

Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen

Living mulch systems using annual legumes

FKZ: 03OE099

Projektnehmer:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau
Alte Akademie 16, 85350 Freising-Weihenstephan
Tel.: +49 8161 71-3033
Fax: +49 8161 71-3031
E-Mail: sekretariat.oekolandbau@wzw.tum.de
Internet: <http://www.tumuenchen.de/>

Autoren:

Baresel, Jörg Peter; Reents, Hans Jürgen

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen

- Schlussbericht -

J. Peter Baresel, H. J. Reents

Förderkennzeichen 03OE099

Zuwendungsempfänger Technische Universität München
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau
Alte Akademie 12
85350 Freising

Laufzeit 2004-2006

**Zusammenarbeit mit
anderen Stellen** Keine

Inhalt

Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen - Schlussbericht -	1
J. Peter Baresel, H. J. Reents.....	1
1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	3
1.1 Planung und Ablauf des Projekts	3
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	4
2 Material und Methoden	8
2.1 Pflanzenmaterial.....	8
2.2 Aufbau und Durchführung der Feldversuche.....	12
2.3 Datenerhebungen und Analysemethoden.....	22
3 Versuchsdurchführung und Bestandesentwicklung	25
3.1 Versuchsjahr 2003/2004.....	25
3.2 Versuchsjahr 2004/2005.....	27
3.3 Versuchsjahr 2005/2006.....	28
4 Ergebnisse und Diskussion.....	30
4.1 Winterfestigkeit der Leguminosen.....	30
4.2 Selbstaussaat und Ausdauer der Leguminosenbestände	33
4.3 Kornerträge.....	34
4.4 Konkurrenzverhältnisse.....	36
4.5 N-Dynamik in der pflanzlichen Biomasse und im Boden.....	41
4.6 Arbuskuläre Mykorrhiza	45
4.7 Aggregatstabilität	46
4.8 Allelopathie	47
4.9 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	47
5 Zusammenfassung	49
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis	50
6.1 Abfrierende Lebendmulche.....	50
6.2 Überwinternde Lebendmulche	50
6.3 Auswirkungen der Lebendmulche	55
7 Geplante und erreichte Ziele; weiterführende Fragestellungen	56
7.1 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	56
7.2 Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	57
Literatur.....	58
Tabellen und Grafiken.....	61

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

1.1 Planung und Ablauf des Projekts

1.1.1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Unter dem Aspekt der Leistungsfähigkeit und des biologischen Gleichgewichts ist die Stickstoffversorgung der Anbausysteme des Ökologischen Landbaus nach wie vor kritisch zu sehen. Die Stickstoffversorgung im Ökologischen Landbau hängt zum größten Teil von Leguminosenanbau ab, sei es als Zwischenfrucht oder im Anbau von Körner- und Futterleguminosen. Viele Leguminosen sind mit sich selbst oder anderen Arten unverträglich, so dass für ihren Anbau größere zeitliche Abstände notwendig sind. Gleichzeitig ist aber für eine verbesserte N-Versorgung ein noch höherer Anteil an Leguminosen in den Fruchtfolgen notwendig. Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, Anbausysteme im Ökologischen Landbau so weiter zu entwickeln, dass vermehrt Zeiten und Räume in einer Fruchtfolge mit Leguminosen genutzt werden können.

Neuer und wesentlicher Ansatz war die Nutzung alternativer Leguminosenarten - d.h. andere Wuchstypen und andere Entwicklungszyklen als im mitteleuropäischen Anbau üblich - als Lebendmulch in verschiedenen Hauptkulturen, vorwiegend Getreide. Insbesondere für vieharme oder viehlose Betriebe könnten diese Pflanzenkombinationen verbesserte Perspektiven eröffnen und die langfristigen Risiken der häufig zu geringen Leguminosenanteile mindern. Im Rahmen der Untersuchungen sollten verschiedene Leguminosenarten und Verfahrenstechniken geprüft werden. Zielgrößen der Untersuchung waren Ertrag und Ertragsbildung der Getreidearten sowie deren Qualität und Pflanzengesundheit; dies sowohl einjährig als auch mehrjährig als Fruchtfolgeeffekt. Untersuchungskriterien waren die Biomassebildung und die Entwicklungszyklen der verwendeten Leguminosen sowie deren Konkurrenz in den Beständen zum Getreide und Unkraut. Im Boden sollten die N-Verfügbarkeit im Jahreslauf charakterisiert, Veränderungen von Struktureigenschaften und biologischen Parameter untersucht werden. Die Untersuchungen zielten darauf ab, die Anbautechnik und -verfahren in der Praxis weiter zu entwickeln, um die Stickstoffversorgung, die Bodenfruchtbarkeit und letztlich die Ertragsfähigkeit zu verbessern. Das Vorhaben sollte weiterhin Anregungen zur gerätetechnischen Entwicklung der Ansaat- und Bodenbearbeitungsverfahren sowie zur Saatgutproduktion und der züchterischen Perspektive für die z. T. bisher landwirtschaftlich nicht genutzten Leguminosenarten geben. Wesentliche *Arbeitsziele* waren:

- Prüfung ausgewählter alternativer Leguminosenarten hinsichtlich ihrer Eignung als Lebendmulch und in anderen Anbauverfahren
- Prüfung des Fruchtfolgeeffektes der Leguminosenarten und Anbauverfahren
- Untersuchung der Konkurrenzbeziehungen in Getreide-Leguminosen-Mischbeständen
- Weiterentwicklung des Anbauverfahrens von Getreide-Leguminosen-Mischbeständen
- Entwicklung eines Produktionsverfahrens für die Samengewinnung der verwendeten Leguminosen

1.1.2 Bezug des Vorhabens zum Programm zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer im Ökologischen Landbau

Folgende Beiträge zur Realisierung der im Bundesprogramm Ökologischer Landbau (Abschnitt D1) genannten Teilziele waren Gegenstand dieses Projekts:

- Entwicklung von neuen Anbaukonzepten bislang wenig verbreiteter Arten

- Entwicklung von Konzepten für viehlos wirtschaftende Betriebe
- Entwicklung von Mischkultursystemen und Minimalbodenbearbeitungs-Konzepten für den ökologischen Landbau
- Optimierung der Produktionstechnik zur Erfüllung von Qualitätsanforderungen.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Definition von Lebendmulchsystemen und Ziele bei ihrer Entwicklung

Als Lebendmulchsysteme werden Mischanbausysteme bezeichnet, bei denen nur ein Mischungspartner (oder ein Teil der Mischungspartner) geerntet und verwertet wird und der Andere vorwiegend ökologische Funktionen erfüllt. Wir verwenden hierfür die Begriffe Hauptkultur und Begleitkultur oder Bodenbedecker, da es sich in unserem Fall um Pflanzen mit einem flachen Wuchs handelt, die unterhalb der Hauptkultur wachsen. Um die Konkurrenzwirkung möglichst gering zu halten, müssen die Mischungspartner sowohl räumlich als auch in ihren Entwicklungszyklen komplementär sein. Das bedeutet zum einem, dass die Entwicklungszyklen gegeneinander verschoben sind, so dass die Konkurrenz zur Hauptkultur während kritischer Phasen für die Ertragsbildung möglichst gering ist, zum anderen, dass die beiden Komponenten unterschiedliche Räume beanspruchen, was im typischen Fall zu einem Stockwerkaufbau der Bestände führt, bei dem die Begleitkultur den Boden bedeckt (s. Abb. 1). Sinn dieser Anbausysteme ist, den Boden möglichst kontinuierlich mit Pflanzen bedeckt zu halten, im Idealfall das ganze Jahr über. Lebendmulchsysteme sind daher gleichzeitig *Minimalbodenbearbeitungssysteme*.

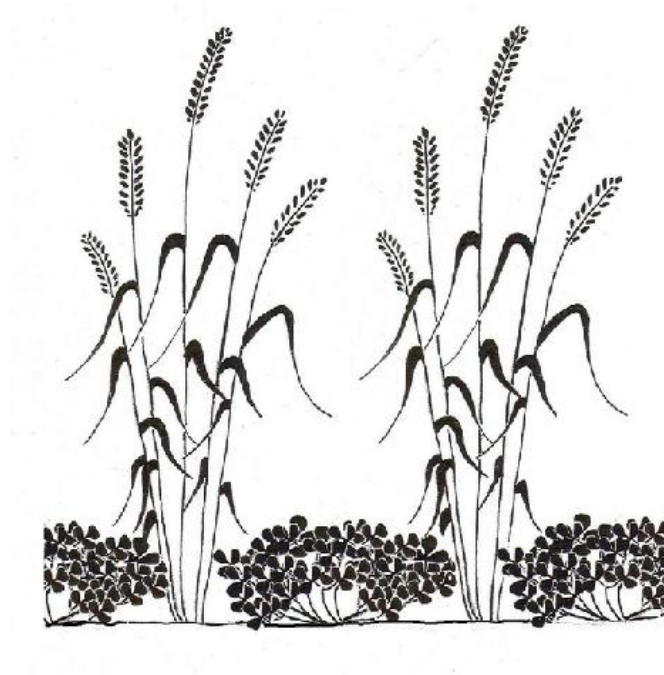


Abb. 1: Schematischer Aufbau von Lebendmulchsystemen

Tabelle 1: Übersicht zu Studien und praktischen Ansätzen zur Entwicklung von Lebendmulchsystemen

Land	Autor	Quelle	Begleitkultur	Hauptkultur	Hauptziel
Deutschland	Wenz ¹	pers. Mitt.	Weißklee	Weizen	Arbeitsbedarf, Unkrautkontrolle Stickstoffversorgung
Deutschland	Kainz ²	pers. Mitt.	Weißklee	Mais	Erosionsschutz
Deutschland	Stute u. a.	[15]	Weißklee	Weizen	Stickstoffversorgung Erosionsschutz
Deutschland	Neumann u.a.	[29]	Weißklee	Weizen	Stickstoffversorgung
Italien	Campiglia u.a	[6, 7]	Weißklee	Weizen	Stickstoffversorgung, Erosionsschutz
Norwegen	Brandsaeter	[4, 5]	Erdklee u. a.	Weizen Gemüse	Stickstoffversorgung
Schweiz	Ammon u. a.	[1]	Weißklee	Mais	Erosionsschutz
Schweiz	Hiltbrunner	[13, 14]	Weißklee Erdklee u. a.	Weizen	Unkrautkontrolle N-Versorgung
UK	Wolfe ³	pers. Mitt.	Weißklee	Gemüse	Stickstoffversorgung
USA	Ilnicki u. a.	[16]	Erdklee	Mais	Stickstoffversorgung Unkrautkontrolle

¹Manfred Wenz, 77963 Schwanau, Lehenstr. 7, ²Max Kainz, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau, ³Prof. Martin Wolfe, Elm Farm Research Center, UK

Für die vielfachen Bemühungen, die es gegeben hat, solche Anbausysteme zu entwickeln, waren eine Reihe von Gründen ausschlaggebend (vgl. Tab. 1):

- Ein wesentlicher Grund war die *Stickstoffversorgung*, da es auf diese Weise möglich ist, zusätzlich Leguminosen in die Fruchtfolge einzubauen, und, insbesondere in viehlosen Betrieben, ganzjährige Klee-grasbrachen zu vermeiden oder zu verringern.
- Häufig waren Erosionsprobleme ausschlaggebend, die durch eine ganzjährige Pflanzendecke vermindert werden sollten.
- In einigen Fällen stand die Unkrautkontrolle durch dicht wachsende Bodenbedecker im Vordergrund.
- Die biologischen und mechanischen Bodeneigenschaften sollten durch eine ganzjährige oder länger andauernde Pflanzendecke verbessert werden.
- Man erwartete arbeitswirtschaftliche Vorteile, da der Aufwand für die Bodenbearbeitung und eventuell auch für die Unkrautbekämpfung vermindert werden sollte.

Da es sich hierbei um eine neue Entwicklung handelt und viele Probleme noch ungelöst sind, sind, mit wenigen Ausnahmen, die meisten Ansätze noch nicht ausgereift. Lebendmulchsysteme wurden bisher hauptsächlich mit Wintergetreide und Mais erprobt. Einige Versuche wurden auch im Gemüsebau unternommen.

Vorausgegangene Arbeiten zu Lebendmulchsystemen

Die frühesten Untersuchungen zu Lebendmulchen in Europa wurden in der Schweiz durchgeführt [1]. Die Gründe waren die z. T. gravierenden Erosionsprobleme beim Maisanbau im Hügelland. Als Bodenbedecker werden Weißklee und Klee-Weidelgras-Gemenge verwendet.

