung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 5. Aufl.
- BICKEL-SANDKÖTTER, S., 2001: Nutzpflanzen und ihre Inhaltsstoffe. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- BBA (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft) (Hrsg.), 2001: Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. BBCH Monografie. 2. Aufl.
- BLACKSHAW, R. E., R. L. ANDERSON & D. LEMERLE, 2007: Cultural weed management. In: BLACKSHAW, R. E. & M. K. UPADHYAYA (Hrsg.): Non-chemical weed management. Principles, concepts and technology, CABI, Cambridge, MA, 35-49.

- BLACKSHAW, R. E., Molnar L. J. & J. R. MOYER, 2010: Sweet clover termination effects on weeds, soil water, soil nitrogen, and succeeding wheat yield. *Agronomy Journal* 102 (2), 634-641.
- BLACKSHAW, R. E., J. R. MOYER, R. C. DORAM, A. L. BOSWALL & E. G. SMITH, 2001: Suitability of undersown sweetclover as a fallow replacement in semiarid cropping systems. *Agronomy Journal* 93, 863-868.
- BLAESER, P., U. STEINER & H.-W. DEHNE, 2002: Pflanzeninhaltsstoffe mit fungizider Wirkung. Forschungsbericht 97, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn.
- BLAIM, K., 1958: Biochemistry of *Melilotus* and *Trigonella* seeds. *Hodow. Rosl. Aklimat. Nasiennict.* 2, 201-212.
- BLECKEN, B., 1948: Der Bokharaklee. Eine wichtige Kultivierungs-, Gründungs- und Futter-Pflanze. Metta Kinau Verlag Nachf., Lüneburg.
- BLESSEN, A., 2009: Entwicklung und Einsatz eines interaktiven Biogas-Echtzeit-Simulators. Dissertation, Universität Bremen.
- BLOMEYER, A., 1889: Die Cultur der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. C. F. Winter'sche Verlagshandlung, Leipzig.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2012: Verordnung über das Artenverzeichnis zum Saatgutverkehrsgesetz. SaatArtVerzV.
- BOEREMA, G. H., J. DE GRUYTER, M. E. NOORDELOOS & M. E. C. HAMERS, 2004: Phoma identification manual. Differentiation of specific and intra-specific taxa in culture. CABI Publishing.
- BRANDSÆTER, L., H. HEGGEN, H. RILEY, E. STUBHAUG & T. HENRIKSEN, 2008: Winter survival, biomass accumulation and N mineralization of winter annual and biennial legumes sown at various times of year in Northern Temperate Regions. *European Journal of Agronomy* 28 (3), 437-448.
- BRANDSÆTER, L. O., A. OLSMO, A. M. TRONSMO & H. FYKSE, 2002: Freezing resistance of winter annual and biennial legumes at different developmental stages. *Crop Science* 42 (2), 437-443.
- BROMFIELD, E. S. P., J. T. TAMBONG, S. CLOUTIER, D. PRÉVOST, G. LAGUERRE, P. VAN BERKUM, T. V. TRAN THI, R. ASSABGUI & L. R. BARRAN, 2010: *Ensifer*, *Phyllobacterium* and *Rhizobium* species occupy nodules of *Medicago sativa* (alfalfa) and *Melilotus alba* (sweet clover) grown at a Canadian site without a history of cultivation. *Microbiology* 156 (2), 505-520.

BROUWER, W. VON & A. STÄHLIN, 1975: Handbuch der Samenkunde für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft mit einem Schlüssel zur Bestimmung der wichtigsten landwirtschaftlichen Samen, Frankfurt a. M..

BRUMMUND, M., 1958: Abschlußbericht zu Untersuchungen über die Stadienverhältnisse beim Steinklee. (Unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf Zeitpunkt und Technik der Nutzung), Institut für Acker- und Pflanzenbau, Agrobiologische Abteilung der Universität Rostock.

BUNDY, L. G., K. A. KELLING & L. WARD GOOD, 1997: Using legumes as a nitrogen source. University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension (A3517). <<http://ipcm.wisc.edu/download/pubsNM/Usinglegumes.pdf>> Zugriff am 08.09.2013.

BURGSTALLER, J., J. BLUMENTHAL, D. WIEDOW, F. GODLINSKI & N. KANSWOHL, 2010: Möglichkeit zur pH-Wertregulation versäuerter Biogasfermenter und die Auswirkungen auf die Biogasausbeute. Landbauforschung. Agriculture and Forestry Research 60 (4), 213-220.

BURKHARDT, H., 1957: Über die Gründüngungswirkung verschiedener Untersaaten. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 104, 315-326.

BURNSIDE, O. C. & H. J. GORZ, 1965: Oats and Amiben for weed control during sweetclover establishment. Weeds 13 (1), 35-37.

CLARK, A., 2007: Managing cover crops profitably. Sustainable Agriculture Network handbook series 9. Beltsville, MD, 3. Aufl.

COE, H. S., 1917: An annual variety of *Melilotus alba*. Agronomy Journal 9 (8), 380-382.

CRAIG, C. H., 1978: Damage potential of the sweetclover weevil, *Sitona cylindricollis* (Coleoptera: Curculionidae), in the Canadian prairies. The Canadian Entomologist 110 (08), 883-889.

CURCULIO-Institute, 2006: Studies on taxonomy, biology and ecology of *Curculionoidea*, SUNDEBILLER 7. Mönchengladbach.

DANCS, L., 1964: Untersuchungen über die Anbauwürdigkeit cumarinreicher und cumarinarmer Steinkleeformen (*Melilotus albus*) im Vergleich mit Luzerne. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 120 (1), 17-46.

DANIEL, J. & R. VOIGT, 2008: Materialband: B. Substrate zur Biogaserzeugung. Im Rahmen des BMU-Forschungsvorhabens "Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland", FKZ: 0327544. <<http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Materialband%20B.pdf>> Zugriff am 08.09.2013.

- DECKER, H., 1963: Pflanzenparasitäre Nematoden und ihre Bekämpfung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- DESAI, B. B., 2004: Seeds handbook. Biology, production, processing, and storage. Marcel Dekker, New York, 2. Aufl.
- DEUMLICH, D., 2008: Teilprojekt Standortuntersuchungen. In: ZALF (Hrsg.): Zwischenbericht. Ökologische Folgewirkungen des Maispflanzenanbaus, 5-13, Münchenberg.
- DAL (Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin) (Hrsg.), 1955: Bericht über die Versuche der Jahre 1952-1954. Streitberger-Verlag, Pößneck.
- DIEPENBROCK, W., 1999: Spezieller Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart, 3. Aufl.
- DIEPENBROCK, W., F. ELLMER & J. LÉON, 2005: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 101 Tabellen. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- DIETZE, M., 2008: Inhaltsstoffe und Heizwert ausgewählter Biomassen. persönliche Mitteilung.
- DIETZE, M., 2010: Leistungsfähigkeit ausgewählter Artenmischungen und Reinsaaten für die Nutzung als Biogassubstrat. Dissertation, Universität Rostock.
- DIETZE, M., M. FRITZ & K. DEIGLMAYR, 2009: Abschlussbericht 2008. Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgesystem - Teilprojekt - Mischfruchtanbau. In: THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Abschlussbericht 2009 zum Teilprojekt 1. Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime, 319-362, Dornburg.
- DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. DE, 2006: Growth and nutritive value of luzerne (*Medicago sativa* L.) and Melilotus (*Melilotus albus* Medik.) under saline conditions. Thesis, The University of Adelaide.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.), 2006: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG-AUSSCHUSS FÜR FUTTERKONSERVIERUNG UND DLG-ARBEITSKREIS FUTTER UND FÜTTERUNG, 1999: Grundfutterbewertung. DLG-Information 2/1999, Teil A: DLG-Schlüssel zur Bewertung von Grünfütter, Silage und Heu mit Hilfe der Sinnebewertung, Frankfurt a. M.

DLG & WWF (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. & Umweltstiftung WWF Deutschland), 2006: Nachhaltiger Anbau und energetische Verwertung von Biomasse. Empfehlungen der AG Landwirtschaft und Naturschutz von DLG und WWF. <[http://www.naturschutzstandards-erneuerbarer-energien.de/images/literatur/Nachhaltiger_Anbau_und_energetische_Verwertung_von_Biomasse_WWF-Flyer\[1\].pdf](http://www.naturschutzstandards-erneuerbarer-energien.de/images/literatur/Nachhaltiger_Anbau_und_energetische_Verwertung_von_Biomasse_WWF-Flyer[1].pdf)> Zugriff am 05.09.2013

DRAGHI, W. O., M. F. DEL PAPA, M. PISTORIO, M. LOZANO, M. DE LOSÁNGELES GIUSTI, G. A. T. TEIERIZO, E. JOFRÉ, J. L. BOIARDI & A. LAGARES, 2010: Cultural conditions required for the induction of an adaptive acid-tolerance response (ATR) in *Sinorhizobium meliloti* and the question as to whether or not the ATR helps rhizobia improve their symbiosis with alfalfa at low pH. FEMS Microbiology Letters 302 (2), 123-130.

DRAKE, A. J. & J. C. RUNDLES, 1919: Sweet clover on corn belt farms, United States Department of Agriculture. Farmers Bulletin 1005. Washington.

DUKE, J. A., 1983: Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, London, 2. Aufl.

EDER, B., F. KAISER, C. PAPST, J. EDER & A. GRONAUER, 2005: Fruchtfolge, Anbau, Düngung und Gaserträge von nachwachsenden Rohstoffen. <<http://www.biogas-infoboard.de/pdf/Fachverband%20Eder%20%20Co%201204.pdf>> Zugriff am 08.09.2013.

EHLERS, D., S. PLATTE, E. R. BORK, D. GERARD & K. W. QUIRIN, 1997: HPLC-analysis of sweet clover extracts. HPLC-Untersuchung von Steinklee-Extrakten. Deutsche Lebensmittel-Rundschau 93 (3), 77-79.

EICKMEYER, F., 2009: Alte und neue Herausforderungen in der Züchtung von Leguminosen. Journal für Kulturpflanzen 61 (9), 352-358.

ELLMER, F. & M. BAUMECKER, 2008: Soil organic matter of a sandy soil influenced by agronomy and climate. In: International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology, 1-10, Turkey.

ENGELMANN, C. & H. HEYDEL, 1962: Grundlagen und Praxis der Saatgutuntersuchung. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

ENGLER, N., 2013: Versuchsbeschreibung zum Oberhausen-Rostock-Göttinger Aktivitätstest (ORGA-Test). In: LIEBETRAU, J., D. PFEIFFER & D. THRÄN (Hrsg.): Messmethodensammlung Biogas. 122-124, Leipzig.

ERHARDT, N., 2011: Trockenstress im Maisanbau. Jedes Jahr ist anders. mais 38 (1), 20-24.

EVANS, P. M., 2001: *Melilotus alba*: the preferred forage legume for autumn and spring-summer production on saline soils in SW Victoria. In: ROWE, B., D. DONAGHY & N. MENDHAM (Hrsg.): "Science and Technology: Delivering Results for Agriculture?", 10th Australian Agronomy Conference, Januar 2001, Hobart, Tasmania. <<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/3/b/evans.htm>>, Zugriff am 08.09.2013.

EVANS, P. M. & G. A. KEARNEY, 2003: *Melilotus albus* (Medik.) is productive and regenerates well on saline soils of neutral to alkaline reaction in the high rainfall zone of south-western Victoria. Australian Journal of Experimental Agriculture 43 (3), 349-355.

EVANS, P. M. & A. N. THOMPSON, 2006: "Jota" annual sweet clover (*Melilotus albus* Medik.): a new salt tolerant legume for high rainfall zone of southern Australia. <http://www.regional.org.au/au/asa/2006/poster/soil/4423_evansp.htm> Zugriff am 02.09.2013.

FAENSEN-THIEBES, A., 1992: Zur Ökologie von *Melilotus alba* L. 3. Der Lebenszyklus. Flora Morphologie Gebotank Ökologie 186 (5/6), 377-391.

FISCHBECK, G., W. PLARRE, W. HOFFMANN & A. MUDRA, 1985: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Parey, Berlin, 2. Aufl.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.), 2010: Leitfaden Biogas. Gülzow-Prüzen, 5. Aufl. <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_208-leitfaden_biogas_2010_neu.pdf> Zugriff am 02.08.2013.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2011: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow. ISBN: 978-3-942147-02-6.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2012: Massebezogener Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen FNR-Mediathek. <<http://mediathek.fnr.de/massebezogener-substrateinsatz-nachwachsender-rohstoffe-in-biogasanlagen.html>> Zugriff am 18.02.2013.

FOSTER, R. K., 1990: Effect of tillage implement and date of sweetclover incorporation on available soil N and succeeding spring wheat yields. Canadian Journal of Plant Science. 70 (1), 269-277.

FRAME, J., 2005: *Melilotus albus* Medik. <<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/DATA/Pf000488.htm>> Zugriff am 03.02.2013.

FREUDE, H., K. W. HARDE & G. A. LOHSE, 1981/ 1983: Die Käfer Mitteleuropas 11. Curculionidae I. + II., Goecke & Evers, Krefeld.