Das Verfahren hat begrenzt Eingang in die Praxis gefunden. Die Erträge sind zwar niedriger als im herkömmlichen Anbau, was aber für die geringere Erosionsgefahr in Kauf genommen wird. Da es sich um Systeme handelt, die für den konventionellen Landbau konzipiert wurden, werden Herbizide eingesetzt, um die Bodenbedecker zu kontrollieren. Damit besteht ein bedeutender Unterschied zum Einsatz von Lebendmulchen im Ökologischen Landbau; da hier die Möglichkeit der Beeinflussung der Konkurrenzverhältnisse durch Herbizide fehlt, muss bei der Auswahl der Bodenbedecker sehr viel mehr darauf geachtet werden, dass die Hauptkultur nicht unterdrückt wird. So wurden auch sehr aggressive Arten wie z. B. Weidelgräser als Bodenbedecker verwendet, deren Einsatz ohne Herbizide wenig Erfolg versprechend ist. In Deutschland sind die Versuche für ähnliche Systeme ausschließlich im Ökologischen Landbau und mit ausdauernden Leguminosen (fast immer Weißklee) durchgeführt worden. Der ausdauernde Weißklee erwies sich als sehr konkurrenzstark, was häufig zu Ertrags- und Qualitätseinbußen führte [15]. In den frühen 90er Jahren haben in Deutschland ökologisch wirtschaftende Landwirte, Versuche mit Getreide in Weißklee-Lebendmulchen durchgeführt [15]. Gegen Ende der 90er Jahre kamen wissenschaftliche Untersuchungen in Deutschland und in der Schweiz dazu [29, 13, 14]. Das Problem der starken Konkurrenz der Bodenbedecker versuchte man dadurch zu lösen, dass man die Lebendmulchbestände durch Mähen zwischen den Reihen eindämmte, wozu eigens für diesen Zweck entwickelte Geräte eingesetzt wurden. Um dies zu ermöglichen, mussten die Reihenabstände bis auf 50 cm erweitert werden [15, 13, 14]. Durch wiederholtes Mähen zwischen den Reihen konnte die Konkurrenz tatsächlich verringert und zum Teil auch die Qualität verbessert werden, da das gemulchte Material dem Boden wieder in gewissem Umfang Stickstoff zuführt [15]. Die Getreideerträge, die auf diese Weise erzielt wurden, waren zwar niedrig, dafür entsprach die Stickstoffzufuhr der eines einjährigen Klee-Grasgemenges. Ohne das Mähen zwischen den Reihen waren die Weizen-erträge extrem gering.

Nicht zu verwechseln sind die Lebendmulchsysteme mit weiten Reihenabständen mit anderen Weitreihensystemen ohne Lebendmulch (bzw. nur mit traditioneller Untersaat) zu denen es in den letzten Jahren einige Untersuchungen gab [3, 12, 18, 24, 19] und deren Zweck darin besteht, durch weite Reihenabstände den Ertrag zu verringern und damit durch einen Konzentrationseffekt höhere Rohproteingehalte zu erzielen. Leguminosenuntersaaten spielen hierbei eine eher untergeordnete Rolle, wie bei herkömmlichen Anbausystemen. Es handelt sich also nicht um Lebendmulchsysteme im eigentlichen Sinne.

Ansätze, einjährige Leguminosen zu verwenden, gab es schon in den späten 80er Jahren in den USA bei Mais [16] und in Italien [11] bei Weich- und Hartweizen sowie bei Gemüse. Die verwendeten Leguminosen waren in erster Linie Erdklee [11, 16] und einjährige *Medicago*-Arten [11]. Hierbei zeigte sich, dass, bedingt durch den kurzen, determinierten Wachstumszyklus dieser Pflanzen, die Konkurrenz durch die Leguminosen sehr viel schwächer war, so dass im Vergleich zu herkömmlichen Anbausystemen keine oder nur geringe Ertragsverringereungen beobachtet werden konnten. In beiden zitierten Arbeiten wurde die Unkraut unterdrückende Wirkung des Erdklee als gut beschrieben. Der Erfolg unter den spezifischen Boden- und Klimabedingungen des Mittelmeerraums legt die Frage nahe, ob sich ähnliche Anbausysteme auch in Nord- und Mitteleuropa verwirklichen ließen. Versuche, Erdklee in Norwegen als Lebendmulch einzusetzen, scheiterten wegen der zu geringen Widerstandsfähigkeit dieser Art gegen die dort vorherrschenden, sehr strengen Winter. Bemerkenswerterweise überlebte aber doch ein Teil der Erdkleepflanzen den Winter [4, 5]. Versuche in der Schweiz [13, 14] zeigten, dass im mitteleuropäischen Klima ein Anbau von Erdklee durchaus möglich ist. Eigene Ergebnisse [2] zeigten ebenfalls, dass bei gezielter Suche Arten und Genotypen einjähriger Leguminosen mit einer hinreichenden Adaptationsfähigkeit gefunden werden können.

Möglichkeiten der Verbesserung der N-Versorgung durch Lebendmulchsysteme

Die Stickstoffversorgung der Anbausysteme des Ökologischen Landbaus basiert hauptsächlich auf dem periodischem Anbau und anschließendem Umbruch von Klee gras, ergänzt durch einen gewissen Umfang von Leguminosen im Herbst- bzw. Winterzwischenfruchtba u. Ihr Beitrag zu Stickstofffixierung hängt in hohem Maße von der Etablierung und der nachfolgenden Entwicklung der Bestände ab, wobei vor allem Wasser und Wärme eine wichtige Rolle spielen. Körnerleguminosen als Hauptfrucht tragen meist nur in geringem Umfang zur Verbesserung der N-Bilanz der Betriebe bei, auch wenn sie einen mittleren bis guten Vorfruchtwert haben - je nach Anbaukombination [17, 22, 23]. Trotz dieser zunächst scheinbar guten Voraussetzung zeigen insbesondere die Erträge und Qualitäten von Getreide, dass die N-Versorgung sowohl in der Höhe als auch bei der Verfügbarkeit in der Zeit noch unzureichend ist. Speziell durch den Umbruch des Klee gras werden in weiten Zeitabständen dem Boden schlagartig große Mengen an organischer Substanz zugeführt, deren Mineralisierung nicht immer dem Verlauf des N-Bedarfs der Folgekulturen entspricht. Andererseits kann diese Zufuhr zu einer punktuellen Nitratbildung führen, die zur potentiellen Gefahr für das Grundwasser werden kann. Um eine höhere und gleichmäßiger über die Fruchtfolge verteilte N-Fixierung und -Mineralisierung zu erreichen, wäre die Ausweitung des Leguminosenanbaus oder auch eine andere Verteilung des Leguminosen-Stickstoffs notwendig. Die Ausweitung des Hauptfruchtfutterbaus wäre nur bei Rinder haltenden Betrieben denkbar. In vieharmen und viehlosen Betrieben ist ein hoher Anteil an Gründüngung wirtschaftlich nicht tragbar. Der in diesen Betrieben oft gewählte Weg des Anbaus von Körnerleguminosen führt zu keiner nachhaltigen Verbesserung des N-Status in den Böden und wird gleichzeitig durch die starke Selbstunverträglichkeit begrenzt. Eine Ausweitung des Leguminosenanbaus ist dann möglich, wenn man die Zwischenräume in anderen Hauptkulturen nutzt. Die klassische Untersaat von Weißklee im Frühjahr ins Wintergetreide und anschließender Zwischenfruchtnutzung im Herbst ist Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der Systeme. Lebendmulchsysteme sind im Grunde nichts anderes, so haben das Ziel, die zeitlichen und räumlichen Nischen noch konsequenter zu nutzen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Reduktion der Bodenbearbeitung; hierdurch entfällt das Mineralisierungsmaximum nach dem Umpflügen. Ob sich die dadurch veränderte N-Mineralisierung tatsächlich günstiger auf die N-Versorgung der Hauptkultur auswirkt, müsste allerdings noch untersucht werden. Es ist außerdem zu erwarten, dass bis zum Eintreten eines neuen Gleichgewichts in einer Übergangsphase eine andere Situation hinsichtlich der N-Versorgung der Hauptkultur eintritt als langfristig. Hier sollten die Untersuchungen zur N-Dynamik, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts durchgeführt wurden, ansetzen.

1.2.1 Bisherige eigene Arbeiten

Das Forschungsvorhaben baut auf dem Projekt "*Screening alternativer Leguminosenarten auf ihre Eignung zur Gründüngung und zum Mischanbau im Ökologischen Landbau*" (BLE 02OE240) auf, in dem etwa 430 Genotypen verschiedener einjähriger Arten auf ihre potentielle Eignung für Lebendmulchsysteme, ihre Anpassungsfähigkeit an deutsche Umweltbedingungen und die Möglichkeit der Saatgutproduktion geprüft wurden. Einige erfüllten die Anforderungen (niedriger, aber dichter Wuchs, frühe Abreife, Winterfestigkeit, gute Samenproduktion) besonders gut und bildeten die Grundlage dieses Projekts. Unter den Arten, von denen noch keine kommerzielle Saatgutproduktion existiert, wurden solche ausgesucht, bei denen die Bedingungen für eine mechanische Ernte des Saatguts erfüllt sind (Höhe der Fruchtstände über dem Boden, kein Samen- bzw. Hülsenausfall, möglichst gleichzeitige Reife, geringer Anteil an hartschaligen Samen).

2 Material und Methoden

2.1 Pflanzenmaterial

Getreide

Als Hauptkulturen wurden Winterweizen und Roggen angebaut. Auch wenn es durchaus denkbar ist, dass für Lebendmulche speziell angepasste Sorten nötig wären, wurden die hier beschriebenen Versuche mit praxisüblichen, im Ökologischen Landbau verbreiteten Sorten durchgeführt. In den Versuchen V1 und V2 wurde die Sorte „Achat“ angesät, in den darauf folgenden Versuchen die Sorte „Tiger“. Die Auswahlkriterien für die Getreidesorten waren Frühsaatverträglichkeit, Konkurrenzfähigkeit und die Fähigkeit, Lücken im Bestand durch die Kornzahl/Ähre und die Korngröße auszugleichen. Hierbei konnte auf die Erfahrungen des Betriebs Josef Braun, Dürneck zurückgegriffen werden. Beim Roggen wurde die Sorte „Wale“ ausgewählt, eine Populationssorte mittlerer Wuchshöhe mit guter Konkurrenzkraft.

Leguminosen

Die Auswahl der *einjährigen* Leguminosen basierte auf vorangegangenen Untersuchungen (BLE 02OE240). Es wurden 9 Genotypen von 7 Arten ausgewählt, die den Anforderungen an die Winterfestigkeit, die Fähigkeit zur Re-Etablierung durch Selbstaussaat sowie morphologischer Kriterien genügten. Die Genotypen waren so ausgewählt worden, dass sowohl sehr konkurrenzfähige als auch konkurrenzschwache Arten und solche mit mittlerer Konkurrenzkraft im Sortiment enthalten waren (s. Tab. [2](#) und Abb. [2.1](#)). Bei den Arten, bei denen kein Saatgut auf dem Markt erhältlich ist (*M. orbicularis*, *M. minima*, *T. campestre*), wurde außerdem darauf geachtet, dass die Bedingungen für eine Saatgutgewinnung unter deutschen Bedingungen erfüllt waren.



Trifolium campestre



Medicago minima



Trifolium subterraneum



Medicago orbicularis

Abb. 2: Die verwendeten einjährig-überwinternden Leguminosenarten: *M. minima*, *M. orbicularis*, *T. subterraneum*, *T. campestre*



Abb. 3: Reife Hülsen von *M. orbicularis*

T. subterraneum

wird in Ländern mit Mittelmeerklima in großem Umfang angebaut, so dass Saatgut verfügbar ist. Die verfügbaren Sorten sind zwar weder für diesen Zweck noch für Mitteleuropäisches Klima gezüchtet worden, einige Sorten hatten sich aber in vorangegangenen Untersuchungen als hinreichend winterfest für deutsche Verhältnisse erwiesen. *T. subterraneum* bildet dichte, niedrige Bestände und besitzt (im Vergleich zu den anderen untersuchten Arten) eine mittlere Konkurrenzfähigkeit. Es wurden die beiden Zuchtsorten „Campeda“ (Italien) und „Denmark“ (Australien) verwendet. Bei den Versuchen, die 2003 angelegt wurden (V1 und V2, s. Tab. 3), wurde anstatt der Sorte „Denmark“ ein italienischer Zuchtstamm verwendet, der aber schlecht überwinterte und daher in den folgenden Versuchen durch „Denmark“ ersetzt wurde.

M. orbicularis

ist bisher noch nicht angebaut worden. Sie ist die potentiell massenwüchsigste und konkurrenzfähigste unter den untersuchten Arten und hatte sich in vorangegangenen Untersuchungen als sehr winterfest erwiesen. Die Samenproduktion und damit die Regenerationsrate ist sehr hoch. Die Ernte der Samen bereitet keine Schwierigkeiten, da die Hülsen nicht abfallen. Angebaut wurde ein mittelitalienischer Ökotyp. Abb. 3 zeigt die typischen Hülsen, die wie die aller *Medicago*-Arten spiralgewunden sind.

M. minima

hat hinsichtlich der Winterfestigkeit und der Samenproduktion ähnliche Eigenschaften wie *M. orbicularis*, ist aber nicht ganz so konkurrenzstark. Hier wurde ebenfalls ein mittelitalienischer Ökotyp ausgewählt. Auch diese Art ist bisher noch nicht angebaut worden.