- FRIBOURG, H. A. & J. J. JOHNSON, 1955: Dry matter and nitrogen yields of legume top-sand roots in the fall of the seeding year. *Agronomy Journal* (2), 73-77.
- FRIEHE, J., P. WEILAND & A. SCHATTAUER, 2010: Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Leitfaden Biogas. 21-31, Gülzow-Prüzen, 5. Aufl.
- FRIMMEL, F., 1951: Die Praxis der Pflanzenzüchtung. Parey, Berlin.
- FRITZ, T., 2009: Entwicklung, Implementierung und Validierung eines praxisnahen Verfahrens zur Bestimmung von Biogas- bzw. Methanerträgen. Dissertation. Universität Rostock.
- GÄDE, H. H., 1993: Beiträge zur Geschichte der Pflanzenzüchtung und Saatgutwirtschaft in den fünf neuen Bundesländern Deutschlands. Parey, Berlin.
- GÄDE, H. H., 1998: Die Kulturpflanzenbank Gatersleben. Geschichte und Entwicklung. Gerig, Quedlinburg.
- GE, Z., 1993: Nucleotide sequence of sweet clover necrotic mosaic dianthovirus RNA-1. *Virus research* 28 (2), 113-124.
- GEBHART, D. L., C. A. CALL & R. W. WEAVER, 1993: Dinitrogen fixation and transfer in legume-crested wheatgrass mixtures. *Journal of Range Management* 46 (5), 431-435.
- GERDES, G., 1953: Untersuchungen über die Samenfarbe und über die Höhe des absoluten Gewichtes (Tausendkorngewicht) bei Sorten der wichtigsten kleeartigen Futterpflanzen. *Theoretical and Applied Genetics* 23 (10), 334-341.
- GLASS, B., D. LAURIE, J. SCHWEGMAN & S. PACKARD, 1990: Vegetation management guideline white and yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). <<http://www.inhs.uiuc.edu/chf/outreach/VMG/wysclover.html>> Zugriff am 02.08.2013.
- GOERITZ, M., R. LOGES & F. TAUBE, 2009: Analyse des Anbaupotentials tanninreicher Futterpflanzen. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau 10, 139-142.
- GOERITZ, M., R. LOGES & F. TAUBE, 2010: Yields and contents of condensed tannins of some forage legumes and herbs. In: *Grassland Science in Europe* 15, 497-499. Mecke Druck und Verlag, Duderstadt.
- GOETJES, K. H., 1955: Der Bokharaklee - die Futter- und Gründüngungspflanze für leichte Böden. Mitschurin Bewegung. *Zeitschrift der landwirtschaftlichen Praxis* 4, 631-633.

- GOPLIN, B. P., 1971: Polara, a low coumarin cultivar of sweetclover. *Canadian Journal of Plant Science* 15, 249-251.
- GOPLIN, B. P., 1980: Sweet clover production and agronomy. *Canadian Veterinary Journal* 21 (5), 149-151.
- GOPLIN, B. P., 1981: Norgold, a low coumarin yellow blossom sweetclover. *Canadian Journal of Plant Science* 61 (4), 1019-1021.
- GOPLIN, B. P., J. E. R. GREENSHIELDS & W. J. WHITE, 1956: Selection techniques in screening for coumarin deficient sweetclover plants. *Canadian Journal of Botany* (34), 711-719.
- GRAICHEN, H., 1863: Berichte über Anbau-Versuche mit neuen und wenig bekannten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. nebst Andeutungen zur Begründung neuer Industriezweige, Leipzig.
- GREENSHIELDS, J. E. R., 1958: Note on Cumino sweet clover. *Canadian Journal of Plant Science* 38, 507-508.
- GROYA, F. L. & C. C. SHEAFFER, 1985: Nitrogen from Forage Legumes: Harvest and Tillage Effects¹. *Agronomy Journal* 77 (1), 105-109.
- GURGEL, A. & B. STÖLKEN, 2011: Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern): Weizen-Raps-Region. In: FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2011: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow. ISBN: 978-3-942147-02-6, 21.
- GURGEL, A. & B. STÖLKEN, 2011: Nährstoff- und Humusbilanzen beim Einsatz von Biogasgärresten in Betrieben mit Anbau von Silomais in Mecklenburg-Vorpommern. <http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/Biogas/Naehrstoff_und_Humusbilanzen/Humus2011mais.pdf> Zugriff am 21.02.2013.
- HANNAWAY, D. B. & W. S. MCGUIRE, 1982: Growing sweetclover for forage. <<http://forages.oregonstate.edu/resources/publications/fs/sweetclover.pdf>> Zugriff am 04.02.2013.
- HANSEN, A., E. HEUER & M. FLAKE, 2001: Stoffstromnetze für Fruchtfolgen. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 13 (1), 45-57.
- HARTMANN, S., K. GEHRING & M. ZELLNER, 2006: Feldfutterbau. In: *Pflanzliche Erzeugung*. 723-751. BLV [u.a.], München, 12. Aufl.

- HEGL, G., 1923: Illustrierte Flora von Mitteleuropa, München.
- HEIDEWIG, H. & A. J. THORSTEINSON, 1961: The influence of physical factors and host plant odour on the induction and termination of dispersal flights in *Sitona cylindricollis* Fahr. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 4 (2), 165-177.
- HEINZE, K. & T. BASEDOW, 1983: Schädlinge und Krankheiten im Ackerbau. 3., Wissenschaftliche Verlagsges., Stuttgart, 4. Aufl.
- HELDT, H.-W., B. PIECHULLA & F. HELDT, 2008: Pflanzenbiochemie. Spektrum Akad. Verl, Heidelberg, 4. Aufl.
- HENNING, J. C. & H. N. WHEATON, 1993: White, Ladino and Sweet Clover. <<http://extension.missouri.edu/p/G4639>> Zugriff am 02.08.2013.
- HEß, D., 2008: Pflanzenphysiologie. Grundlagen der Physiologie und Biotechnologie der Pflanzen ; 15 Tabellen. Ulmer, Stuttgart, 11. Aufl.
- HIRSCH, A. M., o.J.: Facts About Sweetclover. <<http://www.mcdb.ucla.edu/Research/Hirsch/sweetfacts.php>> Zugriff am 02.08.2013.
- HOF, C. & R. RAUBER, 2003: Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau, Göttingen, ISBN: 3-00-011733-4. 1. Aufl.
- HOFBAUER, J., 2010: Sorten in Tschechien. schriftliche Mitteilung am 30.01.2010, Troubsko.
- HOFFMANN, W. & A. MUDRA, 1971: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Parey, Berlin, Hamburg.
- IPK (Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben) o. J.: Mansfeld's World Database of Agricultural and Horticultural Crops. <http://mansfeld.ipk-gatersleben.de/pls/htmldb_pgrc/f?p=185:46:13957914545499::NO::module,mf_use,source,akzanz,rehm,akzname,taxid:mf,,botnam,0,,Melilotus%20alba,30843>Zugriff am 09.09.2013.
- JÄNICKE, H., 2004: Luzernesilierung. Ergebnisse und Empfehlungen in M-V. In: LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (Hrsg.): Beiträge zur Tierproduktion. Aufzucht, Fütterung, Haltung und Gesundheit von Milchkühen, 39-45.
- JÄNICKE, H., 2006: Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Gärqualität. In: DLG: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M. 35-41.
- JEPPE, C. F. W., 1848: Die Cultur der Weiden sowie deren Futterkräuter und Gräser, Rostock.

- JOST, J., 1988: Sweetclover. Sustainable Agriculture, Management Guides. <<http://www.kansasruralcenter.org/publications/sweetclover.pdf>> Zugriff am 02.08.2013.
- KAHNT, G., 1983: Gründüngung. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M., 2. verb. Aufl.
- KAHNT, G., 2008: Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M..
- KAHNT, G., 2009: Anbauempfehlungen Steinklee. persönliche Mitteilung.
- KAHNT, G. & W. J. SCHÖN, 1962: Zur quantitativen Analyse des Cumarins und des Glucosids der Cumarinsäure in Blättern von *Melilotus albus*. Angewandte Botanik (36), 33.
- KAISER, E., 2006: Beurteilung der Gärqualität. In: DLG: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M. 42-49.
- KALZENDORF, C., 2006: Bereitung von Mischsilagen. In: DLG: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.. 135-142.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. & C. WEBER, 2010: Energiepflanzen für Biogasanlagen. Veränderungen in der Fruchtfolge und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftsplanung 42 (10), 312-320.
- KASPERBAUER, M. J., F. P. GARDENER & W. E. LOOMIS, 1961: Interaction of Photoperiod and Vernalisation in Flowering of Sweet Clover (*Melilotus*). Journal Paper of the Iowa Agricultural and Home experimental Station Ames J-4187, 165-170.
- KAUFMANN, K., K. STRÖCKER, S. WENDT, D. BELLMANN, C. STRUCK, W. KIRCHNER & B. SCHACHLER, 2011: Blattrandkäferbefall an Lupinen - Ertragsbeeinflussung und Wirtspräferenzen der Lupinenblattrandkäfer *Sitona gressorius* und *S. griseus*. In: Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs (Hrsg.): Tagungsband der 61. Jahrestagung 105-108, Irdning.
- KEYDEL, F., H. KUPFER & B. KILLERMANN, 2006: Pflanzenzüchtung und Saatgutwesen. In: Pflanzliche Erzeugung. 335-364. BLV [u.a.], München, 12. Aufl.
- KLATT, S., 2008: Der Beitrag heimischer Leguminosen zur Stickstoffversorgung artenreicher Wiesen im westlichen Hunsrück (Rheinland-Pfalz). Cuvillier, Göttingen.
- KLINKOWSKI, M. (Hrsg.), 1974: Krankheiten und Schädlinge landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Akademie-Verlag, Berlin.
- KLOSTERMANN, I., 2008: Anbau von Energiemais unterschiedlicher Reifezahl nach Winterzwischenfrüchten. <http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/Biomasseproduktion/Anbau_

von_Energiemais_nach_Winterzwischenfruechten/Anbau_von_Energiemais_nach_Winterzwischenfruechten2008%5B1%5D.pdf> Zugriff am 09.09.2013.

KNAPP, R., 1967: Experimentelle Soziologie und gegenseitige Beeinflussung der Pflanzen, Stuttgart, 2. Aufl.

KOCH, G., 1969: Grünfuttersilagen. In: BECKER, M. & K. NEHRING (Hrsg.): Handbuch der Futtermittel. 263-360, Hamburg und Berlin.

KOLBE, H., M. SCHUSTER, M. HÄNSEL, I. SCHLIEßER, B. PÖHLITZ, E. STEFFEN & R. POMMER, 2006: Feldfutterbau und Gründüngung im ökologischen Landbau. Information für Praxis und Beratung. Fischer Druck, Großpösna.

KÖNIG, R., 1962: Unsere Erfahrungen mit Steinklee als Zwischenfrucht. Wissenschaftlich-Technischer Fortschritt für die Landwirtschaft (3), 280-281.

KOSCHTSCHJEV, A. K., 1990: Wildwachsende Pflanzen in unserer Ernährung. 57. Fachbuchverl, Leipzig, 2. Aufl.

KÖSEOĞLU, M., 1970: *Melilotus officinalis* und *albus* als Pionierpflanzen: Beobachtungen und experimenteller Vergleich. Dissertation, Technische Universität Hannover.

KREIL, W., W. SIMON & E. WOJAHN, 1983: Futterpflanzenbau. Ackerfutter. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

KRESS, H., 1952: Gibt es einen Herkunftswert beim Getreide? Die deutsche Landwirtschaft 3 (11), 603-604.

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

KREUZ, E., 1966: Untersuchungen über den Mischanbau von Silomais mit Leguminosen auf trockenem Standort. Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig - mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe 15 (1), 47-56.

KRYZEVICIENE, A., K. NAVICKAS, K. VENSLAUSKAS, V. ZUPERKA, A. DE VliegHER & L. CARLIER, 2007: Energy potential of reed canary grass as an energy crop in organic agriculture in Lithuania. In: Permanent and temporary grassland. plant, environment and economy, 14th Symposium of the European Grassland Federation, Ghent, Belgium, 587-590.

KRZAKOWA, M. & E. GRZYWACZ, 2010: Phenoloc compounds pattern in sweet clover (*Melilotus officinalis*) vs white clover (*M. alba*) revealed by 2D TLC (two-dimentional thin-layer chromatography) and its taxonomic significance. herba polonica 56 (3), 53-62.