T. campestre

ist die konkurrenzschwächste der untersuchten Arten. Diese Art hatte sich ebenfalls als winterhart erwiesen; ihre Samenproduktion ist geringer als die der anderen Arten. Die Samen sind aber sehr klein, so dass nur geringe Mengen zur Aussaat benötigt werden bzw. ihr Wiederaussamungspotential trotz der vergleichsweise geringen Samenmengen das höchste aller untersuchten Arten ist. Auch von dieser Art ist kein

Saatgut im Handel, da sie bisher noch nicht züchterisch bearbeitet wurde; der untersuchte Ökotyp stammte ebenfalls aus Mittelitalien.

T. glomeratum

wurde in den ersten Versuchen als Kleeart mit geringer Konkurrenzfähigkeit in die ersten Versuche (Aussaart 2003) mit einbezogen, erwies sich aber als zu wenig winterfest, so dass er in den folgenden Versuchen (Aussaart 2004-2005) nicht mehr geprüft wurde. Angebaut wurde ein Ökotyp aus Sardinien.

M. polymorpha

die als sehr früh reifende Art mit mittlerer Konkurrenzfähigkeit von Interesse ist, verhielt sich ähnlich und die Selektion stammte ebenfalls aus Mittelitalien.

M. truncatula

zeichnet sich durch besonders schnelles und üppiges Wachstum im Spätsommer und im Herbst aus, ist aber nicht winterfest und wurde in die Versuche einbezogen, um das Potential abfrierender Bodenbedecker zu prüfen. Es wurde die besonders wüchsige Sorte „Paraggio“ ausgewählt.

V. sativa

(cv. „Berninova“) wurde als schnell wachsende, herkömmliche Leguminosenzwischenfrucht zum Vergleich mit in die Untersuchungen einbezogen.

T. repens

Zum Vergleich wurden Weißklee (*T. repens*) der Sorten „Huia“ und „Milkanowa“ herangezogen. "Huia" gilt als eher niedrigwüchsiger Weidetyp, „Milkanowa“ ist etwas massewüchsiger.

M. lupulina

Als weitere konkurrenzschwache, mehrjährige Leguminose wurde Gelbklee (*M. lupulina*) mit einbezogen. Es handelte sich um einen lokalen Ökotyp aus der Umgebung von Freising.

Tabelle 2: In den Versuchen verwendete einjährige und mehrjährige Leguminosenarten

Art	Abk.	Genotypen	Konkurrenzfähigkeit	Versuche ¹
Einjährig:				
<i>Medicago truncatula</i>	MT	1	+++	V1-4, P, D
<i>Medicago orbicularis</i>	MO	1	+++	V1-4, P, D
<i>Medicago minima</i>	MM	2	++	V1-4, P, D
<i>Trifolium subterraneum</i>	TS	2	++	alle
<i>Trifolium campestre</i>	TC	1	+	V1-4, P, D
<i>Trifolium glomeratum</i>	TG	1	-	V1+V2
<i>Medicago polymorpha</i>	MP	1	++	V1+V2
<i>Medicago arabica</i>	MA	1	++	V7
<i>Vicia sativa</i>	VS	1	+++	V1-4, P, D
Mehrjährig:				
<i>Trifolium repens</i>	TR	1	+++	V1-4, P, D, V7
<i>Medicago lupulina</i>	MA	1	++	V3,V4, P, D, V7

¹ S. Tabelle 3

2.2 Aufbau und Durchführung der Feldversuche

2.2.1 Zusammenfassende Übersicht

Eine Auflistung aller durchgeführten Feldversuche befindet sich in Tab. 3, eine Übersicht über den geplanten und realisierten Verlauf der Versuche, einschließlich des vorzeitigen Abbruchs durch Witterungseinflüsse bei einigen Versuchen in Abb. 4.

Tabelle 3: Übersicht über die Versuche

Bezeichnung ¹	Abk.	Aussaatjahr	Gegenstand der Versuche
<i>Geplante Versuche laut Projektantrag</i>			
Viehhausen 1.1	V 1	2003	Vergleich zwischen
Viehhausen 1.2	V 2	2003	Leguminosenarten bzw.
Viehhausen 2.1	V 3	2004	Anbausystemen
Viehhausen 2.2	V 4	2004	
Dürneck	D	2004	
Pfaffenhofen	P	2004	
Saatgutproduktion	V 11	2005	Saatgutvermehrung
<i>Zusätzliche Versuche:</i>			
	V 5	2005	Etablierung von Weizen und Roggen in einen bestehenden Erdkleebestand
	V 7	2005	Vergleich zwischen Leguminosenarten und Hauptkulturen
	V 8	2005	Einflussfaktoren auf
	V 9	2005	die Konkurrenzverhältnisse im Aussaatjahr
	V 10	2005	Prüfung von Erdkleearten auf Winterfestigkeit

¹Laut Projektantrag Tab. 1

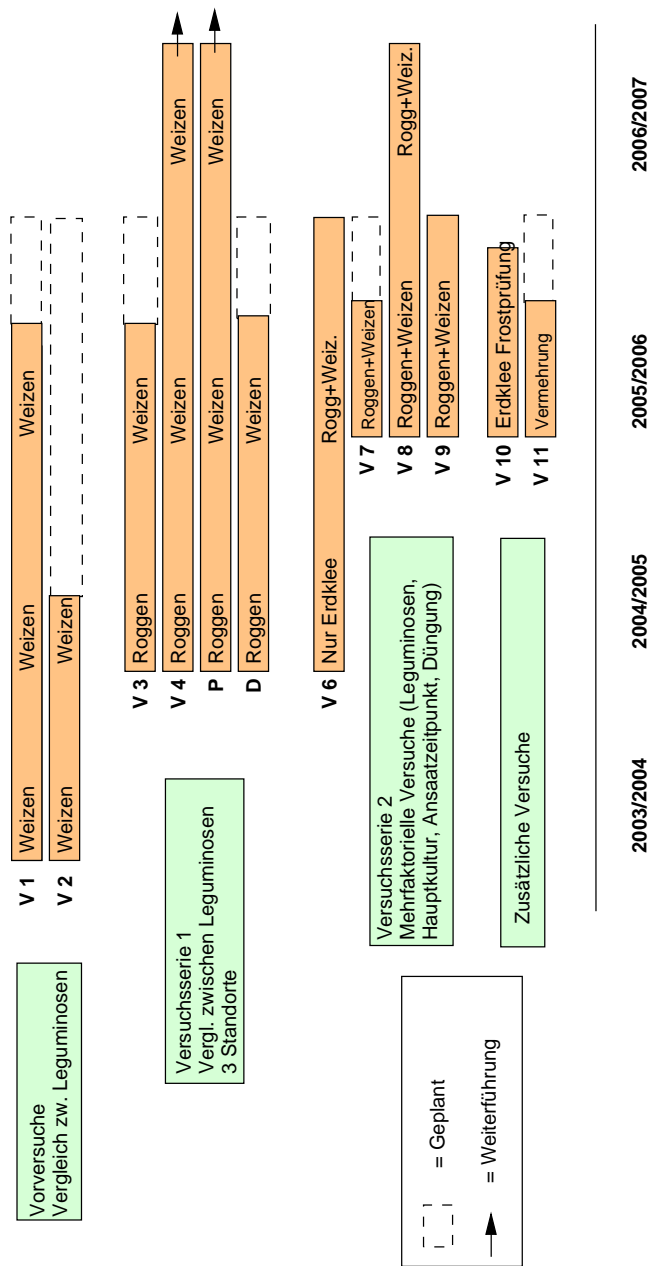


Abb. 4: Übersicht über die Versuche und den zeitlichen Verlauf des Projekts

2.2.2 Im Antrag vorgesehene Versuche

Fragestellung der Versuche

Die Fragestellung, die den Versuchen zugrunde lag, umfasst sowohl praktische pflanzenbauliche als auch funktionelle, die Wirkung auf das Anbausystem und den Boden betreffende Fragen. Die praktischen Fragen, die zunächst geklärt werden mussten, sind:

- Sind Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen praktikabel und vorteilhaft gegenüber mehrjährigen Leguminosen?
- Lassen sich unter süddeutschen Bedingungen mehrjährige Bestände einjähriger Leguminosen durch Selbstaussaat etablieren und als Bodenbedecker nutzen?
- Welche Leguminosenarten sind am geeignetsten?
- Wie sind die technischen Probleme lösbar?
- Was muss bei der Saatgutproduktion unter süddeutschen Bedingungen beachtet werden?

Daneben waren aber auch rein ökologische und physiologische Fragestellungen für die Weiterentwicklung der Anbausysteme von Bedeutung:

- Auswirkung der Leguminosen auf die N-Versorgung und auf die Qualitätsbildung der gleichzeitig wachsenden Hauptkultur
- Auswirkungen auf die Mineralisierungsdynamik der organischen Substanz
- Auswirkungen auf den Pool an leicht mobilisierbarem N
- Auswirkungen auf das Bodenleben
- Konkurrenz der Mischungspartner
- Konkurrenz zu Unkräutern

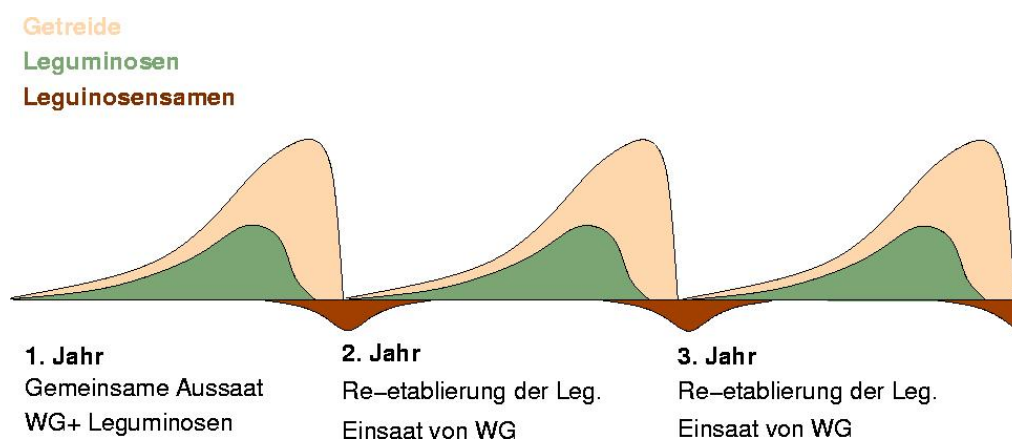


Abb. 5: Schema des Lebendmulchsystems mit einjährigen Leguminosen; erwartete Biomasseentwicklung der Arten

Versuchsaufbau

In den Versuchen sollte eine 3-jährige Getreidefruchtfolge mit permanentem Lebendmulch geprüft werden. Wegen des begrenzten Zeitrahmens des Forschungsprojekts beschränkten sich die meisten Untersuchungen auf einen Zeitraum von 2 Jahren. Das Prinzip ist schematisch in Abb. 5 dargestellt. Im ersten Jahr werden Leguminosen und Getreide gemeinsam im Spätsommer oder Frühherbst ausgesät. Die Leguminosenbestände bleiben über drei Jahre bestehen, da sich die Leguminosenbestände durch Selbstaussaat mehrere Jahre halten können. Das Getreide der Folgejahre wird mit Hilfe der unten beschriebenen Frässaat in die Leguminosenbestände hineingesät.

Tabelle 4: Aufbau der Versuche V1, V2, V3, V4, P, D

Hauptsysteme: Anbauverfahren	Subsysteme: Leguminosenarten	Abkürzung
1 Leguminosen als Lebendmulch:		
überwintert, frühe Reife und Selbstaussaat	1.1 <i>Trifolium campestre</i>	TC
Erstaussaat gemeinsam	1.2 <i>Medicago minima</i> (2 Genotypen)	MM
Fräs- bzw. Direktsaat für Getreide, 40cm Reihenabstand	1.3 <i>Medicago orbicularis</i>	MO
keine bzw. Minimal-Bodenbearbeitung nach Getreideernte	1.4 <i>Trifolium subterraneum</i> (2 Sorten)	TS
	1.5 <i>Medicago polymorpha</i> (nur V1+V2)	MP
	1.6 <i>Trifolium glomeratum</i> (nur V1+V2)	TG
2 Leguminosen als Lebendmulch:		
überwintert, ausdauernd, Ersaussaat gemeinsam	2.1 <i>Trifolium repens</i>	TR
Frässaat Getreide, 40 cm Reihenabstand, keine Bodenbearbeitung	2.2 <i>Medicago lupulina</i>	ML
3 Leguminosen als Zwischenfrucht:		
herkömmliche Drillsaat von Getreide, 12 cm Reihenabstand	3.1 <i>Medicago truncatula</i>	MT
wendende Bodenbearbeitung vor der Getreidesaat	3.2 <i>Vicia sativa</i>	VS
4 Kontrolle (ohne Leguminosen)		
	4.1 Mit Unkrautkontrolle	K1
	4.2 Ohne Unkrautkontrolle	K2
Summe	12 Varianten (14 in V1 und V2)	

In den Versuchen wurden drei Hauptsysteme verglichen, die in unterschiedlichem Umfang in Subsysteme aufgeteilt werden können (Tab. 4). In den Versuchen V1 und V2 wurden zusätzlich die Arten *Medicago polymorpha* und *Trifolium glomeratum* geprüft. (Diese Arten hatten sich aber als nicht hinreichend winterfest erwiesen und wurden in die folgenden Versuche nicht mehr einbezogen). Die Hauptsysteme sind der Anbau in Lebendmulchsystemen mit ein-

jährigen, selbstaussäenden Leguminosen, Lebendmulchsysteme mit mehrjährigen Leguminosen, sowie herkömmlicher Anbau mit Zwischenfrüchten und ein Kontrollsystem ohne Leguminosenanbau. Die Versuche wurden als Parzellenversuche mit 4 Wiederholungen in randomisierten Spaltanlagen angelegt. Die Abmessungen der Parzellen waren 3 x 5 m, die Anzahl der Parzellen pro Versuch betrug (bei 12 Varianten) 48, die Dauer der Versuche 2 bzw. 3 Jahre. Die Versuche wurden an 4 Standorten auf 3 Betrieben angelegt, die sich nach Bodenart und Wasserkapazität unterschieden (s. Tab. [6](#))

2.2.3 Zusätzliche Versuche

Untersuchungen weiterer Einflussfaktoren auf die Konkurrenzverhältnisse

Ausgehend von den Erfahrungen der ersten beiden Jahre wurden im Jahre 2005 zusätzliche Versuche angelegt, die ursprünglich nicht geplant waren, sich aber als notwendig erwiesen, um die Ziele des Forschungsvorhabens zu erreichen. Die Versuche der ersten beiden Jahre hatten gezeigt, dass das Hauptproblem ist, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Bodenbedecker und Hauptkultur zu erzielen. Die Versuche zeigten auch, dass neben der Wahl der Hauptkultur die Einsaattermine, die Einsaatmethode (insbesondere die Teilunterdrückung der Bodenbedecker durch Streifenfräsen) sowie der N-Versorgungsgrad des Bodens hierbei eine wichtige Rolle spielen. Wie die Beobachtungen und Ergebnisse im Jahre 2005 gezeigt haben, können Bewirtschaftungsverfahren und die Nährstoffversorgung einen erheblichen Einfluss auf den Bestand haben. Daher wurden im Spätsommer 2005 ergänzende Versuche angelegt, in denen zusätzlich zur Leguminosenart die Hauptkultur, der Einsaattermin und die N-Versorgung variiert wurden. Im Versuch V7 sollte noch einmal der Einfluss der Hauptkultur und der Leguminosenart auf die Etablierung der Lebendmulche und die Konkurrenzverhältnisse untersucht werden. Der Versuchsaufbau entsprach den Versuchen der Vorjahre, allerdings wurden die zwei Hauptkulturen Weizen und Roggen direkt verglichen, d.h. die Leguminosen wurden sowohl mit Roggen als auch mit Weizen gemeinsam ausgesät. Die Aussaat erfolgte Ende August. Die bisherigen Ergebnisse hatten auch deutlich gemacht, dass neben der Wahl der Hauptkultur und der Bodenbedecker auch die N-Versorgung und der Einsaattermin eine Rolle spielt. Insbesondere ist für die Konkurrenzverhältnisse von Bedeutung, ob die Einsaat der Hauptkultur und der Bodenbedecker gemeinsam erfolgt oder ob die Hauptkultur in bereits bestehende Bestände der Bodenbedecker hineingesät wird. Dazu wurden am Versuchsstandort Viehhausen zwei Versuche angelegt, in denen diese Faktoren variiert wurden (Tab. [5](#)). Allerdings mussten die Leguminosenarten auf Erdklee (einjährig) und Weißklee (mehrjährig) reduziert werden, da sonst der Umfang des Versuchs zu groß geworden wäre. Die beiden Standorte unterschieden sich hinsichtlich ihrer Vorfrucht und damit der N-Verfügbarkeit. Der Versuch V 8 wurde nach Triticale eingesät, der Versuch V 9 nach Klee gras, wodurch der Faktor „N-Verfügbarkeit“ faktisch weiter differenziert wird. Da alle Faktoren, die in dem Versuch nicht variiert werden, gleich bleiben müssten, um die Wirkung der Faktoren beurteilen zu können, wurde auch in den Parzellen, in denen Leguminosen mit Getreide gemeinsam ausgesät wurde und in den Kontrollparzellen ohne Leguminosen dieselben weiten Reihenabstände gewählt, wie in den Frässaatparzellen, auch wenn der weite Reihenabstand bei gleichzeitiger Aussaat nicht notwendig ist.

Tabelle 5: Zusatzversuche V 8 und V 9: Einfluss verschiedener Faktoren auf die Konkurrenzverhältnisse zwischen Hauptkultur Getreide und Leguminosen

Versuchsfaktor	Varianten
Leguminosenart	Erdklee
	Weißklee
	Kontrolle (ohne Leguminosen)
Hauptkultur	Weizen
	Roggen
Einsaat Hauptkultur	Früh (August)
	Spät (Frässaat Oktober)
N-Versorgung	N-Düngung
	Ohne N-Düngung

In diesen Versuchen wurden die Leguminosenbestände im selben Jahr eingesät wie die Hauptkultur; dies war auch dann der Fall, wenn die Hauptkultur in bereits bestehende Leguminosenbestände eingesät wurde. Bei älteren Leguminosenbeständen, die sich bereits ein- oder mehrmals ausgesät haben, sind viele Bedingungen anders, wie die N-Verfügbarkeit im Boden, der Bodenzustand und ggf. die Verunkrautung, vor allem aber die Keimlingsdichte, die bei Selbstaussaat sehr viel höher sein kann als bei der Etablierung. Daher war bereits im Jahre 2004 ein Erdkleebestand etabliert worden, der sich im Jahre 2005 selbst aussäte. Die Bestandesdichte war extrem hoch (>5000 Keimlinge /m²). In diesen Bestand wurden zu 2 Terminen (zu Beginn der Keimung des Erdkleees und nach Schließung des Erdkleebestands) Weizen und Roggen in 3,5 x 12 m großen Parzellen mit 4 Wiederholungen eingesät. Jeweils die Hälfte der Parzellen wurde, wie bei den Versuchen V 8 und V 9 im Frühjahr zusätzlich mit 6 g N/m² in Form von Haarmehlpellets gedüngt, so dass auch die Wirkung einer zusätzlichen N-Versorgung erfasst werden konnte.

Prüfung von Erdklee-Handelssorten auf Winterfestigkeit.

Da die Sorten des Erdkleees sich hinsichtlich der Winterfestigkeit unterscheiden und bisher noch nicht genügend Informationen darüber vorliegen, wurde außerdem in Viehhausen ein Versuch mit 15 Erdkleesorten in kleinen Parzellen (2 m²) mit zwei Wiederholungen angelegt, bei dem in erster Linie die Schädigung durch Frost bewertet wurde (V 10).

2.2.4 Saatgutgewinnung und Versuche zur Saatgutproduktion

In weiteren Versuchen sollten Informationen zur Saatgutgewinnung der Leguminosen auf Feldebene gewonnen werden; gleichzeitig sollte in ihnen die laufende Versorgung mit Leguminosensamen, die z. T. kommerziell nicht verfügbar sind, sichergestellt werden. Eine erste Einschätzung des Potentials der Saatgutproduktion konnte schon in dem Projekt 02OE240 bei dem Screening der Arten erfolgen. Auf der Basis dieser Erfahrungen wurden die Arten *Trifolium campestre*, *Medicago minima*, *Medicago orbicularis* und *Medicago polymorpha* in den Jahren 2004 und 2005 reihenweise von Hand in Beeten ausgesät, das Unkraut von Hand kontrolliert und die Hülsen von Hand geerntet. Hilfstechnik wie Parzellenmähdrescher und Staubsauger wurden getestet unter Berücksichtigung von Erfahrungen mit Futterleguminosen-Saatguterzeugung der Bay. Landesanstalt für Landwirtschaft und der Saatzeit Steinach. Beurteilt wurden der Wuchstyp, die Abreife der Samen, die technische Erntbarkeit und der Aufwand für die Unkrautregulierung. Um die Saatgutversorgung sicherzustellen, wurden in je-

dem Winter zusätzlich Pflanzen im frostfreien Gewächshaus in Töpfen angezogen. Im Jahre 2005 wurden dann ca. 80 m lange und 1,5 m breite Streifen der Arten *M. orbicularis*, *T. campestre* und *M. minima* angesät, um erstmalig einer mechanisierte Ernte (mit Parzellenmähdreschern) durchzuführen, und um genügend Saatgut für einen noch großflächigeren Anbau im Folgejahr zur Verfügung zu haben.

2.2.5 Versuchsstandorte

Die Versuche wurden an folgenden Standorten durchgeführt (Tab. 6):

1. Ökologischer Versuchsbetrieb der TUM, Viehhausen.

Auf diesem Marktfruchtbetrieb wurden zwei unterschiedliche Standorte ausgewählt: die meisten Versuche fanden auf einem sandigem Lehm mit 66 Bodenpunkten statt, der Versuch V2 auf einem sandigeren Standort mit 55 Bodenpunkten.

2. Bioland-Betrieb Braun, Freising-Dürneck.

Dieser Rindvieh haltende Betrieb baut schon seit vielen Jahre Getreide pfluglos mit Leguminosen- und Kräuter- bzw. Gräseruntersaaten an. Charakteristisch sind sandige Lehmböden über einer Schotterschicht.

3. Naturland-Betrieb Hirschberger, Pfaffenhofen.

Der Betrieb arbeitet viehlos und experimentiert schon seit einigen Jahren mit verschiedenen Formen von Mischkultursystemen und ist auch in andere Projekte des Bundesprogramms Ökologischer Landbau einbezogen. Der Boden auf dem Feld, auf dem der Versuch durchgeführt wurde war ein sandiger Lehm mit ca. 45 Bodenpunkten.

Die Fruchtfolgestellungen wurden so ausgewählt, dass sowohl Bedingungen hoher (nach Klee gras) als auch niedriger Stickstoffversorgung (nach Getreide) vertreten waren. Letzteres ist besonders deshalb von Interesse, da hierbei geprüft werden kann, ob die N-Versorgung von Getreide in den Leguminosenlebensmulchen besser ist als ohne Bodenbedecker.

Tabelle 6: Hauptmerkmale der Versuchsstandorte

	Viehhausen	<i>Vers.</i>	Dürneck	<i>Vers.</i>	Pfaffenhofen	<i>Vers.</i>
Bodenart	Lösslehm Sandiger Lehm (sL4D)	<i>V1, V3-11</i> <i>V2</i>	Sandiger Lehm über Schotter	<i>D</i>	lehmgiger Sand	<i>P</i>
Bodenpunkte	55 66	<i>V2</i> <i>V1, V3-11</i>	50	<i>D</i>	30	<i>P</i>
Vorfrüchte	Ackerbohne Erbse und Leindotter Getreide Klee gras	<i>V1</i> <i>V2</i> <i>V3, V6, V7,</i> <i>V8, V10, V11</i> <i>V9</i>	Klee gras	<i>D</i>	Klee gras	<i>P</i>

2.2.6 Technische Durchführung

Bestandesetablierung von Lebendmulchsystemen.

Für die Etablierung der Lebendmulchbestände ist es notwendig, für zwei Arten - Getreide und Leguminosen - optimale Aufwuchsbedingungen zu schaffen, was bei den unterschiedlichen Samengrößen schwer zu erreichen ist. Bei der Erstansaat ist eine zeitgleiche Aussaat oder eine

zeitversetzte - Getreide nach Leguminosen - möglich. Die Erstaussaat erfolgte zwischen dem 15. und dem 20. August. Der Aussaat ging eine herkömmliche wendende Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung voran. Dabei wurden die jeweilige Betriebstechnik und die betriebsüblichen Verfahren verwendet. Im Betrieb Josef Braun weicht die Bodenbearbeitung, bedingt durch das besondere Anbaukonzept des Betriebsleiters, von der verbreiteten Praxis ab. Hier wurde die wendende Bodenbearbeitung durch den Einsatz eines Kreiselgrubbers und wiederholte Nachbearbeitungen zur Unkrautbekämpfung ersetzt. Die Leguminosen wurden bei der Erstaussaat nach der Ernte der vorhergehenden Hauptkultur breitwürfig ausgesät. Nur in den Versuchen V1 und V2 wurde eine Parzellendrillmaschine verwendet, bei der die Säschare aber hochgeklappt waren, so dass die Samen auf den Boden fielen und mit einer nachgezogenen Egge eingearbeitet werden konnten. Die Wirkung entsprach weitgehend der einer breitwürfigen Aussaat. Da es aber immer wieder zur Verschleppung von Saatgut von einer Parzelle in die andere kam, wurde in den darauf folgenden Jahren vorgezogen, die Leguminoseneinsaat mit der Hand vorzunehmen. In den Versuchen V1 und V2 wurde das Getreide erst im Oktober mit Hilfe einer Direktsaatmaschine in die Leguminosenbestände hineingesät, in allen anderen unmittelbar nach der Aussaat der Leguminosen mit einer herkömmlichen Drillmaschine mit 12,5 cm Reihenabstand. Die Parzellen waren 3 m breit und 5 m lang, der Abstand zwischen zwei Parzellen betrug 50 cm in der Längsrichtung, in der Querrichtung wurden die Parzellen durch 3 m breite Fahrgassen voneinander getrennt. Die Saatkulturen betragen 1000 Körner pro m² bei den großsamigen Arten (*M. orbicularis*, *M. truncatula*, *T. subterraneum*), 2500 Körner/m² bei *M. minima* und 5000 Körner/m² bei *T. campestre*. Die Saatkulturen beim Weizen betrug 400 Körner/m², beim Roggen 350 Körner/m².