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.), 2007: Faustzahlen Biogas, KTBL, Darmstadt.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.), 2010: Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL, Darmstadt, 2. Aufl.
- KURASZKIEWICZ, R., 2004: Następczy wpływ wsiewek międzyplonowych na plonowanie jęczmienia jarego na glebie lekkiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej 59 (4), 1815-1821.
- KUTSCHERA, L., 1960: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M..
- LAMPETER, W., 1985: Saat- und Pflanzgutproduktion. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 2. Aufl.
- LANGETHAL, C. E., 1851: Lehrbuch der landwirtschaftlichen Pflanzenkunde. Die Klee- und Wickpflanzen, Jena, 2. Aufl.
- LEBUHN, M. & A. GRONAUER, 2009: Mikroorganismen im Biogasprozess - die unbekannten Wesen. Landtechnik 64 (2), 127-130.
- LI, R., J. J. VOLENEC, B. C. JOERN & S. M. CUNNINGHAM, 1996: Seasonal changes in nonstructural carbohydrates, protein, and macronutrients in roots of alfalfa, red clover, sweetclover, and birdsfoot trefoil. Crop Science 36 (3), 617-623.
- LINKE, B. & P. MÄHNERT, 2005: Einfluss von Raumbelastung und Verweilzeit auf die Gasausbeute bei der Vergärung von Rindergülle und NawaRos. In: 14. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e. V., Nürnberg.
- LITTERSKI, B., 2005: Nutzungsgeschichte von Sandstandorten Nordostdeutschlands. In: HAMPICKE, U., B. LITTERSKI & W. WICHTMANN (Hrsg.): Ackerlandschaften. Nachhaltigkeit und Naturschutz auf ertragsschwachen Standorten, 17-34. Springer, Berlin.
- LOEW, D., H. HAUER & E. KOCH, 2009: Cumarine in pflanzlichen Arzneimitteln. Differenzierte Risikobetrachtung. <<http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=29055>> Zugriff am 04.02.2010.
- LOGES, R., 2011: Klee gras und Klimawandel - Was ist zu beachten?, 5. Niedersächsisches Fachforum Ökolandbau. Altwarmbüchen.
- LOGES, R., K. INGWERSEN & F. TAUBE, 2001: Methodische Aspekte zur Bestimmung der symbiontischen N₂-Fixierungsleistung von Leguminosen. In: 45. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. 23. - 25. August 2001, 29-32. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen.

- LOIDE, V., 2010: Maaparandaja *Melilotus alba* M.
<www.veed.ee/failid/file/mesika_lugu.pdf> Zugriff am 21.09.2012.
- LOMPE, A., 2011: Sitona Bestimmungstabelle.
<<http://www.coleo-net.de/coleo/texte/sitona.htm>> Zugriff am 04.03.2013.
- LÜDDECKE, F., 1990: Ackerfutter. Dt. Landwirtschaftsverl., Berlin, 2. Aufl.
- LUNG (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern), 2002: Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Boden-erosion, Schwerin, 2. Aufl.
- LÜTKE ENTRUP, N. & J. OEHMICHEN (Hrsg.), 2000a: Lehrbuch des Pflanzenbaues. Grundlagen. Mann, Gelsenkirchen.
- LÜTKE ENTRUP, N. & J. OEHMICHEN (Hrsg.), 2000b: Lehrbuch des Pflanzenbaues. Kulturpflanzen. Mann, Gelsenkirchen.
- LYON, T. L., 1936: The residual effects of some leguminous crops. CORNELL Agric. Exp. Stat. Bull., 645.
- MAAS, G., 1993: Zum Anbau von Luzerne, Steinklee und Kulturmalve auf jungen rekultivierten Böden im Rheinischen Braunkohlerevier. Dissertation, Universität Bonn.
- MAKOWSKI, N., 2004a: Getreideanbau auf Sandböden. GetreideMagazin 9, 180-183.
- MAKOWSKI, N., 2004b: Steinklee - die "Sandbodenluzerne". Bauernzeitung (46. Woche), 22-23.
- MAKOWSKI, N., 2013: Wirksamkeit von Rhizobienimpfungen. persönliche Mitteilung.
- MAKOWSKI, N. & E. LEHMANN, 2008: Hauptfrucht oder Winterzwischenfrüchte mit nachfolgenden Zweitfrüchten? Was bringt mehr und was ist wirtschaftlicher? Landpost (12. Januar 2008), 42-43.
- MATILE, P., 1984: Das toxische Kompartiment der Pflanzenzelle. Naturwissenschaften 71 (1), 18-24.
- MCEWEN, J. & A. E. JOHNSTON, 1985: Yield and nitrogen-fixation of *Melilotus alba*. Field Crops Research 12, 187-188.
- MEINSEN, C., 2003: 15 Jahre Forschung zum Rotkleegrasanbau an der Agrarwissenschaftlichen Fakultät Rostock. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (5), 51-54.
- MEISS, H., 2010: Diversifying crop rotations with temporary grasslands. Potentials for weed management and farmland biodiversity. Universitätsbibliothek, Gießen.
<<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2010/7803>> Zugriff am 10.07.2011.

- MENKE, C. & R. RAUBER, 2008: Anbau von Winterzwischenfrüchten und Mais zur Biogaserzeugung. In: Mitteilungen der Gesell. für Pflanzenbauwissenschaften. 283-284.
- MENKE, C. A., 2011: Evaluierung von Winterzwischenfrüchten in einem Zweikultur-Nutzungssystem mit Mais für die Biogaserzeugung. Cuvillier, Universität Göttingen
- MENOLD, M., 2010: Sweet Clover Seed Production.
<<http://gov.mb.ca/agriculture/crops/forages/bjb00s03.html>> Zugriff am 05.02.2013.
- MERIPOLD, H., 2008: Breeding of fodder galega and white melilot varieties for their Maintenance. Eesti Maaviljeluse Instituut, Saku.
<<http://www.eria.ee/public/files/Summary-HM.pdf>> Zugriff am 29.07.2013.
- MERIPOLD, H., V. LOIDE & U. TAMM, o.J. [2009]: Ida-kitseherne ja valge mesika säilitusaretus. . Eesti Maaviljeluse Instituut, Saku.
<www.eria.ee/public/files/Lyhiaruanne_HM.pdf> Zugriff am 21.09.2012.
- MEYER, D. W., 1987: Sweetclover. An alternative to fallow for set-aside acreage in eastern North Dakota. North Dakota Farm Res. 44 (5), 3-8.
- MEYER, D. W., 2005: Sweetclover. Production and management. NDSU Extension Service, R-862. North Dakota State University, Fargo
<<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/hay/r862.pdf>> Zugriff am 05.02.2013.
- MEYER, D. W. & W. E. NORBY, 1994: Seeding rate, seeding-year harvest and cultivar effects on sweetclover productivity. North Dakota Farm Res. 50, 30-33.
- MICHEL, V., ZENK, A. & J. SCHMIDTKE, 2007: Gülzower PIAFStat-Verfahren. Standard der Versuchsauswertung in Deutschland. In: LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (Hrsg.): Beiträge zum Sorten- und Versuchswesen und zur Biostatistik, Plau, 61-71.
- MICHEL, V. & A. ZENK, 2007: Versuchsauswertung mit Methoden der Geoinformatik und Geostatistik. eine Neuausrichtung im landwirtschaftlichen Versuchswesen. In: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Beiträge zum Sorten- und Versuchswesen und zur Biostatistik, Plau, 90-95.
- MICKE, A., 1962: Eine bitterstofffreie Mutante bei Melilotus albus nach Bestrahlung mit thermischen Neutronen. Naturwissenschaften 49 (14), 332.
- MIELKE, H. & B. SCHÖBER-BUTIN, 2004: Anbau und Pflanzenschutz Nachwachsender Rohstoffe (Sonderkulturen). Eiweiß-, Öl-, Färber-, Inulin- und Faserpflanzen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem.

MILBRATH, L. R. & M. J. WEISS, 1998: Development, survival and phenology of the sweetclover weevil parasitoid, *Pygostolus falcatus* (Hymenoptera; Braconidae). The Great Lakes Entomologist 31 (2), 129-136.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2008a: Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2008. Abschlussbericht, Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2008b: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung in Mecklenburg-Vorpommern.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2009: Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2009. Abschlussbericht, Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2010: Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2010. Abschlussbericht, Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2011: Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2011. Abschlussbericht, Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2012: Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2012. Abschlussbericht, Schwerin.

MOELLER, L., C. HERBES, R. A. MÜLLER & A. ZEHNSDORF, 2010: Schaumbildung und -bekämpfung im Prozess der anaeroben Gärung. Landtechnik 2010 (3), 204-207.

MOYER, J. R., R. E. BLACKSHAW & H. C. HUANG, 2007: Effect of sweetclover cultivars and management practices on following weed infestations and wheat yield. Canadian Journal of Plant Science 87 (4), 973-983.

MÜLLER, J., 2009: Cumarin, persönliche Mitteilung.

MÜLLER, A., U. HEIMBACH & M. ZELLNER, 2013: Bericht zur Internationalen Konferenz zum Diabrotica-Forschungsprogramm vom 14. bis 16. November 2012 im Julius Kühn-Institut in Berlin-Dahlem. Journal für Kulturpflanzen 65 (1), 27-28.

NAIR, R. M., A. WHITTALL, S. J. HUGHES, A. D. CRAIG & D. K. REVELL, 2010: Variation in coumarin content of Melilotus species grown in South Australia. New Zealand journal of agricultural research 53 (3), 201-213.

NEHRING, K., M. BEYER & B. HOFFMANN, 1970: Futtermitteltabellenwerk. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

NUßBAUM, H., 2003: Silierung von Luzerne unterschiedlichen TS-Gehaltes mit und ohne den Einsatz von Impfkulturen. In: ARBEITSGEMEINSCHAFT GRÜNLAND UND FUTTERBAU (Hrsg.): 47.Jahrestagung in Braunschweig, 63-67. Wiss. Fachverl., Giessen.

NUßBAUM, H., 2007: Klee und Klee gras erfolgreich silieren. Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf. < http://lazbw.de/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_gl/Klee%20und%20Klee gras%20erfolgreich%20silieren.pdf> Zugriff am 09.09.2013.

NUßBAUM, H. & W. WURTH, 2011: Blühmischungen als Gärs substrat. Wie steht es um Silierbarkeit und Gärfähigkeit? mais 38 (1), 16-19.

NYKÄNEN-KURKI, P., P. LEINONEN & A. NYKÄNEN, 2003: Preliminary evaluation of annually cultivated forage legumes for organic farming in Finland. In: HELGADÓTTIR, Á. & Dalmannsdóttir S. (Hrsg.): Quality legume-based forage systems for contrasting environments, 72-75.

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

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), 2012: OECD schemes for the varietal certification or the control of seed moving in international trade. List of varieties eligible for seed certification 2012, Paris. <http://www.oecd.org/agriculture/standardsforseedtractorsforestfruitandvegetables/list%20of%20varieties_updated.pdf> Zugriff am 11.01.2013.

OTTOW, J. C. G., 2011: Mikrobiologie von Böden. Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

PAHLOW, G., 2003: Konservierung von Futterleguminosen. In: ARBEITSGEMEINSCHAFT GRÜNLAND UND FUTTERBAU (Hrsg.): 47.Jahrestagung in Braunschweig. Kurzfassungen der Referate und Poster, 23-31. Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen.

PAHLOW, G., 2006: Gärungsbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In: DLG: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.. 11-20.

PARRISH, Z. D., M. K. BANKS & A. P. SCHWAB, 2005: Bioremediation and biodegradation. Effect of root death and decay on dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere of yellow sweet clover and tall fescue. Technical Reports. Journal of Environmental Quality 34 (1), 207-216.

- 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.
- PAUL, C. & R. J. WILKINS (Hrsg.), 2001: Silagen aus Futterleguminosen für die Wiederkäuerfütterung. Gewinnbringender Einsatz von Futterleguminosen. EU-Projekt "Leguminosen zur Silageerzeugung in der extensiven Tierhaltung" und "LEGSIL".
- PÉREZ, C. M., V. DANDIKAS, K. KOCH, M. LEBUHN & A. GRONAUER, 2011: Einflussfaktoren auf die Hydrolyse eines Stroh- und Heumixes. In: NELLES, M. (Hrsg.): Third Bioenergy Promotion Conference, 303-311. Wissenschaftsverlag Putbus.
- PETERS, J., 2010: Beurteilung unterschiedlicher Energiefruchtfolgen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und Rentabilität bei der Rohstoffversorgung von Biogasanlagen für die Region Mecklenburg-Vorpommern. Dissertation, Rostock.
- PETERS, J., 2011: Maiserträge im EVA-Projekt. persönliche Mitteilung.
- 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.
- PIETERS, A. J., 1925: Difference in internode lengths between, and effect of variations in light duration upon, seedlings of annual and biennial white sweet clover. Journal of Agricultural Research 31 (6), 585-596.
- PIETERS, A. J. & L. W. KEPHART, 1921: Annual white sweet clover and strains of the biennial form. U.S. Dep. of Agr. (Dept. Circ.), 167.
- PIETSCH, G., 2004: Stickstoff-Fixierungsleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter den klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien.
- PIETSCH, G., J. K. FRIEDEL & B. FREYER, 2004: Ertrag, N₂-Fixierungsleistung und Wassernutzungseffizienz von Futterleguminosen in einem ökologischen Anbausystem. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 16, 219-220.
- PILLAI, K. M., 1962: Vergleichende Untersuchungen über den Verlauf der Stoffproduktion und der Entwicklung bei bitterstoffreichem und -freiem Steinklee und Luzerne. Dissertation, Universität Göttingen.
- PRITSCH, G., 1958: Der Bokharaklee (*Melilotus albus*) als Futterpflanze und Verbesserer der Bienenweide. Die deutsche Landwirtschaft 9 (6), 282-285.