Getreideeinsaat in die Leguminosenbestände

Zur Einsaat in die bereits etablierten Leguminosenbestände, die zwischen dem 20. und dem 30. September erfolgte, wurde eine Drillmaschine mit Schleppscharen mit einer Reihenfräse der Firma COMEB, Italien (s. Abb. 6) gekoppelt. Die teilflächige Bodenbearbeitung und die Einsaat konnten so in einem Arbeitsgang erfolgen. Das Gerät besitzt 8 seitlich verschiebbare und vertikal schwenkbare Fräskörper mit variabler Arbeitsbreite. Sie wurden so angeordnet, dass auf 40 cm ein etwa 20 cm breiter Streifen eingefräst wurde, in den durch entsprechende Anordnung der Drillmaschine zwei Drillreihen Getreide mit einem Abstand von 8 cm eingesät wurden. Die Aussaatdichte betrug auch bei diesen weiten Reihenabständen 400 Körner/m².



Abb. 6: Die für die Einsaat in die Leguminosenbestände verwendete Reihenfräse (hier ohne angebaute Drillmaschine)

2.2.7 Witterungsverlauf

Die monatlichen Niederschläge und Mittel der Temperaturen sind in Abb. [7](#) dargestellt, eine Aufschlüsselung nach Quartalen findet sich in Tab. [7](#). Der erste Teil des Sommers 2004 (Juni und Juli) war durch stärkere Bewölkung und relativ niedrige Temperaturen gekennzeichnet (vgl. Abb. [9](#)), was sich vor allem auf die Bodentemperaturen ausgewirkt hat (Abb. [8](#)). Für die Versuchsergebnisse von Bedeutung waren auch die sehr hohen Niederschläge im Juli und August 2005, die die Aussaat erschwerten und der kalte und schneereiche Winter 2005/2006. Da vor den Schneefällen Kahlfröste auftraten, blieb der Boden mehrer Monate lang gefroren und taute erst Ende März wieder auf.

Tabelle 7: Niederschläge (mm) und mittlere Temperaturen (°C) nach Quartalen im Versuchszeitraum (nach den Aufzeichnungen der Wetterstation Viehhausen der LfL)

	2004		2005		2006	
Quartal	Mittl. Temp.	Niederschl.	Mittl. Temp.	Niederschl.	Mittl. Temp.	Niederschl.
I	1,1 °C	42 mm	0,5 °C	119 mm	-1,4 °C	172 mm
II	11,9 °C	192 mm	13,2 °C	234 mm	12,9 °C	253 mm
III	17,1 °C	207 mm	16,3 °C	343 mm	17,7 °C	149 mm
IV	4,9 °C	124 mm	4,3 °C	111 mm	4,9 °C	75 mm

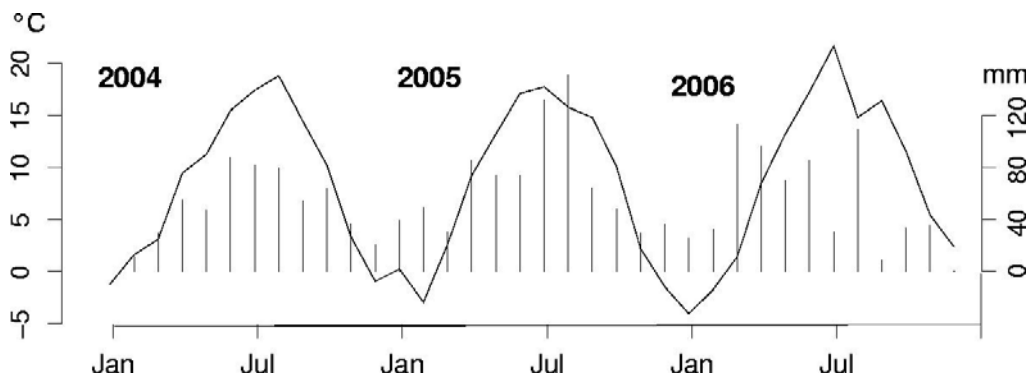


Abb. 7: Mittlere Temperaturen (Monatsmittel) und monatliche Niederschläge am Standort Viehhausen im Zeitraum der Untersuchungen nach den Aufzeichnungen der Wetterstation Viehhausen der LfL

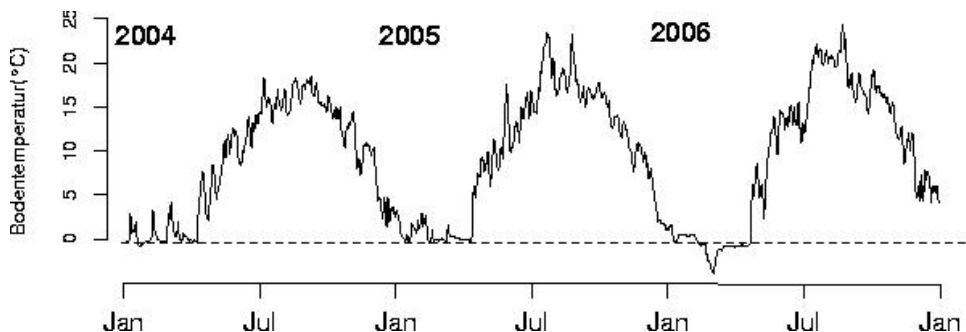


Abb. 8: Bodentemperaturen (Tagesmittel) in 5 cm Tiefe am Standort Viehhausen im Zeitraum der Untersuchungen nach den Aufzeichnungen der Wetterstation Viehhausen der LfL

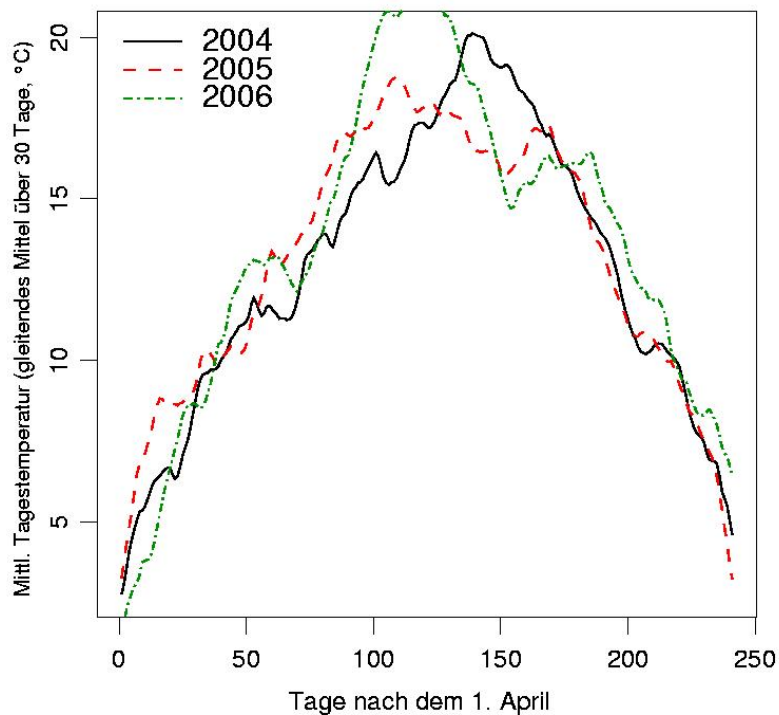


Abb. 9: Vergleich des Temperaturverlaufs in den Versuchsjahren; gleitende Mittelwerte der mittleren Tagestemperaturen über 30 Tage (nach den Aufzeichnungen der Wetterstation Viehhausen der LfL)

2.3 Datenerhebungen und Analysemethoden

In allen Versuchen, mit Ausnahme der Versuche V10 und V11, die speziellen Zwecken dienten, wurden folgende Untersuchungsparameter erhoben:

- Die oberirdische Biomasse der Hauptfrucht, der Leguminosen und der Unkräuter zu den EC-Stadien 32, 62 und 92 der Hauptfrucht.
- N-Gehalte in der oberirdischen Biomasse der Hauptfrucht der Leguminosen und der Unkräuter, ebenfalls zu den EC-Stadien 32, 62 und 92 der Hauptfrucht. Zusammen mit der Biomasse konnte so die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse bestimmt werden.
- Die Kornerträge und die Ertragsstruktur der Hauptkultur.
- Die prozentuale Bodenbedeckung durch die Hauptkultur, die Leguminosen und durch Unkräuter, mit der die Konkurrenzverhältnisse zwischen Hauptkultur und Bodenbedecker sowie das Unkrautunterdrückungsvermögen in den früheren Entwicklungsstadien charakterisiert werden konnte.
- Weitere Bonituren betrafen die vorherrschenden Unkrautarten, sowie Auswinterungsschäden und die Höhe der Leguminosenbestände.

An einem Teil der Versuche wurden außerdem folgende *Bodeneigenschaften* untersucht:

- Der lösliche mineralische Stickstoff (Nitrat) im Herbst (Ende Vegetationszeit), im Frühjahr (Vegetationsbeginn) und zu den EC-Stadien 32, 62 und 92.
- Die partikuläre organische Substanz (POM)
- Die Aggregatstabilität
- Die Dichte der Sporenpopulationen der Arbuskulären Mykorrhiza (AM)

Ein Ziel der Bodenuntersuchungen war eine annähernde Bestimmung des leicht und mittelfristig verfügbaren Stickstoffs. Der leicht aufnehmbare Stickstoff wird durch den N_{min} -Gehalt charakterisiert. Zur Erfassung des leicht abbaubaren organischen Stickstoffs wurde die partikuläre organische Substanz (POM) ausgewählt, weil diese Fraktion, die hauptsächlich aus teilweise abgebauten Resten von Organismen besteht, sehr viel stärker auf Unterschiede in der Nutzungsweise reagiert, als die gesamte organische Substanz [8, 9] und damit der (idealierten, also nicht wirklich erfassbaren) „mobilen Fraktion“ nahe kommt. Weitere Untersuchungen sollten die Wirkung der verschiedenen Anbausysteme auf die biologischen und physikalischen Bodeneigenschaften beispielhaft charakterisieren. Die AM-Sporendichte wurde ausgewählt, weil die AM mengenmäßig der bedeutendste Teil der Bodenmikroflora ist, und von der Vegetation und der Bodenbearbeitung in besonderen Maße beeinflusst wird. Die Aggregatstabilität ist ein Maß zur Charakterisierung der Wirkung auf die Bodenstruktur und die Erosionsanfälligkeit.

Biomassen, Kornertrag, Ertragskomponenten.

Für die Bestimmung dieser Größen wurde jeweils ein m^2 von Hand geschnitten. Das geschnittene Material wurde sortiert und die Trockenmasse der Komponenten Hauptkultur, Leguminosen und Unkräuter bestimmt. Ein Teil der so gewonnenen Proben wurde für die Stickstoffbestimmung gemahlen. Der Kornertrag wurde durch Drusch der ganzen Parzellen mit einem Parzellenmähdrescher der Firma Wintersteiger bestimmt. Die Bestimmung der Ertragsstrukturkomponenten (Tausendkorngewicht, Kornzahl/Ähre, Ähren/ m^2) erfolgte an einer zuvor separat von Hand durchgeführten Teilernte einer Fläche von einem m^2 .

Entnahme von Bodenproben.

Die Bodenproben wurden mit Hilfe von „Göttinger Bohrstöcken“, mit denen man ca. 1,5 cm dicke Bohrkern ausstechen kann, entnommen. Pro Parzelle wurden 10 Bohrkern einer Tiefe von 0 - 30 cm entnommen. Tiefere Proben wurden stichprobenartig entnommen, um festzustellen, ob eine Nitratverlagerung in tiefere Schichten stattgefunden hatte.

N_{min} -Analysen.

Die N-min-Gehalte (nur Nitrat) wurden an Extrakten mit Kalziumchloridlösung nach dem VDLUFA-Standard photometrisch bestimmt. Die Messwerte wurden auf kg/ha umgerechnet, wobei von einer Trockenrohddichte des Bodens von $1,5 \text{ g/cm}^3$ ausgegangen wurde.

Pflanzenanalysen.

Die Bestimmung der Stickstoffgehalte im Pflanzenmaterial erfolgte durch Verbrennung nach Dumas in einer vollautomatischen Anlage („Variomax CNS“ der Firma Elementar, Hanau).

Partikuläre organische Substanz (POM).

Die POM wurde durch Aufschwemmung in einer Natriumpolywolframatlösung mit der Dichte 1,8 extrahiert [10]. Die Bodenproben wurden vorher getrocknet und staubfein gemahlen. Für jede Bodenprobe wurden 2 x 15 g analysiert. Die Aufschwemmung mit der Natriumpolywolframatlösung wurde vor der Zentrifugation 30 Min. geschüttelt und 15 Min. in einem Ultraschallbad behandelt. Nach der Zentrifugation wurde die POM durch Filtration des Überstands gewonnen und wiederholt ausgespült. Die Bestimmung des N-Gehalts in der POM erfolgte wie bei den Pflanzenproben. Wie die N_{min} -Werte wurden die Messwerte auf kg/ha umgerechnet, wobei von einer Trockenrohddichte des Bodens von 1,5 g/m² ausgegangen wurde.

Sporen der Arbuskulären Mykorrhiza.

Die Sporen der AM wurden durch Zentrifugation einer Aufschwemmung von 50g bei 40°C getrockneten Bodens in einer Rohrzuckerlösung mit einer Dichte von annähernd 1,3 extrahiert [27]. Der Überstand mit den Sporen wurde filtriert und wiederholt gespült, anschließend wurden die Sporen im Filtrat unter dem Stereomikroskop bei 100-facher Vergrößerung ausgezählt.

Aggregatstabilität

Die Aggregatstabilität wurde nach Sekera und Brunner [26] halbquantitativ bestimmt. Dabei werden einige Aggregate in einer flachen Schale mit Wasser bedeckt, für einen definierten Zeitraum stehen gelassen und leicht bewegt. Die Aggregatstabilität wird anschließend durch Bonituren nach dem von den beiden Autoren vorgeschlagenen Schema [26] bestimmt. Dabei werden Böden mit weitgehend stabilen Aggregaten mit der Boniturnote 2 und solche, deren Aggregate vollständig zerfallen mit der Note 0 bewertet; die Note 1 wird an Böden mit teilweise zerfallenen Aggregaten vergeben.

Digitale Bildauswertung.

Die Ermittlung des Bodendeckungsgrades erfolgte an Digitalfotos mit Hilfe der elektronischen Bildauswertung. Hierfür wurde ein einfach und schnell zu bedienendes Programm entwickelt. Herkömmliche Bildauswertungsprogramme sind sehr kompliziert und teuer und für diesen einfachen Zweck überdimensioniert. Das Programm kann Interessenten auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe der digitalen Bildauswertung ist es nur möglich, den gesamten Bodenbedeckungsgrad zu ermitteln. Die Bodenbedeckung durch die einzelnen Komponenten (Leguminosen, Getreide, Unkraut) wurden daher durch zusätzliche Bonituren bestimmt.

Bonituren

Folgende Merkmale wurden durch Bonituren oder Auszählung erfasst:

1. Die Bodenbedeckung in den frühen Entwicklungsstadien, differenziert nach Leguminosen, Getreide und Unkräutern (Ergänzend zur digitalen Bildauswertung, da durch diese die einzelnen Komponenten nicht erfasst werden konnten)
2. Die Bestandeshöhe der Leguminosenbestände
3. Die Samendichte (Körner/m²)
4. Die Keimlingsdichte bei den einjährigen Leguminosen

5. Die Auswinterungsschäden: dabei wurde sowohl der Anteil der geschädigten Pflanzen als auch der Grad der Schädigung der einzelnen Pflanzen berücksichtigt und zu einer Gesamtbonitur zusammengefasst (Angabe in % ausgewinterter Pflanzen bzw. Pflanzenteile).

Wetterbeobachtungen.

Der Witterungsverlauf wurde durch die Wetterstation Viehhausen, die zum Netzwerk der LfL Bayern gehört, vollautomatisch aufgezeichnet. Neben den Niederschlägen und der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit wurden auch die Bodentemperaturen in 5 und 20 cm Tiefe aufgezeichnet.

2.3.1 Untersuchungen zur Allelopathie

Die Untersuchungen zur Allelopathie wurden an der GSF (Institut für Bodenökologie) durchgeführt. Es wurde ein Biotest (Bioassay) mit *Lactuca*-Pflanzen durchgeführt. Die Testpflanzen wurden mit Leguminosen in unterschiedlicher Konzentration in Flüssigkultur gezogen, um die Auswirkungen auf Wurzelwachstum und Trockenmasse zu erkennen. Die zugrunde liegende Frage war, ob Leguminosen in steigender Konzentration bei den Testpflanzen eine Veränderung der Trockenmasse, der Wurzellänge oder der Wurzelstruktur bewirken. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Methoden und der Ergebnisse sind der im Rahmen dieser Untersuchungen angefertigten Diplomarbeit von N. Zimmer [30] zu entnehmen.

2.3.2 Auswertung der Daten

Statistische Verrechnung.

Alle statistischen Tests wurden mit Hilfe der Statistiksoftware „R“, vers. 8.1 [21, 20] durchgeführt. In der überwiegenden Anzahl der Fälle wurde nach einer Prüfung der Residuen auf Homogenität und Normalität der Verteilung [25] eine Varianzanalyse mit anschließendem Mittelwertvergleich durch t-Tests durchgeführt. Bei simultanen Mittelwertvergleichen wurden die P-Werte nach Bonferroni korrigiert. Bei der Auswertung der Bonituren der Aggregatstabilität wurde eine Kontingenztafelanalyse mit χ^2 -Test vorgenommen [25].

3 Versuchsdurchführung und Bestandesentwicklung

3.1 Versuchsjahr 2003/2004

3.1.1 Versuche V1 und V2

Der Versuch V1 wurde auf einem lehmigen, der Versuch V2 auf einem eher sandigen Standort der Versuchstation Viehhausen der TU München durchgeführt. Die Leguminosen wurden am 15./16. September mit einer Parzellensämaschine eingesät. Dabei wurden die Säschare hochgeklappt und die, meist recht kleinen Samen nur oberflächlich mit einer nachgezogenen leichten Egge eingearbeitet. Infolge des trockenen Herbstes liefen die Samen erst verhältnismäßig spät (Anfang Oktober) auf. Daher konnten sich mit Ausnahme von *M. truncatula* bis zum Wintereinbruch keine flächendeckenden Bestände entwickeln. Am Standort V1 waren die Bestände im Herbst wesentlich besser entwickelt als am Standort V2. Die Lücken wurden von Unkräutern besiedelt. Von den einjährigen Arten bildete nur *M. truncatula* im Herbst hinreichend dichte Bestände, dass eine Unkraut unterdrückende Wirkung feststellbar war (vgl

Abschn. 4.4). Die Einsaat des Weizens erfolgte mit einer Direktsaatmaschine mit Scheibenscharen (Modell „Pronto“ der Firma Horsch) direkt in die Leguminosenbestände ohne vorherige Bodenbearbeitung oder Ausfräsen von Streifen. Der Reihenabstand betrug 15 cm. Zu diesem Zeitpunkt waren die Leguminosenbestände noch dünn und der Boden noch locker genug für eine Direktsaat. Auch durch die Säscharre der Direktsaatmaschine wurde die vorhandene Vegetation reduziert, so dass es einen Versuch wert erschien, die Einsaat mit Standardtechnik zu versuchen, was für eine spätere Praxiseinführung von Vorteil ist. Es zeigte sich aber, dass die Reduktion der Bodenbedecker und Unkräuter unzureichend war. Außerdem war der Boden zu diesem Zeitpunkt schon etwas verfestigt, so dass das Getreidesaatgut zu oberflächlich abgelegt wurde. Direktsaatmaschinen sind in der Regel extrem schwer; in unserem Falle wog die gesamte Maschinenkombination etwa 12 Tonnen. Dadurch wurde der Boden stark verdichtet. Infolge der „bodenschonenden“ Breitbereifung erfasste die Verdichtung etwa 50 % der Bodenfläche. Leguminosen und Weizen wurden dadurch im Wachstum gehemmt, bestimmte Unkräuter, insbesondere die echte Kamille dagegen gefördert. Infolge dieser Erfahrung wurden die Arbeiten in den folgenden Jahren mit möglichst leichten Maschinen mit schmalen Reifen durchgeführt. Fahrgassen wurden genau eingehalten, so dass Verdichtungen lokal begrenzt wurden. Erwartungsgemäß winternten Sommerwicke und *M. truncatula* aus. Unerwartet starke Auswinterungen waren bei *Medicago polymorpha* zu verzeichnen, so dass diese Art nicht als überwinternder Bodenbedecker ausgewertet werden konnte. Zu Beginn der Vegetationsperiode war der Leguminosenanteil an beiden Standorten zurückgegangen, da einige Unkräuter infolge ihres geringeren Wärmebedarfs die Lücken in den Leguminosenbeständen besiedeln konnten. Ab Mitte April war der Boden an beiden Standorten vollständig von Pflanzen bedeckt. Das gilt auch für die Parzellen, auf denen im Herbst Bestände von *M. truncatula* vorhanden waren. Die vorherrschenden Unkräuter sind in Tab. 17 aufgelistet. An beiden Standorten kamen Ehrenpreis (*Veronica officinalis*), Vogelmiere (*Stellaria media*), *Lamium purpureum*, Hundskamille (*Artemis arvensis*) und Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*) vor, letztere vorwiegend in den Radspuren. Auf dem Standort V1 war sie auf einem Teil der Versuchsfläche dominierend. Die meisten Leguminosen konnten sich im Verlauf des Frühlings gegen die Unkräuter behaupten, die einjährigen etwa drei Wochen früher als die mehrjährigen. Durch den kühlen Frühling und Frühsommer wurde die Abreife der Leguminosen verzögert, das vegetative Wachstum dagegen verlängert, so dass die Konkurrenz für die Hauptfrucht Weizen in diesem Jahr größer war, als nach den Ergebnissen der vorangegangenen Jahre erwartet werden konnte. Mit der sommerlichen Witterung im August reiften die einjährigen Leguminosen anschließend rasch ab, so dass sich durch Selbstaussaat neue Bestände etablieren konnten. Die Aussaatdichte war dabei sehr hoch, so dass sich einige Arten gegenüber den Unkräutern (die sich ebenfalls massiv ausgesät hatten) durchsetzen konnten. Die meisten der geplanten Untersuchungsparameter konnten im Versuch V2 erfasst werden, im Versuch V1 war aufgrund der Bestandesentwicklung die Erfassung der Entwicklung der Hauptkultur ab Mitte Juli nicht mehr sinnvoll. Die Aussaat der Winterung 2004 (Winterweizen) erfolgte am 15. Oktober durch Frässaat mit einer Reihenfräse der Firma COMEB (Italien). Die Breite der Frästreifen betrug 20 cm, der Abstand 40 cm. Der Aufgang und die Anfangsentwicklung der Hauptkultur waren besser als im Vorjahr.

Tabelle 8: Ablauf der Versuche V1 und V2

2003	16.-20. Aug.	Aussaat der Leguminosen
	3.-6. Sept.	Aufgang der Leguminosen
	14.-18. Okt.	Einsaat der Hauptkultur
	23.-25. Okt.	Aufgang der Hauptkultur
	20. Nov.	Vegetationsende
2004	12. März	Vegetationsbeginn
	5. Aug.	Ernte
	10.-15.Okt.	Frässaat Weizen
2005	ca. 8. Apr.	Vegetationsbeginn
	8. - 14. Aug.	Ernte
	12.- 16 Okt.	Frässaat Weizen
	ca. 15. Nov.	Vegetationsende
2006	ca. 15. Apr.	Vegetationsbeginn
	25. Apr.	Umbruch und Einsaat von Weidelgras

3.2 Versuchsjahr 2004/2005

3.2.1 Versuche V1 und V2

Im Winter 2004/2005 wurde der Versuch V2 sehr stark von Wühlmäusen beschädigt. Die Lücken wurden im wesentlichen durch Weißklee besiedelt, der durch Saatgutverschleppung durch die verwendete Parzellensämaschine in allen Parzellen vorhanden war. Der Versuch konnte daher nicht weiter ausgewertet werden. Frostschädigung der Leguminosen war dagegen nicht eingetreten. Im Versuch V1 hatten sich die Leguminosen und, wenn auch mit unzureichender Bestandesdichte, die Getreidebestände gut entwickelt, so dass alle geplanten Untersuchungen vorgenommen werden konnten. Zum zeitlichen Ablauf der Versuche siehe Tab. [8](#).

3.2.2 Versuche D1, V3, V4-11, P

Die Bodenbedecker wurden im August 2004 gleichzeitig mit der Hauptkultur Winterroggen eingesät. Sowohl Bodenbedecker als auch Roggen entwickelten sich gut; beim Erdklee und bei *M. truncatula* waren bereits Ende September geschlossene Bestände vorhanden, bei den anderen Arten verlief die Entwicklung etwas langsamer. Der Unkrautbesatz war in diesem Jahr geringer; aggressive Arten waren nur schwach vertreten. Trotz einer lang andauernden Schneedecke hatten alle Leguminosenbestände (bis auf *M. truncatula*, bei der das beabsichtigt war) den Winter gut überstanden. Der Roggen erwies sich, im Gegensatz zum Weizen, als sehr konkurrenzstark gegenüber den Leguminosen, besonders an den Standorten mit günstigeren Wachstumsbedingungen (V4, P). Nur beim Erdklee bildete sich an diesen Standorten unter den Roggenbeständen eine geschlossene Leguminosendecke, bei den anderen Arten war sie lückenhaft. Bei den Arten *M. minima* und *T. campestre* war es an diesen beiden Standorten notwendig, eine Nachsaat vorzunehmen, da sonst die Leguminosenbestände im darauf folgenden Jahr zu dünn geworden wären.