- PROVOROV, N. A. & B. V. SIMAROV, 1990: Genetic variation in alfalfa, sweet clover and fengugreek for the activity of symbiosis with *Rhizobium meliloti*. *Plant Breeding* 105 (4), 300-310.
- REENTS, H. J., J. EGERER & A. HERMANN, 2009: Anfälligkeit von Leguminosen gegenüber Meloidogyne hapla. In: Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Zürich, 378-382.
- REMER, O., 1952: Die Anbauwürdigkeit des Bokharaklees. (Diskussionsbeitrag). *Die deutsche Landwirtschaft* 3 (4), 206-207.
- REMER, O., 1954: Ertragssteigerung durch Zwischenfrucht-, insbesondere den Bokharaklee-Anbau. *Die deutsche Landwirtschaft* 5 (4), 202-205.
- REUS, D., 2011: Ökonomische Bewertung. In: FNR: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow. ISBN: 978-3-942147-02-6, 101.
- RHYKERD, C. L. & B. J. HANKINS, 2007: Sweetclover Production and Utilisation in Indiana. <<http://www.agry.purdue.edu/ext/forages/publications/ay233.htm>> Zugriff am 12.01.2013.
- RIEGER, C. & P. WEILAND, 2006: Prozessstörungen frühzeitig erkennen. *Biogas Journal* (4), 18-20.
- ROEMER, T. & F. SCHEFFER, 1953: Lehrbuch des Ackerbaus. Paul Parey, Berlin und Hamburg, 4. Aufl.
- ROßBERG, D., V. MICHEL, R. GRAF & R. NEUKAMPF, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59 (7), 155-161.
- RUARK, M. D. & J. K. STUTE, 2009: Cover crops and nitrogen credits. In: Proceedings of the 2009 Wisconsin Crop Management Conference, 167-170. <<http://www.soil.wisc.edu/extension/wcmc/>> Zugriff am 11.08.2013.
- RÜBENSAM, E. & W. SIMON, 1961: Der Einfluß von Futterpflanzen als Haupt- und Zwischenfrüchte auf die Erträge und die Fruchtbarkeit verschiedener Böden. Teil I: Erträge von Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Futterpflanzenanteil auf sandigem Boden. *Albrecht-Thaer-Archiv* 5, 687-704.

- RUDORF, W. & P. SCHWARZE, 1958: Beiträge zur Züchtung eines cumarinfreien Steinklees und Untersuchungen über Cumarin und verwandte Verbindungen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung (39), 245-274.
- SANDERSON, M. A., D. W. MEYER & H. H. CASPER, 1986: Dicoumarol concentrations in sweetclover hay treated with preservatives and in spoiled hay of high- and low-coumarin cultivars of sweetclover. Animal Feed Science and Technology 14 (3-4), 221-230.
- SAUCKEN, K. VON, 1960: Ein Beitrag zum Herkunftsproblem bei Getreide. Dissertation, Universität Giessen.
- SCHALLER, A., 2002: Die Abwehr von Fressfeinden: Selbstverteidigung im Pflanzenreich. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 147 (4), 141-150.
- SCHEIBE, A., J. SCHMIDT & E. WOERMANN, 1953: Pflanzenbaulehre. Paul Parey, Berlin und Hamburg, 2. Aufl.
- SHELUTO, B. & I. NIKONOWITSCH, 2007: Die Zucht des weißen Steinklee (*Melilotus albus* L.) in Belarus. Unveröffentlichter Forschungsbericht.
- SHELUTO, B., I. NIKONOWITSCH, N. MAKOWSKI & M. DIETZE, 2007: Pionierpflanze für Sandböden. Steinklee steigert die Ertragsfähigkeit sandiger Böden. Neue Landwirtschaft (9), 50-51.
- SCHIEBLICH, J., 1959: Saatguterzeugung bei Futterpflanzen. Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- SCHLEGEL, M., 2009: statistische Absicherung und Versuchswiederholung bei kontinuierlichen Biogasversuchen. persönliche Mitteilung.
- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1960: Untersuchungen zur Physiologie des Cumarins an bitterstoffarmen und bitterstoffreichen Steinkleearten (*Melilotus*). Dissertation, Universität Rostock.
- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1961: Untersuchungen an Pfropfungen mit cumarinarmen und cumarinreichen *Melilotus*-Arten. Biologisches Zentralblatt 80 (3), 261-280.
- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1962: Artbastardierung mit Hilfe der Embryonenkultur bei Steinklee (*Melilotus*). Die Naturwissenschaften 49 (19), 452-453.
- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1963: Über Untersuchungen an *Melilotus albus* hinsichtlich des Gehaltes an Cumarinsäureglycosid. Die Naturwissenschaften 50 (14), 505-506.
- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1964: Über den Einfluß der Photoperiode auf den Gehalt an Cumarin und verwandten Verbindungen in den Blättern von *Melilotus albus*. Naturwissenschaften 51 (23), 556-557.

- SCHLOSSER-SZIGAT, G., 1966: Über den Steinklee. Seine Biologie als Grundlage für Anbau und Nutzung. Albrecht-Thaer-Archiv 10 (8), 769-786.
- SCHMIDT, R. & U. KLÖBLE, 2007: Kennzahlen für die Kontrolle im ökologischen Landbau. KTBL, Darmstadt.
- SCHMIDT, W. H., D. K. MYERS & R. W. VAN KEUREN, 2007: Value of Legumes for Plowdown Nitrogen. Ohio State University. AGF-111-01. <<http://ohioline.osu.edu/agfact/0111.html>> Zugriff am 20.01.2013.
- SCHRÖCK, O., 1948: Der gegenwärtige Stand der Steinkleezüchtung. Der Züchter 19, 59-68.
- SCHWARZ, W. (1957): Anlagemethoden und Auswertung von Feldversuchen. In: NEHRING, K., F. LÜDDECKE & W. SCHWARZ (Hrsg.): Versuchs- und Untersuchungsergebnisse. 1954-1957, 36-44, Neustrelitz.
- SCHWEIGER, A., M. HOFER, W. HARTL & J. VOLLMANN, 2012: N₂ fixation by organically grown soybean in Central Europe. Method of quantification and agronomic effects. European Journal of Agronomy (41), 11-17.
- SEIDEL, D., T. WETZEL & H. BOCHOW, 1990: Pflanzenschutz in der Pflanzenproduktion. Dt. Landwirtschaftsverl, Berlin, 3. Aufl.
- SEIFFERT, M. (Hrsg.), 1965: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- SIMON, W., 1960a: Luzerne, Klee und Klee gras. (Von der Saat bis zur Fütterung). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 2. neubearbeitete Auflage.
- SIMON, W., 1960b: Sandige Ackerböden. Bodenkunde, Pflanzenbau, Ökonomie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- SIMON, W., 1962: Haben Bokharaklee und Phazelia Anbauberechtigung? Die deutsche Landwirtschaft 13 (Beilage zu Heft 6).
- SIMON, W., 2009: Im Einklang mit der Narbe. Eine lange Lebens- und Leistungsdauer der Grünlandnarbe und damit Reduzierung von Umbruch und Neuansaat bleiben langfristiges Ziel. Bauernzeitung 50 (10. Woche), 44-45.
- SIMON, W., 2013: Anbau von Steinklee. persönliche Mitteilung.
- SIMON, W. & E. BRÜNING, 1964: Über die Anbaumöglichkeiten von Gräsern und Kleearten als Pionierpflanzen bei der Kippenrekultivierung. Zeitschrift für Landeskultur 5 (2), 133-154.

- SIMON, W. & D. EICH, 1956: Probleme und Methoden der Wurzeluntersuchungen (unter besonderer Berücksichtigung leichter Böden). Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau (100), 179-198.
- SIMON, W., D. EICH & A. ZAJONZ, 1957: Vorläufiger Bericht über Beziehungen zwischen Wurzelmenge und Vorfruchtwert bei verschiedenen Klee- und Grasarten als Hauptfrucht auf leichten Böden. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 104, 71-88.
- SIMON, W. & H. WATZEK, 2003: Praktische Anleitung für die Aufstellung von Fruchtfolgen. 4., neubearb. Aufl. für d. Bezirk Neubrandenburg.
- SIMON, W. & A. ZAJONZ, 1962a: Kultivierungsversuche mit Abraumerde auf Sandboden. Albrecht-Thaer-Archiv 6 (7), 463-476.
- SIMON, W. & A. ZAJONZ, 1962b: Versuche zur landwirtschaftlichen Kultivierung von sandigem Ödland. Albrecht-Thaer-Archiv 6, 623-640.
- SKIRDE, W., 1957: Hinweise zur Samenernte von Rotklee, Weißklee und Steinklee. Mit-schurin Bewegung. Zeitschrift der landwirtschaftlichen Praxis 6, 743-749.
- SMITH, G. R., G. W. EVERS & W. R. OCUMPAUGH (O. J.): Texas sweetclover. improving an old legume to meet current needs. Texas AgriLife Research. <<http://aggieclover.tamu.edu/sweetclover/>> Zugriff am 04.02.2013.
- SMITH, H. B., 1927: Annual versus biennial growth habit and its inheritance in *Melilotus alba*. American Journal of Botany 14 (March), 129-146.
- SMITH, W. K., 1964: Denta sweet clover. (Reg. No. 5). Crop Science (4), 666-667.
- SMITH, W. K. & H. J. GORZ, 1965: Sweetclover improvement. In: NORMAN, A. F. (Hrsg.): Advances in Agronomy, 163-231. Academic Press, New York.
- SNEYD, J., 1995: Alternative Nutzpflanzen. Ulmer, Stuttgart.
- SORENSEN, J. N. & K. THORUP-KRISTENSEN, 2003: Undersowing Legume Crops for Green Manuring of Lettuce. Biological Agriculture & Horticulture 21 (4), 399-414.
- SPECHT, G., 1939: Beiträge zum Anbau und zur Züchtungsgrundlage von Steinklee (*Melilotus*). Dissertation, Universität Jena.
- SPECHT, G., H. GÖRLITZ & K. SCHMIDT, 1960: Untersuchungen über den Anbau von weißem Steinklee. Albrecht-Thaer-Archiv 4 (7), 541-555.
- SPIEKERS, H., 2006: Grundlagen. In: DLG: Praxishandbuch Futterkonservierung. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.. 7-10.
- STÄHLIN, A., 1969: Günfutter und Heu. In: BECKER, M. & K. NEHRING (Hrsg.): Handbuch der Futtermittel. 139-140, Hamburg und Berlin.

- STEIKHARDT, H., 1955: Saatzeiten mit Klee und Klee gras-Gemenge. In: Bericht über die Versuche der Jahre 1952-1954, 288-289.
- STEIKHARDT, H., 1964: Bericht über Versuche mit Zwischenfruchtuntersaaten. Zeitschrift für landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen 10, 137-153.
- STEIN, W., 1967: Die Rüsselkäferfauna des Grünlandes und ihre phytopathologische Bedeutung. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 60 (1-4), 141-181.
- STEVENSON, T. M. & W. J. WHITE, 1940: Investigations concerning the coumarin content of sweet clover. I. The breeding of a low-coumarin line of sweet clover - *Melilotus alba*. Scientific Agriculture 21 (18-28).
- STICKLER, F. C. & I. J. JOHNSON, 1959a: Dry matter and nitrogen production of legumes and legume associations in the fall of the seedling year. Agronomy Journal (3), 136-138.
- STICKLER, F. C. & I. J. JOHNSON, 1959b: The comparative value of annual and biennial sweetclover varieties for green manure. Agronomy Journal (3), 184.
- STRAUB, C., A. VETTER & A. NEHRING, 2009: Fruchtfolgegestaltung für Biogas. forum. new power (3), 4-7.
- STRAUB, C., 2011: Projektbeschreibung. In: FNR: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow. ISBN: 978-3-942147-02-6, 101.
- STRÖCKER, K., 2011: *Sitona* spp. in Leguminosen. Persönliche Mitteilung.
- STRUBE, J. & P. STOLZ, 2001: Bohne ist nicht gleich Bohne. <<http://www.orgprints.org/00001957/>> Zugriff am 09.09.2013.
- SWIETOCHOWSKI, B. & J. SIENKIEWICZ, 1962: Die Bedeutung des Steinklees als Gründüngungspflanze auf leichten Böden. In: DEUTSCHE AKADEMIE DER LANDWIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Über Fragen der organischen und mineralischen Düngung auf Sandböden, 115-124.
- Thieme, 2012: Römpp Online. Cumarin. <<http://www.roempp.com>> Zugriff am 09.09.2012.
- TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.), 2009: Abschlussbericht 2009 zum Teilprojekt 1. Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime, Dornburg.

- THURMAN, N. P. & E. S. P. BROMFIELD, 1988: Effect of variation within and between *Medicago* and *Melilotus* species on the composition and dynamics of indigenous populations of *Rhizobium meliloti*. *Soil Biology and Biochemistry* 20 (1), 31-38.
- TITZE, A., 2012: Erträge von Rotklee gras auf dem Ökofeld Gülzow. persönliche Mitteilung.
- TOETZ, P., 2000: Einfluß verschiedener Stillungsformen auf die Vegetationsentwicklung von Ackerbrachen im Tertiärhügelland. Dissertation, Technische Universität München.
- TOEWS, T., 2009: Ökonomie. In: VETTER, A., M. HEIERMANN & T. TOEWS (Hrsg.): Anbausysteme für Energiepflanzen. optimierte Fruchtfolgen + effiziente Lösungen, 227-286. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.
- TURKINGTON, R. A., P. B. CAVERS & E. REMPEL, 1978: The biology of Canadian weeds. 29. *Melilotus alba* Desr. and *M. officinalis* (L.) Lam. *Canadian Journal of Plant Science* 58 (2), 523-537.
- UFER, M., 1930: Die Verwendung von Bienen bei Kreuzungsversuchen mit Steinklee (*Melilotus*). *Der Züchter* (2), 305-308.
- UFER, M., 1932: Züchtung und Genetik des Steinklees. *Der Züchter* (4), 91-97.
- UNKOVICH, M. J. & J. S. PATE, 2000: An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. *Field Crops Research* 65 (2-3), 211-228.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure), 2006: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probennahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI-Richtlinie 4630. (April 2006).
- VETTER, H. & S. SCHARAFAT, 1964: Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* (120), 275-298.
- VIIIL, P. & T. VÕSA, 2005: *Liblikõielised haljasvõetised*, Eesti Maaviljeluse Instituut, Saku. <http://eria.ee/public/files/Infoleth_148.pdf> Zugriff am 21.09.2012.
- VINTILOIU, A., M. BRULÉ, A. LEMMER, H. OECHSNER, T. JUNGBLUTH, S. JURCOANE & F. ISRAEL-ROMING, 2009: Einfluss der Temperatur und des pH-Wertes auf die Aktivität von Enzymen im Biogasprozess. *Landtechnik* 64 (1), 22-24.
- VOIGTLÄNDER, G., H. JACOB & P. BOEKER (Hrsg.), 1987: Grünlandwirtschaft und Futterbau. Ulmer, Stuttgart.
- VOLLERT, C. A. W., 1964: Mobilisierungsvorgänge an Calcium-, Eisen- und Aluminiumphosphaten durch Chelatoren aus dem Wurzelraum von Luzerne und Steinklee. Dissertation, Universität Göttingen.

Výzkumný ústav pícninářský Troubsko, o.J.: Komonice bílá (jednoletá forma).

WAGNER, F., G. PREDIGER, B. TIGGEMANN & I. SCHNIDT, 2007: Der Feldversuch. Durchführung und Technik, Bad Hersfeld.

WEILAND, P. & E. ABDOUN, 2009: Untersuchung der funktionalen Zusammenhänge zwischen der Silierung und Methangärung verschiedener Energiepflanzen auf die Gasausbeute und Gasqualität. Abschlussbericht.

WEIßBACH, F., 1993: Grünfütter und Grünfütterkonservate. In: JEROCH, H., G. FLACHOWSKY & F. WEIßBACH: Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena. 74-154.

WEIßBACH, F., 1998a: Über die Bestimmung der Gärverluste in Silierversuchen unter Laborbedingungen. In: VDLUFA Kongressband 1998 Gießen, VDLUFA-Schriftenreihe 49, 461-464.

WEIßBACH, F., 1998b: Untersuchungen über die Beeinflussung des Gärungsverlaufes bei der Bereitung von Silage durch Wiesenkräuter verschiedener Spezies im Aufwuchs extensiv genutzter Wiesen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 185, 1-99.

WEIßBACH, F., 2005. In: KTBL, Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau, KTBL, Darmstadt.

WEIßBACH, F., 2008: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Silagen als Substrat für Biogasanlagen. In: VDLUFA Kongressband 2008 Jena, VDLUFA-Schriftenreihe 64, 29-31.

WEIßBACH, F., 2009a: Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 64 (5), 317-321.

WEIßBACH, F., 2009b: Wieviel Biogas liefern nachwachsende Rohstoffe? Neue Methode zur Bewertung von Substraten für die Biogasgewinnung. Neue Landwirtschaft (11), 107-112.

WEIßBACH, F., 2009c: Silierung und Methanbildungspotenzial von Leguminosen, insbesondere von Steinklee. persönliche Mitteilung.

WEIßBACH, F., 2010: Das Gasbildungspotenzial von pflanzlicher Biomasse bei der Biogasgewinnung. In: VDLUFA Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Schriftenreihe 66, 490-501.

WEIßBACH, F., 2011: Das Gasbildungspotential von Gülle und Stallmist. In: NELLES, M. (Hrsg.): Third Bioenergy Promotion Conference, 267-271. Wiss.-Verl, Putbus.

WILLARD, C. J., 1926: An experimental study of sweetclover. Dissertation, Ohio State University.

WINK, M., 1988: Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical and Applied Genetics* 75, 225-233.

WITTMACK, L., 1922: *Landwirtschaftliche Samenkunde*. Parey, Berlin.

WIVSTAD, M., 1997: Plant morphology and content of nitrogen, cell wall and lignin at different phenological stages of red clover and yellow sweetclover. *Swedish journal of agricultural research / publ. by the Agricultural College of Sweden* 27 (1), 3-14.

WIVSTAD, M., 1999: Nitrogen mineralisation and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. *Plant and Soil* 208, 21-31.

WÖRNER, M. & P. SCHREIER, 1990: Flüchtige Inhaltsstoffe aus Steinklee (*Melilotus officinalis* L. Lam.). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* (190), 425-428.

YISEHAK, K., 2008: Effekt of seed proportions of Rhodes grass (*Chloris gayana*) and white sweet clover (*Melilotus alba*) at sowing on agronomic characteristics and nutritional quality. *Livestock Research for Rural Development* 20 (2), 28.

ZENTNER, R. P., P. BASNYAT, S. A. BRANDT, A. G. THOMAS, D. ULRICH, C. A. CAMPBELL, C. N. NAGY, B. FRICK, R. LEMKE, S. S. MALHI & M. R. FERNANDEZ, 2011: Effects of input management and crop diversity on non-renewable energy use efficiency of cropping systems in the Canadian Prairie. *European Journal of Agronomy* 34 (2), 113-123.

ZIELONKA, S., A. LEMMER, H. OECHSNER & T. JUNGBLUTH, 2009: Zweiphasige Vergärung nachwachsender Rohstoffe - Vergleich verschiedener Substrate. *Landtechnik* 64 (4), 268-271.

ZACHOW, F., 1963: Jahresbericht 1963. Futterpflanzen leichter Böden (1956-1963), Institut für Pflanzenzüchtung Gülzow.

ДАВИДЬЯН, Г., 2008а: Вредители сельскохозяйственных культур. *Sitona cylindricollis* Fahr. - Донниковый (узколобый) клубеньковый долгоносик. <http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Sitona_cylindricollis/> Zugriff am 03.03.2013.

ДАВИДЬЯН, Г., 2008b: Вредители сельскохозяйственных культур. *Sitona humeralis* Steph.- Люцерновый клубеньковый долгоносик. <http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Sitona_humeralis/> Zugriff am 03.03.2013.

ДАВИДЬЯН, Г., 2008с: Вредители сельскохозяйственных культур. *Sitona griseus* F. - Люпиновый долгоносик (серый гороховый слоник). <http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Sitona_griseus/> Zugriff am 03.03.2013.

ДАВИДЬЯН, Г., 2008d: Вредители сельскохозяйственных культур. *Sitona crinitus* Hrbst. - Щетинистый клубеньковый долгоносик.

<http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Sitona_crinitus/> Zugriff am 03.03.2013.

ДЗЮБЕНКО, Н. И. & Е. А. ДЗЮБЕНКО, 2008: Основные сельскохозяйственные культуры. *Melilotus albus* Medic. - Донник белый. <http://www.agroatlas.ru/ru/content/cultural/Melilotus_albus_K/> Zugriff am 03.03.2013.

СТЕКУРА, П. А., 1982: Донник. семеноводство и использование как кормовой культуры в условиях засушливой степи. Кайнар, Алма/Ата.

СТЕПАНОВ, А. Ф., У. М. САГАЛБЕКОВ, Б. А. АБУБЕКЕРОВ, В. И. ДМИТРИЕВ, В. Э. ШНАЙДЕР, Г. Я. КОЗЛОВА & А. И. ИВАНОВ, 2005: Сорт донника желтого омский скороцелый. <<http://www.omgau.ru/kormoproizvodstva-thppr/nauchnyie-razrabotki-kafedri-rekomenduemyie-dlya-vnedreniya-v-proizvo.html>> Zugriff am 22.03.2010.

СУВОРОВ, В. В., 1950: Донник - *Melilotus* (Tourn.) Adans. Em. In: СИНСКАЯ, Е. Н. (Hrsg.): Многолетние бобовые травы 13 (1), 345-502, Москва.

ТУЖИЛИН, В. М., А. В. БЫКОВА, А. М. ТЫСЛЕНКО & М. Н. НОВИКОВ, 2002: Донник в нечерноземной зоне, Владимир.

ШЛАПУНОВ, В. Н., 2008: Донник белый – конкурент люцерне и клеверу. Белорусское Сельское Хозяйство – ежемесячный научно-практический журнал 4 (72) <<http://agriculture.by/?p=445>> Zugriff am 16.12.2012.

ШУКИС, Е. Р. & Е. В. ГУРКОВА, 2006: Влияние гидротермических условий на рост и развитие донника. Вестник Алтайского государственного аграрного университета 23 (3), 45-47 <http://www1.asau.ru/doc/nauka/vestnik/2006/Agroekologiya_Shukis.pdf> Zugriff am 16.12.2012.

Erklärung

Lebenslauf

Thesen

Zur Dissertationsschrift

UNTERSUCHUNGEN ZUM ANBAU UND ZUR VERWERTUNG VON STEINKLEE

vorgelegt von Dipl.-Ing. agr. Ines Ingeborg Bull

Problem- und Zielstellung

1. Unter den aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden auf den trockenen Sandstandorten Norddeutschlands nur sehr wenige Fruchtarten angebaut. Bekannte Probleme enger Fruchtfolgen verstärken sich in diesen Regionen durch das insgesamt niedrige Ertragsniveau und das Fehlen bodenfruchtbarkeitsfördernder Kulturen.
2. Weißer und Gelber Steinklee (*Melilotus albus* und *M. officinalis*) sind tiefwurzeln- und überwinternde Leguminosen, die auch auf Sandböden und bei niedrigen Jahresniederschlagsmengen hohe Erträge bringen können. Ihre Einbeziehung in die Fruchtfolge fördert den Humusaufbau, verbessert die Bodenstruktur, verringert den Bedarf an N-Düngern und erhöht die Artendiversität. Blühende Bestände sind eine hervorragende Bienenweide. Der Anbau als Energiepflanzen für Biogasanlagen ermöglicht ihre wirtschaftliche Verwertung.
3. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht in der Beschreibung der Kulturpflanze Steinklee und der Ermittlung der Anbau- und Nutzungsmöglichkeiten unter den heutigen Produktionsbedingungen. Dafür wurden neben einer Literaturrecherche Feldversuche zur Produktionstechnik und zur Einordnung in die Fruchtfolge durchgeführt. In den Versuchen standen die Aussaatzeit, die Kalkung und die Pflege der Bestände, das Fruchtfolgeglied Steinklee-Silomais und Herkunftsprüfungen im Vordergrund. Empfehlungen zum Umgang mit *Sitona* spp. erfolgen auf der Grundlage von ergänzenden Beobachtungen zum Auftreten dieser gefährlichen Schädlinge. Außerdem wurden die Siliereigenschaften von Steinklee Biomasse und ihr möglicher Einsatz zur Biogasgewinnung im Labormaßstab geprüft.

Forschungsergebnisse

4. Die Herkunft des Saatgutes hat einen entscheidenden Einfluss auf das Ertragspotential eines Steinkleebestandes. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Eigenschaft der Ein- oder Zweijährigkeit ausschließlich von der Saatgutherkunft bestimmt wird. Auch Ertragsniveau, Wuchsform und Wurzelbildung lassen sich auf verschiedene Herkünfte zurückführen. Außerdem beinhalten die Herkünfte unterschiedliche Anteile der beiden Steinkleearten *Melilotus albus* und *M. officinalis*. Insgesamt wurden elf verfügbare Herkünfte auf ihre Ertrags- und Siliereigenschaften geprüft und beschrieben.

5. Die in der Literatur herausgestellten besonders geringen Ansprüche an Standort und Bodenart wurden im Prinzip bestätigt. Eine Abhängigkeit des Pflanzenwachstums vom pH-Wert konnte jedoch nicht exakt nachgewiesen werden. Die experimentelle Kalkung deutet auf einen nur leichten Zusammenhang hin, der im Feldversuch von anderen Faktoren mit deutlich größerem Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung des Steinklees überlagert wurde.
6. Auch die sehr gute Winterhärte des zweijährigen Steinklees wurde nachgewiesen, die allerdings durch einen zu frühen Erntetermin im Herbst des Ansaatjahres beeinträchtigt werden kann.
7. Von den geprüften Maßnahmen zur chemischen Unkrautbekämpfung im Jugendstadium waren bei einmaliger Anwendung zu BBCH 13 die für Rotklee zugelassenen Herbizidwirkstoffe Bromoxynil und alternativ Bentazon geeignet. Als mechanische Unkrautbekämpfung erwies sich ein Schröpschnitt als vorteilhaft. Positiv ertragswirksam werden die Behandlungen allerdings nur bei starkem Unkrautdruck und hohem Steinkleertrag.
8. Von einer N-Startdüngung profitieren (standortabhängig) eher die Unkräuter als die Steinkleepflanzen.
9. Neue Steinkleebestände werden sehr schnell von *Sitona* spp. besiedelt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl der Fraßkerben ein tauglicher und leicht ermittelbarer Parameter zur Bestimmung der Befallsdichte mit *Sitona*-Käfern ist. Schadschwellen müssen auf das Entwicklungsstadium der Pflanzen und besondere Standortverhältnisse bezogen werden. Schädigungen durch *Sitona*-Käfer und ihre Larven sind insbesondere während der Jugendentwicklung der Pflanzen und bei ungünstigen Standortbedingungen problematisch.
10. Die optimale Aussaatzeitspanne des Steinklees ist vergleichsweise lang. Die Aussaat kann sowohl wie eine Hauptfrucht als Frühjahrsblanksaat als auch wie eine Zweitfrucht nach einer Winterzwischenfrucht wie Grünroggen erfolgen. Aussaattermine nach Mitte Juli bilden zwar überwinterrungsfähige Bestände, fallen im Ertrag jedoch deutlich ab.
11. Beim Steinklee findet das größte Massenwachstum im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres statt. Mit Beginn der Vollblüte ist das Biomassemaximum erreicht. Spätere Erntezeitpunkte sind aus ertraglicher Sicht nicht sinnvoll. Frühe Umbruchtermine führen zu höheren N-Rückständen für die Nachfrucht. Steinklee ist wegen der intensiven Durchwurzelung des Bodens und der N-Fixierung eine günstige Vorfrucht für Mais.
12. Neben der bekannten Beziehung der Wiederaustriebsfähigkeit nach einem Schnitt zu aktiven Stängelknospen in der Stoppel wurde im Entwicklungsstadium der Pflanzen

ein weiterer Einflussfaktor festgestellt. Steinklee treibt dabei umso schwächer nach, je weiter die generative Entwicklung fortgeschritten ist.