Tabelle 9: Ablauf der Verbuche V3, V4, D und P

2004	16. - 22. Aug.	Aussaat
	5. - 10. Sept.	Aufgang Roggen und Leguminosen
	ca. 10. Nov.	Vegetationsende
2005	8. Apr.	Vegetationsbeginn
	5. - 10. Aug.	Ernte
	15. - 17. Aug.	Fräsen
	ca. 16. Aug.	Aufgang Leguminosen
	20. - 22. Sept.	Frässaat Weizen
	25. - 30. Sept.	Aufgang Weizen
	10. - 15. Nov.	Vegetationsende
2006	15. Apr.	Vegetationsbeginn
	12. Mai	Umbruch (V3,D) und Aussaat von Weidelgras (V3)
	8. - 12. Aug.	Ernte (V4)
	12. - 15. Aug.	Ganzflächiges Fräsen (V4,P)
	16. - 20. Aug.	Ganzflächige Einsaat Weizen V4, P)
	Entfällt	Vegetationsende

Tabelle 10: Ablauf der Verbuche V6, V7, V8 und V9

2005	15. - 20. Aug.	Aussaat Leguminosen (Getreide bei der frühen Variante)
	20. - 25. Aug.	Aufgang Leguminosen und Getreide
	10. - 15. Nov.	Vegetationsende
2006	ca. 15. Apr.	Vegetationsbeginn
	8. - 12. Aug.	Ernte
	12. - 15. Aug.	Fräsen und Getreideeinsaat
	Entfällt	Vegetationsende

3.3 Versuchsjahr 2005/2006

Um die auflaufenden Unkräuter zu kontrollieren und oberflächlich abreifende Samen einzuarbeiten, wurden alle Parzellen mit einjährigen Leguminosen flach gefräst (ca. 4 cm). Die Hauptkultur (WW) wurde mit Hilfe der Reihenfräsen- Drillmaschinenkombination im Oktober in die Leguminosenbestände hineingesät. Der Winter 2005/2006 war besonders kalt und schneereich. Die Schneedecke dauerte von Mitte November bis Mitte April, also mehr als 4 Monate und wurde nur im Januar für wenige Tage unterbrochen. Anders als in den Jahren davor war der Boden vor den erneuten Schneefällen im Januar tief durchgefroren, so dass die Schneedecke nicht als Schutz gegen Bodenfrost wirkte, sondern sogar eine Erwärmung des Bodens verhinderte. Beim Auftauen, das sich über mehrere Wochen hinweg zog, kam es demzufolge zu Stauwasser, da der Boden noch gefroren war. Durch diese ungünstigen

Wachstumsbedingungen kam es in allen Versuchen zu Auswinterungsschäden, sowohl bei den Leguminosen als auch beim Getreide. Die Versuche V1, V4, V7, und D konnten nicht mehr ausgewertet werden, da die Getreidebestände fast vollständig und die Leguminosenbestände zu größten Teil ausgewintert waren. Beim Versuch V8 war ein Teil der Getreidebestände ausgewintert und die Erdkleebestände stark beschädigt. Die Versuche V6 und V9 konnten zwar ausgewertet werden, da trotz der Auswinterung gleichmäßig entwickelte Getreidebestände vorhanden waren, die Erdkleebestände waren aber fast vollständig abgefroren; die Wirkung der Erdkleeuntersaat entsprach daher nicht der Versuchsfragestellung, war aber von Interesse, da auch in der Praxis in Jahren mit strengen Wintern mit einem Verlust der Bodenbedeckern gerechnet werden muss. Der Versuch V11 (Saatgutvermehrung) musste ebenfalls abgebrochen werden. Die Bedingungen für den Versuch V10 (Prüfung von Erdklee-Genotypen auf Winterfestigkeit) waren dagegen eher günstig, da die Witterungsbedingungen eine gute Differenzierung der Genotypen erlaubten. Einzig in den Versuchen V4 und P hielten sich die Auswinterungsschäden in Grenzen. Alle Versuche mit Auswinterungsschäden befanden sich in Viehhausen in einer eher schattigen Position, was sich in diesem Fall als ungünstig erwies. Eine Übersicht über die Auswinterungsschäden an den Versuchen im Winter 2005/2006 und die Folgen für die geplanten pflanzenbaulichen Untersuchungen gibt Tab. [11](#).

Tabelle 11: Auswinterungsschäden in den Versuchen (2006) und Konsequenzen für die pflanzenbauliche Auswertung. 0: keine Auswinterung; „+“: geringe Auswinterung; „++“ und „+++“: mittlere Auswinterung; „++++“: vollständige oder fast vollständige Auswinterung,

Versuch	Schäden		Auswertbarkeit
	<i>Leguminosen</i>	<i>Getreide</i>	
V1	++++	++	nicht auswertbar
V3	++++	+++	nicht auswertbar
V4	+	-	auswertbar
V6	++++	+	teilweise auswertbar
V7	+++	++	nicht auswertbar
V8	++	++	teilweise auswertbar
V9	++++	+	auswertbar
V10	+++	-	nicht auswertbar
V11	+++	-	auswertbar
D	++	+	nicht auswertbar
P	+	+	auswertbar

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Winterfestigkeit der Leguminosen

Es konnte bestätigt werden, dass die meisten der geprüften einjährigen Leguminosenarten (bis auf *M. truncatula*) hinreichend winterfest waren, um einen normalen Winter in Süddeutschland zu überstehen (vgl. Tab. 18 und Abb. 11). Für den Erdklee gilt das allerdings nicht für alle Sorten; so war die Auswinterung beim im Jahr 2003 eingesäten Italienischen Zuchtstamm vergleichsweise groß. Beim Screening verschiedener Erdkleegeotypen (Tab. 12) zeigte sich ebenfalls, dass eine erhebliche Variabilität hinsichtlich der Winterfestigkeit vorhanden ist. Eine Steigerung der Winterfestigkeit durch gezielte Züchtung erscheint demnach aussichtsreich. Nur im besonders kalten und schneereichen Winter 2005/2006 kam es in einem Teil der Versuche zu starken Auswinterungsschäden (Abb. 10, Tab. 18 und Abb. 11) Für die beobachteten Auswinterungen kommen verschiedene Ursachen in Betracht:

- Direkte Schädigung durch Frost
- Schädigung durch Luftabschluss unter der Schneedecke bzw. Bildung eines Mikroklimas, das Pilzkrankheiten begünstigt
- Luftabschluss des Wurzelsystems durch Stauwasser beim Auftauen der Schneedecke



Abb. 10: Auswinterungsschäden an einem Erdkleebestand im Versuch V8, April 2006

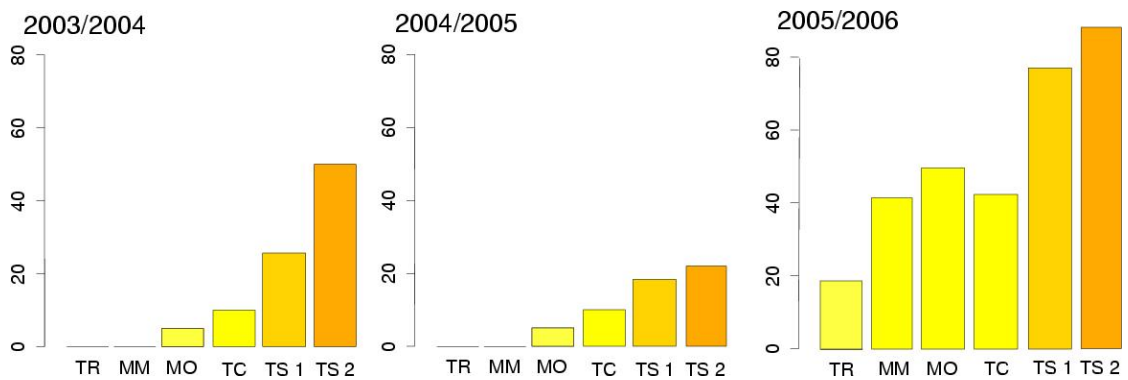


Abb. 11: Auswinterungen in %, Zusammenfassung der Daten in Tab. [18](#)

Tabelle 12: Prüfung verschiedener Erdkleegeotypen auf Winterfestigkeit, Versuch V10, 2005/6

Sorte	% überlebende Pflanzen
Antas	15
Campeda	50
Carriedale	50
Clare	5
Dalkeit	5
Gosse	5
Goulbourne	15
Leura	5
Limbara	60
Losa	10
Nuba	5
Trikkala	60
Woogenellup	70
York	8
Zuchtlinie aus Italien	15

Direkte Schädigungen durch Frost scheinen als Ursache für Auswinterungsschäden nur eine untergeordnete Bedeutung zu haben; unter der Schneedecke war es meistens vergleichsweise warm; bei Kahlfrösten (bis -16°C, wie sie im Winter 2002/2003 im Rahmen eines anderen Projekts beobachtet wurden) konnten keine Schädigungen beobachtet werden. Unter einer Schneedecke waren die Schäden trotz milderer Temperaturen höher. Besonders stark waren die Schäden, wenn die Bestände im Herbst bereits stark entwickelt waren (Abb. 12), z. T. konnte ein Befall mit *Fusarium* beobachtet werden. Im Winter 2005/6 kam es vor starken Schneefällen im Januar zu Bodenfrösten bis zu einer Tiefe von 10 - 15 cm. Infolge der isolierenden Wirkung der Schneedecke taute der Boden bis zum April nicht mehr auf. Während des Tauvorgangs, der ca. 2 Wochen dauerte, staute sich das Tauwasser z. T. auf der noch nicht aufgetauten tieferen Eisschicht. An den Standorten, an denen dies der Fall war, konnte beobachtet werden, dass die oberirdischen Pflanzenteile noch intakt schienen, während das Wurzelsystem bereits abgestorben war. Es ist also möglich, dass auch das Wurzelsystem nicht nur durch Frost, sondern auch durch Luftabschluss geschädigt wurde. Unter den geprüften einjährigen Arten erwies sich *T. campestre* und *M. minima* am winterhärtesten, gefolgt von *M. orbicularis* und *T. subterraneum*. Im Rahmen unserer Forschungstätigkeit zu den einjährigen Leguminosen wurden seit 2002 einjährige Leguminosen überwintert angebaut. Nur im Winter 2005/2006 kam es in einigen Fällen zu einer weitgehenden Zerstörung der Leguminosenbestände (Versuche V7, V8 und V9). Da im praktischen Anbau auch ein Totalausfall der Leguminosen nicht zu einer Ertragsverminderung der Hauptkultur führen muss, erscheint das Risiko einer Auswinterung der Bodenbedecker vertretbar. Als pflanzenbauliche Maßnahme zur Verringerung der Auswinterung erscheint Mulchen üppiger Bestände vor den ersten Schneefällen sinnvoll.

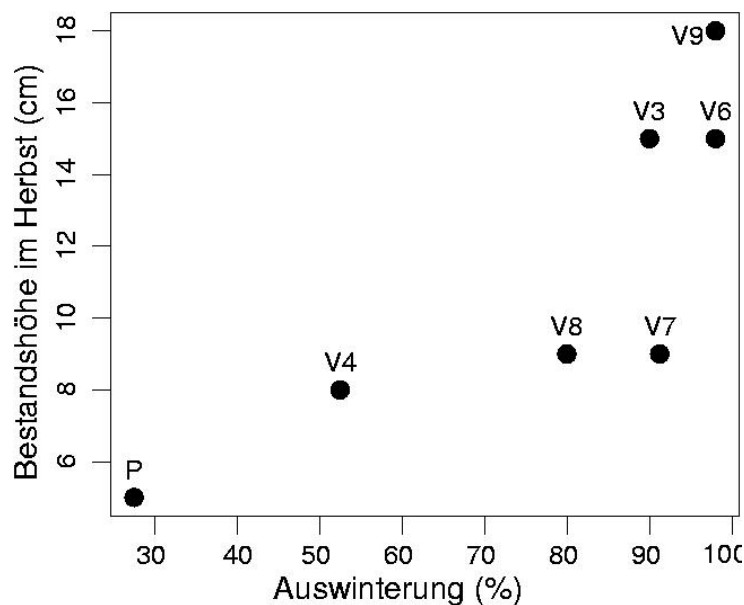


Abb. 12: Wuchshöhe im Herbst und Auswinterung beim Erdklee im Winter 2005/2006

4.2 Selbstaussaat und Ausdauer der Leguminosenbestände

Ausdauer der Bestände.