13. Die jahresbedingten Ertragsschwankungen sind besonders auf den sehr leichten Böden relativ hoch, liegen aber innerhalb der für andere Leguminosen bekannten Größenordnung.

14. Die Wahl des Umbruchtermins der Steinkleekultur kann flexibel gehandhabt werden. Es sind im zweiten Vegetationsjahr des Steinklees alle Varianten der Nachfruchtstellung möglich.

15. Der kumulierte Biomasseertrag aus einer Schnittnutzung des Steinklees im Frühjahr des zweiten Vegetationsjahres und einem anschließend angebauten Zweitfruchtmais liegt wie bei anderen Zweitfruchtssystemen über dem von Mais nach Steinkleeegründung in Hauptfruchtstellung.

16. Die Höhe der N-Rückstände ist vom Umbruchtermin und der oberirdischen Biomassebildung abhängig. Eine Möglichkeit der Bestimmung der für die Nachfrucht zur Verfügung stehenden N-Mengen besteht in der Schätzung der Wurzelmasse. Dafür wurden folgende Regelmäßigkeiten abgeleitet. Nach der Aussaat bis Anfang September überwiegt die Wurzelmenge die oberirdische Biomasse um mindestens das Doppelte. Zwischen Anfang September und Ende Oktober liegt das Wurzelgewicht zwischen der Hälfte und dem Doppelten des Sprossgewichtes und zeigt in diesem Zeitraum eine rasante Zunahme. Nach der Überwinterung nimmt das Wurzelgewicht aufgrund der Auslagerung von Speicherstoffen ab und liegt ab Vegetationsbeginn bis zum 10. Mai zwischen dem doppelten und einem halben Sprossgewicht. Nach dem 10. Mai entspricht die Wurzelmenge bei abnehmender Tendenz nur noch einem Viertel des Gewichts der oberirdischen Biomasse. Die Schätzbereiche für die N-Rückstände ergeben sich aus der Multiplikation mit den N-Gehalten der Wurzeln zum jeweiligen Entwicklungsstadium.

17. In Abhängigkeit von der Wuchsleistung liegt das N-Fixierungspotential des Steinklees insgesamt bei ca. 100 - 300 kg N ha⁻¹ N. In den Wurzeln sind besonders hohe N-Mengen im Frühjahr nach der Überwinterung gespeichert.

18. Die Erfahrungen aus dem Produktionsexperiment belegen, dass alle Arbeitsgänge im Steinkleeanbau mit den üblicherweise in Landwirtschaftsbetrieben vorhandenen Maschinen und Geräten durchgeführt werden.

19. Die Biomassequalität verändert sich mit der Entwicklung der Pflanzen im Vegetationsverlauf stark. Bekannte Futtermitteltabellenwerte (BEYER et al. 1986) wurden bestätigt und können um Angaben zu den Ernteterminen „vor Überwinterung“, „vor dem Knospenstadium“, „Knospenstadium“ und „nach der Vollblüte“ durch Laboranalysen ergänzt werden.

20. Die Ergebnisse zur Silagequalität zeigen, dass Steinklee unter Beachtung der allgemeinen Silierregeln erfolgreich konserviert werden kann. Die sicherste Variante ist dabei die gemeinsame Konservierung mit einem kohlenhydratreichen Material.
21. Es wurde nachgewiesen, dass spezielle sekundäre Inhaltsstoffe im Steinkleesubstrat Fehlgärungen bei ungünstigen Silierbedingungen verhindern, ohne die Milchsäuregärung zu beeinträchtigen.
22. Die Fütterung einer Biogasanlage mit Steinklee oder mit Steinkleeanteilen führt zu stabilen Fermentationsprozessen. Die Versuche zum Gärverlauf mit Steinklee in der Labor-Biogasanlage zeigten einen stabilen Prozessverlauf mit guter Substratausnutzung.
23. Der Cumaringehalt der Biomasse führt in den Konzentrationen, wie sie in den Pflanzen der geprüften cumarinreichen Herkünfte vorkommen (bis 0,6 % TS), nicht zu einer Hemmung im Biogasprozess. Auch andere sekundäre Pflanzenstoffe des Steinklees oder hohe NH_4^+ - oder H_2S -Gehalte aufgrund eines höheren Eiweißgehaltes im Vergleich zu Mais bewirken keine Störung des Biogasprozesses. Eine Akkumulation der Hemmstoffe im Prozessverlauf wurde in den Laborversuchen nicht beobachtet.
24. Das Entwicklungsstadium der Pflanzen beeinflusst die Methanausbeute stark. So lassen sich mittlere Methanbildungspotentiale von $300 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ aus einem Herbstschnitt im Ansaatjahr erwarten. Im zweiten Vegetationsjahr können ca. $350 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ bei einem Schnitt bis zum Knospenstadium und $250 \text{ l}_\text{N} \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$ ab der Vollblüte erwartet werden.
25. Der erzielbare Biomasseertrag liegt im Ansaatjahr zwischen 25 und 80 dt TM ha^{-1} und im Hauptnutzungsjahr zwischen 100 und $150 \text{ dt TM ha}^{-1}$. Das entspricht Methanträgen von ca. $1200 - 2850 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ und ca. $3000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$.

Schlussfolgerungen

26. Die geprüften Steinkleeherkünfte bewiesen ihre geringen Standortansprüche auch auf den trockenen Sandböden. Das bedeutet, dass der Steinklee auch unter unseren heutigen Anbauverhältnissen eine Anbauberechtigung hat und somit geeignet ist, die Fruchtfolgen in den benachteiligten Gebieten zu bereichern. Der Steinklee soll als Komplementärpflanze den Mais auf den grundwasserfernen Sandböden ergänzen und nicht ersetzen.
27. Besondere Aufmerksamkeit verdienen die ertragreiche tschechische Sorte „Krajova“ und die Wiederentdeckung eines cumarinarmen Stammes in der Genbank des IPK Gatersleben.
28. Aufgrund der starken Unterschiede im Wurzelsystem ergeben sich die größten positiven Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit nach dem Anbau zweijähriger Herkünfte. Die einjährigen Formen des Steinklees eignen sich wegen der geringeren Konkurrenzkraft

und dem stärkeren Sprosswachstum im Ansaatjahr vor allem für eine kurzfristige Nutzung als Gründüngung, für Rekultivierungs- und Blühmischungen oder zur Erhöhung der Blühintensität eines Steinklee-Mischbestandes im ersten Vegetationsjahr.

29. Steinklee lässt sich aufgrund seiner kurzen Kulturdauer gut in Ackerbaufruchtfolgen einordnen. Eine weite optimale Aussaatzeitspanne und verschiedene Möglichkeiten zum Umbruchtermin erlauben eine relativ variable Anpassung an die Produktionsziele und die aktuelle Witterung.

30. Im Frühjahr umgebrochener Steinklee ist aufgrund der intensiven Bodendurchwurzelung und der hohen N-Rückstände eine sehr günstige Vorfrucht für Mais. Der Anbau des Fruchtfolgepaars Steinklee-Mais stellt nicht nur für ökologisch wirtschaftende Betriebe eine Möglichkeit dar, hohe Maiserträge ohne ergänzende N-Düngung zu erzielen. Bei Anbau von Zweitfruchtmais nach einem Steinkleeschnitt sollte die übliche N-Düngung deutlich reduziert werden.

31. Eine verlässliche Saatgutqualität ist eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Steinkleeanbau in Praxisbetrieben. Mit der Beschreibung der Eigenschaften verschiedener Saatgutherkünfte wurde eine erste Grundlage für eine gezielte Vermehrung und Züchtung ertragreicher Steinkleestämme gelegt.

32. Bei einem Boden-pH-Wert $> 5 - 5,5$ hat die Bodenazidität nur einen untergeordneten Einfluss auf das Wachstum des Steinklees. Die turnusgemäße Kalkung kann in einer Rotation trotzdem gut vor der Steinkleeaussaat durchgeführt werden, da keine negativen Effekte zu erwarten sind.

33. Eine N-Startdüngung kann als Regelmaßnahme nach den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht empfohlen werden.

34. Unkräuter sind am günstigsten vorbeugend und durch die Unterstützung einer guten Jugendentwicklung des Steinklees zu regulieren. Bei einer guten Bestandsentwicklung und mittlerem Unkrautdruck kann auf eine Bekämpfung ganz verzichtet werden. Als Maßnahme im Nachauflauf darf gegenwärtig nur ein Schröpschnitt empfohlen werden. Mit den Wirkstoffen Bromoxynil und Bentazon könnten ggf. relativ kleeverträgliche chemische Herbizide eingesetzt werden.

35. Als gefährlichste Schädlingsgruppe für den Steinkleeanbau sind aktuell Käfer der Gattung *Sitona* einzustufen. Ihre Überwachung kann mithilfe der Auszählung der typischen Blattrandfraßkerben erfolgen. Schadschwellenwerte sind unbedingt auf das Entwicklungsstadium des Steinklees zu beziehen. Für Grenzstandorte sollten geringere Schadschwellen angesetzt werden. Die wichtigsten Maßnahmen zur Schadensabwehr dienen der Vorbeugung des Aufbaus hoher Populationsdichten von *Sitona* s. str. Bei

hohen Befallsdichten können ergänzend Spätsaaten und Umbruch von Teilflächen, chemische Behandlungen jedoch nur zum Keimpflanzenschutz genutzt werden.

36. Verschiedene Formen des Gemengeanbaus könnten geeignet sein, Ertragsunsicherheiten des Steinklees im Ansaatjahr auszugleichen. Zur Anbaugestaltung dieser Verfahren besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf.

37. Als wichtigster Forschungsbedarf wird die Untersuchung von noch nicht geklärten jahresabhängigen Ertragsschwankungen angesehen. Dabei dürften die Standortvoraussetzungen für eine effektive N-Fixierung eine wichtige Rolle spielen.

38. Für eine mehrfache Ernte müssen aufgrund der entwicklungsbiologischen Besonderheiten des Steinklees folgende Regeln zum Schnittregime eingehalten werden. Für eine sichere Überwinterung zweijähriger Herkünfte darf der Herbstschnitt im Ansaatjahr erst nach vollständiger Ausbildung der Überwinterungsorgane durchgeführt werden. Eine wiederholte Ernte im gleichen Jahr erfordert einen vorhergehenden Schnitt im vegetativen Stadium und den Erhalt aktiver Stängelknospen.

39. Für die Schnittnutzung empfiehlt sich in Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung eine nur ein- bis zweimalige Ernte pro Jahr. Die optimalen Erntetermine liegen Anfang Oktober im Ansaatjahr und Mitte Juli zur Vollblüte im zweiten Vegetationsjahr. Zusätzliche vorgezogene Schnitttermine können bei starkem Wachstum zur Vermeidung von Lagerbildung bis Mitte Juli im Ansaatjahr und evtl. bis zum Knospenstadium im zweiten Vegetationsjahr sinnvoll sein.

40. Die erarbeiteten Schätzbereiche der Wurzelmenge und der N-Fixierung in Abhängigkeit von dem Umbruchtermin und der Wachstumsleistung des Steinkleebestandes ermöglichen eine bessere Abschätzung der der Nachfrucht zur Verfügung stehenden N-Rückstände als die in der Literatur zu findenden weit gefächerten Pauschalwerte. Ein wissenschaftlich exakter Nachweis bzw. eine genauere Aussage zur N-Nachlieferung für die Folgefrucht steht noch aus und erfordert eine darauf ausgerichtete umfangreiche Versuchsanstellung.

41. Aus Steinkleebiomasse können lagerfähige Silagen hergestellt werden. Dabei müssen die bekannten Silierregeln eingehalten werden. Für Erntegut aus Herbstschnitten stellt die gemeinsame Silierung mit Mais eine einfache Variante dar. Material aus Sommerschnitten mit TS-Gehalten zwischen 25 und 35 % benötigt für günstige Silierbedingungen keine oder nur kurze Anwelkzeiten.

42. Mit der vorliegenden Arbeit wird die Eignung des Steinklees für die Erzeugung von Biogas belegt. Eine züchterische Reduzierung des Cumaringehaltes des Steinklees ist für die Biogaserzeugung aus Substratgemischen, die bis zu 1/3 Steinkleebiomasse enthalten, nicht erforderlich. Dem Abbau oder der Umwandlung des Cumarins und weite-

rer sekundärer Pflanzenstoffe konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgegangen werden. Die Klärung der Frage zum Verbleib des Cumarins bleibt eine Aufgabe für die Grundlagenforschung im Biogasbereich.

43. Der cumarinarme Zuchtstamm in der Genbank des IPK Gatersleben sollte für spätere Forschungsarbeiten erhalten werden. Der Erhalt dieser rezessiv vererbten Eigenschaft erfordert eine angepasste Vermehrung.

44. Die von WEIßBACH (2009b) für Luzerne vorgeschlagene Schätzformel zur Berechnung des theoretischen Methanbildungspotentials auf der Grundlage der FoTS lässt sich auch für Steinkleesubstrate einsetzen.

45. Steinkleebiomasse enthält im Vergleich zu Silomais mehr Rohfaser. Daraus resultieren die relativ geringeren Methanbildungspotentiale. Neuere Forschungen stellen einen besseren Aufschluss faserreicher Ausgangssubstrate im Biogasreaktor in Aussicht. Wenn diese Verfahren Praxisreife erlangen, lassen sich auch die Methanausbeuten aus Steinkleesubstraten erhöhen.

46. Um die Wirtschaftlichkeit des Anbaus insgesamt erfassen zu können, müssen neben der Ertragshöhe des Steinklees und einer Vergleichskultur unter bestimmten Standortbedingungen auch die Einsparung an Mineraldüngern, Pflanzenschutzmitteln, Bodenbearbeitung, eine Veränderung der Arbeitswirtschaft und die Vorfruchteffekte kalkuliert werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Anbauverfahren des Steinklees je nach Kulturdauer und Wurzelmasseleistung unterschiedlich zu bewerten sind. Vor allem für die sichere Einschätzung des Vorfruchtwertes und der langfristigen Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit sind die hier vorgestellten Ergebnisse noch nicht ausreichend.

Anhang

Tab. 56: Methoden der Laboranalysen und Abkürzungen der Parameter¹³⁴

Bodenuntersuchungen		
pH (CaCl ₂)		VDLUFA I A 5.1.1
P ₂ O ₅		VDLUFA I A 6.2.1.2
K ₂ O		VDLUFA I A 6.2.1.2
Mg		VDLUFA I A 6.2.4.2
NH ₄ ⁺ -N (CaCl ₂ -löslich)		VDLUFA I A 6.1.4.1
NO ₃ ⁻ -N (CaCl ₂ -löslich)		VDLUFA I A 6.1.4.1
Trockenmasse		VDLUFA I A 2.1.1
Pflanzen-, Silagen- und Gärrestuntersuchungen		
Frischmasse	FM	
Trockenmasse	TM	VDLUFA III 3.1
organische Trockensubstanz	oTS	VDLUFA III
Rohasche	RA	VDLUFA III 8.1
Rohprotein	RP	VDLUFA III 4.1.1
Rohfaser	RFa	VDLUFA III 6.1.1
Rohfett	RFe	VDLUFA III 5.1.1
N-freie Extraktstoffe	NFE	VDLUFA III
Kalzium	Ca	VDLUFA III 2.2.6
Phosphor	P	VDLUFA III 2.2.6
Natrium	Na	VDLUFA III 2.2.6
Magnesium	Mg	VDLUFA III 2.2.6
Kalium	K	VDLUFA III 2.2.6
Schwefel	S	VDLUFA III 10.8.3
Gesamtzucker außer Saccharose	Zucker	VDLUFA III 7.1.3
Stärke	-	VDLUFA III 7.2.1
pH-Wert	pH	VDLUFA 18.1
Ammoniak	NH ₃	VDLUFA III 4.8.1
Essigsäure	ES	LUFAR, GC-Analyse
Propionsäure	PS	LUFAR, GC-Analyse
i-Buttersäure	IB	LUFAR, GC-Analyse

¹³⁴ VDLUFA I, II und III = BASSLER, R. (Hrsg.), 1976: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Methodenbuch. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Darmstadt, VDLUFA-Verl., 1973-.Band I, II und III

LUFAR = Methodenrichtlinie der LUFA Rostock

n-Buttersäure	NB	LUFAR, GC-Analyse
i-Valeriansäure	IV	LUFAR, GC-Analyse
n-Valeriansäure	NV	LUFAR, GC-Analyse
n-Caprinsäure	VC	LUFAR, GC-Analyse
Milchsäure	MS	LUFAR, spektrometrisch (Spekol)
Methanol		LUFAR, GC-Analyse
Ethanol		LUFAR, GC-Analyse
iso-Propanol		LUFAR, GC-Analyse
n-Propanol		LUFAR, GC-Analyse
iso-Butanol		LUFAR, GC-Analyse
2,3-Butandiol		VDLUFA III 14.24.1
1,2-Propandiol		VDLUFA III 14.24.1
Cumarin		HPLC (L 00.00-134) ¹³⁵
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	DIN 38409-H41
Untersuchungen während der Gärversuche		
produzierte Biogasmenge	VDI-4630	
Biogasqualität	VDI-4630	
pH-Wert des Fermenterinhalt	DIN 38404-C5	
TS der Substrate	DIN 12880	
oTS der Substrate	DIN 12879/ DIN 38414-S19	
TS des Gärrestes	DIN EN 12880 S2a	
NH ₄ ⁺ -Gehalt im Gärrest	VDLUFA II 3.2.1	
Gesamt-N-Gehalt im Gärrest	VDLUFA III 4.1.1	
FOS/ TAC	Titration nach RIEGER & WEILAND (2006)	

¹³⁵ Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch

Tab. 57: Biomasseerträge des Steinklees in den Herkunfts- und Saatzeitversuchen nach Drillsaat, Angaben der adjustierten Mittelwerte in dt TM ha⁻¹, Werte sortiert nach Aussaatjahr

Saatzeit		Frühjahr				Mitte Juli			Ende Juli		
Vegetationsjahr		1.	2.	2.		1.	2.		1.	2.	
	Schnitt	1.	1.	2.	Summe	1.	1.	Summe	1.	1.	Summe
Saat: 2008	UKR	32,7	-	-	-	22,5	-	-	0,0	-	-
	NSL	42,0	0,0	0,0	42,0	27,1	0,0	27,1	0,0	0,0	0,0
	GD	17,9	-	-	-	5,8	-	-	-	-	-
Saat: 2009	UKR	17,1	-	-	-	0,0	-	-	0,0	-	-
	NSL	34,8	0,0	0,0	34,8	37,0	0,0	37,0	26,8	0,0	26,8
	GD	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saat: 2010	UKR	32,4	24,3	96,3	153,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	KRA	44,1	21,2	92,4	157,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	GELB	26,9	22,1	48,4	96,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NSL	34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ADE	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	GD	7,7	8,4	18,9	24,6	-	-	-	-	-	-
Saat: 2011	UKR	74,1	35,7	67,8	177,1	18,6	68,5	86,9	0,0	0,0	0,0
	KRA	109,1	39,7	71,1	219,8	20,0	61,2	85,1	0,0	0,0	0,0
	GELB	58,4	24,4	33,1	115,9	13,6	33,8	47,4	0,0	0,0	0,0
	NSL	78,7	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ADE	58,1	0,0	0,0	0,0	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	GD	11,4	4,6	11,3	14,5	3,4	22,1	25,0	-	-	-
Saat: 2012	UKR	28,6	-	131,7	159,5	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	KRA	30,8	-	139,5	172,7	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	GELB	22,7	-	83,2	108,2	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	NSL	-	-	-	-	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	ADE	-	-	-	-	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	BEL	23,1	-	84,5	103,3	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	KUS	21,4	-	121,4	143,5	0,0	n. b.	-	0,0	n. b.	-
	GD	8,0	-	-	17,35	-	-	-	-	-	-
Die Grenzdifferenz (GD; $\alpha = 0,05$) bezieht sich auf den paarweisen Vergleich der Herkünfte zu einem konkreten Termin. „-“ steht für nicht auswertbare Daten oder nicht geplante Schnitte. Bei der Angabe „0“ waren Bestände vorhanden, die aber keinen Ertrag brachten.											

Tab. 58: Biomasseerträge des Steinklees in den Herkunftsprüfungen nach Pflanzung, Angaben in dt TM ha⁻¹.

Aussaatjahr	Herkunft	1. Schnitt, 1. Jahr	1. Schnitt, 2. Jahr	Summe aus beiden Jahren
2009	UKR ()	25,7	-	-
	BIE ()	33,2	-	-
	GÜ ()	30,9	-	-
	NSL ()	46,7	-	-
	ARG ()	53,8	-	-
	GELB ()	24,7	-	-
	CAN ()	34,1	-	-
	GD	5,8	-	-
2010	UKR ()	73,9	nicht getrennt ermittelt	174,2
	BIE ()	96,7		199,1
	GÜ ()	69,7		172,1
	GD	19,0		20,0
2011	UKR ()	131,9	nicht getrennt ermittelt	250,2
	BIE ()	119,8		227,4
	GÜ ()	121,7		234,4
	GD	25,9		26,0
2012	UKR ()	41,9	n. b.	-
	BIE ()	56,8		-
	GÜ ()	52,2		-
	GD	9,7	n. b.	-

Die Grenzdifferenz (GD; $\alpha = 0,05$) bezieht sich auf den paarweisen Vergleich der Herkünfte zu einem konkreten Termin. „-“ steht für nicht auswertbare Daten. Im zweiten Jahr war es aus versuchstechnischen Gründen unmöglich, die Parzellenerträge nach Herkünften zu trennen, so dass hier nur eine Angabe über das Ertragsniveau möglich ist.

Tab. 59: Angaben zum Biomasseertrag von Steinklee in der Literatur

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(BECKER-DILLINGEN 1929)	34,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(BECKER-DILLINGEN 1929)	68,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(BECKER-DILLINGEN 1929)	119,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(BLACKSHAW et al. 2001)	31,1	ein Schnitt im 2. Jahr
(BLACKSHAW et al. 2001)	53,7	ein Schnitt im 2. Jahr
(BLACKSHAW et al. 2010)	101,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(BRANDSÆTER et al. 2008)	118,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(BRANDSÆTER et al. 2008)	118,5	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	56,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	85,0	Summe über 2 Erntejahre
(CLARK 2007)	100,0	Summe über 2 Erntejahre
(CLARK 2007)	33,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	39,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	50,4	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	61,7	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	95,3	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(CLARK 2007)	100,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DANCS 1964)	38,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(DANCS 1964)	100,1	Summe über 2 Erntejahre
(DANCS 1964)	138,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(DANCS 1964)	42,7	ein Schnitt im 2. Jahr
(DANCS 1964)	24,7	ein Schnitt im 2. Jahr
(DANCS 1964)	107,6	Summe über 2 Erntejahre
(DANCS 1964)	94,3	Summe über 2 Erntejahre
(DANCS 1964)	53,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DAL 1955)	50,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(DAL 1955)	3,1	ein Schnitt im 2. Jahr
(DAL 1955)	0,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(DAL 1955)	53,4	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(DAL 1955)	23,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(DAL 1955)	30,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(DIEPENBROCK 1999)	50,0	k. A.
(DIEPENBROCK 1999)	100,0	k. A.
(DIETZE et al. 2009)	180,0	Summe über 2 Erntejahre
(DIETZE et al. 2009)	70,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DIETZE et al. 2009)	49,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DIETZE et al. 2009)	93,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DIETZE 2010)	66,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DUKE 1983)	18,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(DUKE 1983)	29,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(DUKE 1983)	18,7	Summe im 2. Jahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(DUKE 1983)	68,9	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(DUKE 1983)	76,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(DUKE 1983)	89,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(EVANS 2001)	121,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(EVANS 2001)	133,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(EVANS 2001)	17,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(EVANS 2001)	22,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(EVANS & KEARNEY 2003)	100,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
Flachs, 1941 zit. in (BRUMMUND 1958)	21,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
Flachs, 1941 zit. in (BRUMMUND 1958)	42,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(FOSTER 1990)	11,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(FOSTER 1990)	38,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(GOERITZ et al. 2009) und (LOGES 2011)	45,0	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(GOERITZ et al. 2009) und (LOGES 2011)	20,0	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(GOERITZ et al. 2009) und (LOGES 2011)	45,0	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(GOERITZ et al. 2009) und (LOGES 2011)	15,0	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(GOETJES 1955)	34,0	k. A.
(GOETJES 1955)	76,5	k. A.
Goplen zit. in (BLACKSHAW et al. 2010)	59,0	ein Schnitt im 2. Jahr nach Blanksaat = Summe im 2. Jahr
Goplen zit. in (BLACKSHAW et al. 2010)	100,0	ein Schnitt im 2. Jahr nach Blanksaat = Summe im 2. Jahr
(LOGES 2011)	42,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(LOGES 2011)	45,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(LOIDE 2010)	48,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(LOIDE 2010)	45,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b)	80,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000b)	100,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MAAS 1993)	60,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(MAAS 1993)	188,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
Malik zit. in (BLACKSHAW et al. 2010)	13,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
Malik zit. in (BLACKSHAW et al. 2010)	47,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(MCEWEN & JOHNSTON 1985)	94,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(MCEWEN & JOHNSTON 1985)	55,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(MENKE 2011)	37,6	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(MENKE 2011)	13,2	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(MEYER & NORBY 1994)	44,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	85,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	35,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	28,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(MEYER & NORBY 1994)	7,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(MEYER & NORBY 1994)	35,4	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	70,6	Summe über 2 Jahre
(MEYER & NORBY 1994)	37,2	ein Schnitt im 2. Jahr

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(MEYER & NORBY 1994)	8,3	ein Schnitt im 2. Jahr
(MEYER & NORBY 1994)	45,5	Summe im 2. Jahr = Summe über 2 Jahre
(MEYER & NORBY 1994)	43,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	44,4	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MEYER & NORBY 1994)	87,4	Summe über 2 Jahre
(MEYER & NORBY 1994)	43,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(MEYER 2005)	28,0	k. A.
(MEYER 2005)	83,0	k. A.
(MEYER 2005)	34,0	k. A.
(MEYER 2005)	65,0	k. A.
(Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz M-V 2008b)	87,5	k. A.
(MOYER et al. 2007)	13,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	24,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	22,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	13,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	23,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	47,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	63,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	5,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	26,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(MOYER et al. 2007)	26,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(MOYER et al. 2007)	36,0	ein Schnitt im 2. Jahr = Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(PÄTZOLD 1961)	45,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(PÄTZOLD 1961)	20,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(PÄTZOLD 1961)	65,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(PÄTZOLD 1961)	124,5	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(PETERSEN 1967)	45,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	28,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	27,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	19,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	8,6	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	36,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	17,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(PIETSCH 2004)	74,4	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(PIETSCH 2004)	62,6	Summe im 2. Jahr nach Sommersaat
(PIETSCH et al. 2004)	69,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(PILLAI 1962)	93,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(PILLAI 1962)	166,9	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(RHYKERD & HANKINS 2007)	21,6	ein Schnitt im 2. Jahr
(RHYKERD & HANKINS 2007)	55,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	41,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(SANDERSON et al. 1986)	33,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	74,5	Summe über 2 Jahre
(SANDERSON et al. 1986)	41,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SANDERSON et al. 1986)	40,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	81,5	Summe über 2 Jahre
(SANDERSON et al. 1986)	50,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SANDERSON et al. 1986)	56,1	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	106,4	Summe über 2 Jahre
(SANDERSON et al. 1986)	48,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SANDERSON et al. 1986)	56,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	104,5	Summe über 2 Jahre
(SANDERSON et al. 1986)	35,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SANDERSON et al. 1986)	43,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	78,4	Summe über 2 Jahre
(SANDERSON et al. 1986)	42,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SANDERSON et al. 1986)	37,9	ein Schnitt im 2. Jahr
(SANDERSON et al. 1986)	80,0	Summe über 2 Jahre
(SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007)	22,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007)	102,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(SCHELUTO & NIKONOWITSCH 2007)	124,7	Summe über 2 Jahre
(SCHELUTO et al. 2007)	100,0	k. A.

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(SCHMIDT et al. 2007)	33,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SCHMIDT et al. 2007)	25,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SCHMIDT et al. 2007)	23,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SCHMIDT et al. 2007)	60,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SCHMIDT & KLÖBLE 2007)	70,0	k. A.
(SCHMIDT & KLÖBLE 2007)	100,0	k. A.
(SEIFFERT 1965)	50,0	k. A.
(SEIFFERT 1965)	87,5	k. A.
(SIMON et al. 1957)	96,2	Summe über 2 Jahre
(SIMON 1960b)	29,8	ein Schnitt im 2. Jahr
(SIMON 1960b)	42,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SIMON & WATZEK 2003)	36,0	k. A.
(SIMON & WATZEK 2003)	60,0	k. A.
(SNEYD 1995)	80,0	k. A.
(SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN 2003)	48,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN 2003)	12,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SPECHT 1939)	59,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	45,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	69,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	58,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	60,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(SPECHT 1939)	55,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	57,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	39,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	52,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	22,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	19,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	42,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	38,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	47,9	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	25,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	0,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	44,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	35,1	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	39,6	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	39,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	37,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	39,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	29,6	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	36,3	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	21,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	0,0	ein Schnitt im 2. Jahr

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(SPECHT 1939)	28,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	0,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	41,2	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	20,9	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	47,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	77,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	124,7	Summe über 2 Jahre
(SPECHT 1939)	52,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	25,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	54,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	82,1	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	32,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	42,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT 1939)	34,4	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT 1939)	40,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SPECHT et al. 1960)	39,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(SPECHT et al. 1960)	36,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(SPECHT et al. 1960)	27,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT et al. 1960)	31,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SPECHT et al. 1960)	49,7	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1955)	23,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(STEIKHARDT 1955)	30,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	6,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	3,4	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	4,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	3,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	5,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	0,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	43,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	14,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	36,9	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	36,7	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STEIKHARDT 1964)	44,9	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(STICKLER & JOHNSON 1959b)	21,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STICKLER & JOHNSON 1959b)	34,8	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STICKLER & JOHNSON 1959b)	37,1	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(STICKLER & JOHNSON 1959a)	31,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	112,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	100,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	100,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	60,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	160,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	260,0	Summe über 2 Jahre
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	75,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	75,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	60,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	135,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	210,0	Summe über 2 Jahre
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	92,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	87,5	ein Schnitt im 2. Jahr
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	180,0	Summe über 2 Jahre
(SWIETOCHOWSKI & SIENKIEWICZ 1962)	107,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(VIIL & VÕSA 2005)	43,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(WILLARD 1926) Serie 1	24,6	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 1	105,0	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 3	35,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 3	102,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 5	7,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 5	70,4	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 6	7,7	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 6	82,3	Summe im 2. Jahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 7	48,2	Ertrag im Ansaatjahr nach Untersaat
(WILLARD 1926) Serie 7	73,2	Summe im 2. Jahr nach Untersaat

Quelle	Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	Angaben zu Erntetermin, Aussattermin und -verfahren
(WILLARD 1926)	112,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(YISENAK 2008)	67,0	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(ДЗЮБЕНКО & ДЗЮБЕНКО 2008)	21,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(ДЗЮБЕНКО & ДЗЮБЕНКО 2008)	72,3	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(ДЗЮБЕНКО & ДЗЮБЕНКО 2008)	68,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(ДЗЮБЕНКО & ДЗЮБЕНКО 2008)	119,0	Summe im 2. Jahr nach Blanksaat
(СТЕПАНОВ et al. 2005)	22,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(СТЕПАНОВ et al. 2005)	37,5	Ertrag im Ansaatjahr nach Blanksaat
(ШЛАПУНОВ 2008)	70,0	k. A.
(ШЛАПУНОВ 2008)	75,0	k. A.
(ШУКИС & ГУРКОВА 2006)	27,0	ein Schnitt im 2. Jahr
(ШУКИС & ГУРКОВА 2006)	36,0	ein Schnitt im 2. Jahr

Untersuchung der Kinetik des anaeroben Abbaus von Steinklee, Kurzbericht, Autor: Nils Engler, 31.03.2011

Versuchsziele/ Fragestellungen

Es sollte geklärt werden, ob von dem in Proben von Steinklee vorhandenen Inhaltsstoff Cumarin Hemmwirkungen beim anaeroben Abbau ausgehen. Hintergrund dieser Vermutung war, dass in vorangegangenen Batch-Versuchen ein unerwartet niedriger Biogasertrag ermittelt worden war, der auch deutlich unter dem auf Basis der FoTS zu erwartendem Ertrag lag.

Methodik

Zur Detektion einer möglichen Hemmwirkung wurde mit der für den ORGA-Test entwickelten Methodik der zeitlich hoch aufgelösten Messung der Biogasbildung gearbeitet. Es wurden drei verschiedene Substrate mit jeweils drei Anfangs-Raumbelastungen getestet. Zusätzlich wurde als Kontrolle das für den ORGA-Test entwickelte synthetische Standardsubstrat eingesetzt. (Das Standardsubstrat entspricht in Zusammensetzung und Abbaubarkeit in etwa einer getrockneten Maissilage.) Alle Varianten wurden mit einer Wiederholungszahl von n=3 untersucht, die Nullversuche (nur Inokulum) mit n=6.

Substrat	Cumarin- gehalt [mg/kg FM]	TS [%d.FM]	oTS [% d.FM]	FoTS	Varianten An- fangsbelastung $g_{oTS}(S) / g_{oTS}(I)$
Steinklee L	559	28,2	26,4		0,3 / 0,5 / 0,8
Steinklee H	1816	31,1	27,1		
Luzerne	< 2	16,4	14,7		
Synth. Sub.	0	97,9	97,9	Max-Ertrag: 750 ml(N)/ g_{oTS}	0,35

Als Inokulum wurde ein über 5 d ausgehungert Fermenterinhalt einer landwirtschaftlichen BGA (Dummerstorf) verwendet.

Die kumulierte Gasbildung wurde in 30-min.-Intervallen aufgezeichnet. Für die Ergebnisdarstellung wurde der Gasertrag des Inokulums berücksichtigt. Der Versuch wurde über einen Zeitraum von 12 d durchgeführt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Kurven der Biogasbildung zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich der gebildeten Biogasmenge, jedoch nicht im qualitativen Verlauf.

Der Kontrollversuch mit dem synthetischen Standardsubstrat zeigt einen typischen Verlauf. Nach ca. 2 d ist das Substrat zu 50 % umgesetzt (maximaler Gasertrag nach Buswell: 750 ml(N)/g_{oTS}).

Die Luzerne erreicht während des Versuchszeitraumes deutlich höhere spezifische Biogaserträge als die mit gleicher Anfangsbelastung angesetzten Steinklee-Proben. Die drei Varianten der Anfangsbelastung zeigen untereinander zwar geringe Unterschiede in der Abbaukinetik, eine akute Hemmwirkung ist jedoch auch bei der höchsten Anfangsbelastung von 0,8 g_{oTS}(S) / g_{oTS}(I) nicht eingetreten.

Zwischen den Proben Steinklee L und H ist allen drei untersuchten Anfangsbelastungen kein signifikanter Unterschied in der Abbaukinetik feststellbar. Die geringen Abweichungen im Kurvenverlauf liegen innerhalb der versuchstypischen Messunsicherheit des Verfahrens von ca. 4 %.

Die Gegenüberstellung der t₅₀ - Zeiten (Zeit, nach welcher der Gasertrag 50 % des Endwertes betrug) zeigt nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten. Bis auf eine Ausnahme (Luzerne in der höchsten Anfangsbelastung) lagen die 50 %-Werte zwischen 1,5 und 2 d. Aus den bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen mit dem ORGA-Test können t₅₀- Zeiten von unter 2 d als normaler, ungehemmter Substratabbau interpretiert werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine akute Hemmwirkung auf den anaeroben Abbauprozess bei keiner der untersuchten Varianten innerhalb des Versuchszeitraumes festgestellt werden konnte.

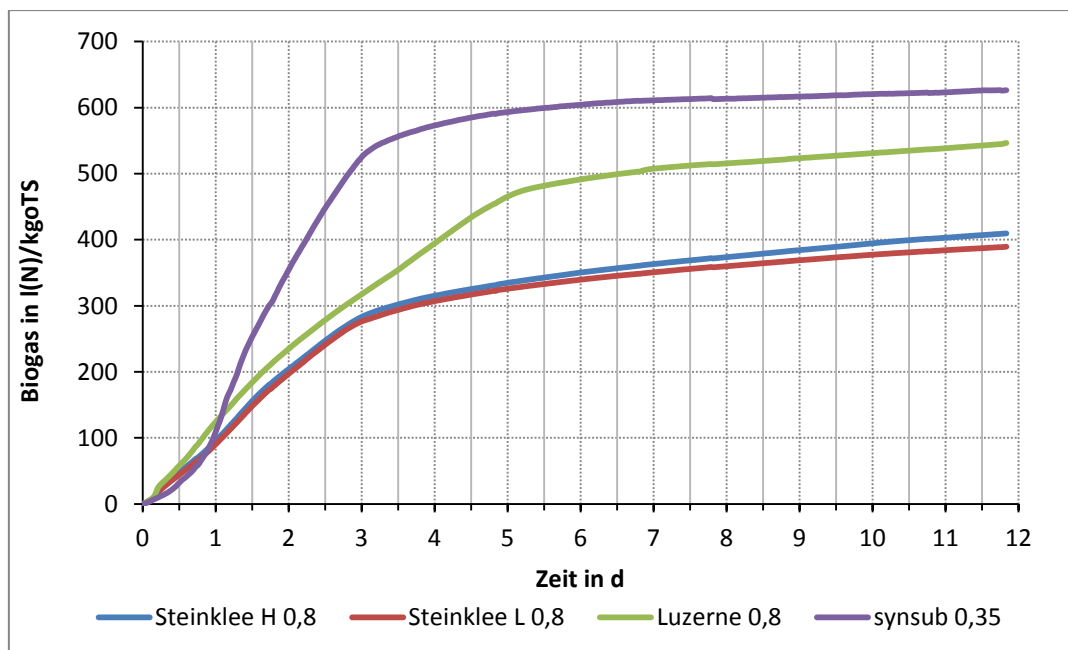


Abb.: Spezifischer Biogasertrag; Impfschlammverhältnis 0,8