Alle geprüften einjährigen Arten (bis auf *M. truncatula*) waren in der Lage, hinreichende Mengen an Samen zu bilden, um den Bestand über mehrere Jahre zu erhalten (Tab. 19). Beim Erdklee reiften die Samen, wie in seiner mediterranen Heimat, unterirdisch ab (Abb. 13). Bei allen Arten übertraf die Menge der gebildeten Samen die ursprünglich ausgesäte Menge meistens um ein Vielfaches, so dass die Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Unkräutern eher besser ist als im Aussaatjahr. Bei den bisher nur wild wachsenden Arten *M. minima* und *M. orbicularis* ist allerdings der Prozentsatz hartschaliger Samen oft sehr hoch, so dass in einigen Jahren trotz reichlicher Samenproduktion die Keimlingsdichte niedrig war. Das zeigte sich vor allem im Jahr 2004 in den Versuchen V1 und V2. Bei diesen Arten wäre eine züchterische Bearbeitung zur Verbesserung der Keimfähigkeit notwendig, wie sie beim Erdklee bereits stattgefunden hat.



Abb. 13: Unterirdisch abgereifte Fruchtstände des Erdklee, VH2, 2004

Potentielle Gefahr einer Massenausbreitung der bisher nicht angebauten Arten

Im Rahmen unserer Versuche wurden in den letzten 4 Jahren 6 Bestände der einjährigen Arten umgepflügt und in den folgenden Jahren beobachtet. In keinem Fall konnten in den Folgejahren auf den beobachteten Flächen Bestände dieser Arten nachgewiesen werden. Nach unseren Erfahrungen ist, trotz des hohen Prozentsatzes hartschaliger Samen nicht zu erwarten, dass die Arten zu Unkräutern werden, da sie sich leicht mit herkömmlicher Bodenbearbeitung und Striegeln unter Kontrolle halten lassen. Erdklee wird bereits seit längerer Zeit in Deutsch-

land gelegentlich angebaut; bisher ist es zu keiner Ausbreitung gekommen. Bis auf den Erdklee kommen alle verwendeten Arten auch in Deutschland spontan vor und sind nicht zu Unkräutern geworden. Ihr Vorkommen ist im wesentlichen auf Trockenstandorte beschränkt, wo sie unter Naturschutz stehen. Eine Verdrängung einheimischer Genotypen durch den Anbau, die man vielleicht befürchten könnte, ist nicht zu erwarten, da diese Flächen nicht als Ackerland bewirtschaftet werden. Ein Pollentransfer durch Insekten von angebauten auf benachbarte wilde Bestände ist bei den Arten *M. orbicularis* und *M. minima* denkbar und könnte zu einer Veränderung ihrer genetischen Zusammensetzung führen. Um die ökologischen Gefahren, die dadurch entstehen könnten, abzuschätzen, wären weitere Untersuchungen notwendig. Wegen ihrer weitaus größeren Verbreitung ist die Gefahr bei Arten wie Rotklee, Weißklee oder mehrjährigem Weidelgras weitaus größer (und der Vorgang wahrscheinlich schon weit fortgeschritten). *T. campestre* ist eine autogame Art; hier ist nur mit einer geringen Beeinflussung benachbarter Populationen zu rechnen.

4.3 Kornerträge

4.3.1 Gemeinsame Ansaat von Bodenbedeckern und Hauptkultur

Die Leguminosenbestände wurden in verschiedenen Versuchen sowohl mit Winterweizen als auch mit Winterroggen als Hauptkultur etabliert. Die meisten Ergebnisse zum Ertragseffekt der Leguminosen auf die Hauptkultur liegen für Roggen vor, mit dem Schwerpunkt auf dem Jahr 2004/2005. Die Ertragsunterschiede zwischen den Standorten waren, bedingt durch die Vorfrucht z. B. Klee gras (Vers. P), Getreide (V3) oder Konkurrenz von Ausfallgräsern (D). Beim Roggen reichte die Ertragsspanne von 19 bis 49 dt/ha. In diesem Jahr hatten die

Tabelle 13: Kornerträge (dt/ha) bei gemeinsamer Aussaat im August (Hauptkulturen (HK): Weizen (WW), Roggen (WR)). Werte, denen gleiche Buchstaben folgen, konnten statistisch nicht unterschieden werden (t-Test mit Bonferroni-Korrektur, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit). Die Vergleiche wurden jeweils innerhalb der Versuche durchgeführt (Reihen)

Ver-such	Jahr	HK	Kon-trolle	<i>Medicago orbicularis</i>	<i>Medicago minima</i>	<i>Trifolium subterraneum</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Medicago truncatula</i>
V2	2004	WW	28,1a	13,0b	14,2c	21,5d	43,0b	-
V3	2005	WR	24,7a	23,6a	26,3a	24,0a	27,0a	30,8b
V4	2005	WR	33,4a	34,1a	35,9a	34,4a	31,2a	40,9b
P	2005	WR	48,0a	49,3a	48,0a	45,0a	44,1a	48,1a
D	2005	WR	23,2a	19,2a	21,2a	21,0a	20,5a	25,9b
V8	2006	WW	90,0a	-	-	87,0a	44,0b	-
V9	2006	WR	33,9a	-	-	31,4a	16,8b	-
	2006	WW	28,5a	-	-	20,0b	12,9c	-

verschiedenen überwinternden Leguminosenarten keinen Einfluss auf die Ertragsbildung des Roggens. Dagegen führte die Einsaat von *M. truncatula* als im Herbst abfrierende Untersaat bis auf den Standort Pfaffenhofen zu signifikanten Ertragssteigerungen im Bereich zwischen 11 und 25 % im Vergleich zu der Kontrolle. Leider konnte dies aufgrund des extremen Winters von 2005 auf 2006 mit seinen Auswinterungsschäden nicht nachvollzogen werden. Die Ergebnisse zur gemeinsamen Aussaat von Weizen mit Leguminosen sind stark durch die Bedingungen der Jahre beeinflusst. Der geplante Versuchsansatz ging von einer schwachen Entwicklung der Leguminosen im Herbst aus, so dass die Aussaat zum üblichen Saattermin durchgeführt werden könnte. Dies war nur mit einer Direktsaatmaschine möglich. Die Ergeb-

nisse zeigten allerdings eine starke Konkurrenz der Leguminosen und der nachwachsenden Unkräuter und damit eine eingeschränkte Wuchsleistung des Weizens. Der nachfolgende kühle Sommer führte zu einem nicht terminierten Wachstum der Leguminosen und damit zu starker Konkurrenz. Die im Versuch V7 erfolgte gleichzeitige Aussaat von Weizen und Leguminosen, so wie der vergleichende Test von gleichzeitiger und zeitversetzter Aussaat in V8 und V9 war erheblich durch die Auswinterungsschäden 2005/2006 beeinflusst. Aus den Beobachtungen des Versuchs V7, der nicht quantitativ ausgewertet werden konnte, ließ sich schließen, dass der Weizen stärker reduziert war als Roggen. Die Versuche V8 und V9 zeigten gleichartige Reaktionen von Weizen und Roggen, d. h. Erdklee führte in den Versuchen zu keiner Ertragsreduktion, Weißklee reduzierte den Ertrag um ca. 50%. In allen Fällen kam es beim Weizen zu einer Ertragsminderung, für die es verschiedene Ursachen gibt:

- Die verminderte Bestandesdichte infolge der Weitreihenaussaat (in den Versuchen V8 und V9)
- Die Konkurrenz der Bodenbedecker (insbesondere V1 und V2, sowie in den Weißklee-parzellen in den Versuchen V8 und V9)
- Die lange Schneeperiode im Winter 2005/2006, die eine starke Auswinterung auch der Getreidebestände zur Folge hatte, und die infolge des späten Frühjahrsbeginns nicht durch eine verstärkte Bestockung ausgeglichen werden konnte.
- Die nicht angepasste Anbautechnik verursachte extrem starke Verunkrautung in den Versuchen V1 und V2, die in der Abbildung [15](#) dokumentiert ist.
- Dazu kommt, dass z. T. bewusst stickstoffarme Fruchtfolgestellungen (nach Getreide) gewählt wurden, um die Wirkung der Lebendmulche auf die N-Versorgung der Hauptkultur erkennen zu können.

Insgesamt stehen zu wenige Daten zur Verfügung, um fundierte Aussagen über das Verhalten von Weizen bei gemeinsamer Aussaat mit den Bodenbedeckern zu machen (Tab. [14](#)). In den Versuchen V8 und V9, in denen Roggen und Weizen direkt verglichen werden können, bewegte sich die Ertragsreduktion durch beide geprüften Bodenbedecker in ähnlichen Dimensionen: keine nachweisbare Reduktion durch Erdklee, ähnlich wie im Jahr davor (Vers. V3, V4, P, D), eine Reduktion um etwa 50 % beim Weißklee. Allerdings kann nicht gesagt werden, wie stark die Ertragsreduktion bei Erdklee als Bodenbedecker ohne die Auswinterung des Erdklee ausgefallen wäre.

4.3.2 Einsaat der Hauptkultur in bestehende Leguminosenbestände

Bei der Einsaat der Hauptkultur in bestehende Leguminosenbestände waren die Verhältnisse anders. Allerdings stehen wegen der Auswinterungsschäden im Winter 2005/2006 von Getreidebeständen, die in bereits entwickelte Leguminosenbestände hineingesät worden waren, ebenfalls nur wenige Ertragsdaten zur Verfügung. Die Erträge waren in allen Fällen niedriger als bei der gemeinsamen Ansaat mit den Leguminosen im Jahr der Etablierung (Tab. [14](#)). Die Hauptursache für die geringeren Erträge waren geringe Bestandesdichten. Die Ursache für die geringeren Bestandesdichten ist in der Konkurrenz durch die Leguminosen und in der verwendeten Technik der Reihenfrässaat zu sehen. Es gelang nicht, die größeren Reihenabstände durch eine höhere Aussaatdichte auszugleichen: die Leguminosen sind in der Regel in der Lage, die ausgefrästen Reihen in kurzer Zeit wieder zu bedecken; wo dies nicht geschieht, treten Unkräuter an ihre Stelle, deren Keimung durch das Ausfräsen der Streifen gefördert wird. Die Getreidebestände stehen also kurz nach dem Aufgang unter einem sehr starken Konkurrenzdruck, der eine Bestockung, die die weiten Reihenabstände ausgleichen könnte, verhindert. Im Winter 2005/2006 kamen noch verhältnismäßig starke Auswinterungen der

Getreidebestände hinzu; da die Schneedecke erst im April auftaute, stand nur wenig Zeit zur Verfügung, um die Schäden durch Bestockung wieder auszugleichen.

Tabelle 14: Kornerträge (g/m², KE) und Bestandesdichten (BD) bei Aussaat Ende September in entwickelte Leguminosenbestände. Werte, denen gleiche Buchstaben folgen, konnten statistisch nicht unterschieden werden (t-Test mit Bonferroni-Korrektur, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit). Die Vergleiche wurden jeweils innerhalb der Versuche durchgeführt (Reihen).

Ver- such	Jahr	HK	Kontrolle		<i>M. orbicularis</i>		<i>M. minima</i>		<i>T. subterraneum</i>		<i>T. repens</i>	
			BD	KE	BD	KE	BD	KE	BD	KE	BD	KE
V1	2004	WW	265	321a	127	197b	103	175b	115	183b	75	73c
V4	2005	WW	138	180a	124	146a	138	158a	150	196b	7	0c
V6	2005	WW	195	-	-	-	-	-	195	315	-	-
	2005	WR	215	-	-	-	-	-	215	347	-	-
V9	2005	WW	168	262c	-	-	-	-	172	186a	75	49b
	2005	WR	237	364a	-	-	-	-	239	394a	167	183b

4.4 Konkurrenzverhältnisse

4.4.1 Konkurrenz zwischen Leguminosen und Hauptkultur

Bis zur Schließung der Bestände kann der Bodendeckungsgrad durch Leguminosen, Hauptkultur und Unkräuter als Maß für die Konkurrenzverhältnisse und die Unkrautunterdrückung verwendet werden. (s. Abb. 15 und 16). Es zeigte sich, dass die Konkurrenz in den frühen Entwicklungsstadien durch den Erdklee und *M. truncatula* am größten ist (erkennbar an den Bodenbedeckungsgraden in Abb. 16) der Anteil der Bodenbedeckung durch den Roggen wurde hier am stärksten durch die Leguminosen vermindert. Nur beim Weizen in Vers. V2 führte das zu einer Verringerung der Bestandesdichte, beim Roggen (Versuche V3, V4, P und D) konnte bei unseren Ergebnissen keine Reduktion der Bestandesdichte festgestellt werden. Bei *T. campestre* ist die Jugendentwicklung dagegen eher langsam, im Frühjahr können sich aber ähnlich dichte Bestände daraus entwickeln, wie beim Erdklee (Abb. 14). *M. truncatula* friert ab, eine eventuell eingetretene vorübergehende Verminderung der Bestandesdichte kann sich dann im Frühjahr durch Bestockung leicht wieder ausgleichen (es konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Bestandesdichte festgestellt werden, s. Tab. 14). Bei den anderen geprüften Arten ist die Konkurrenzwirkung im Herbst wesentlich geringer, so dass hier keine Beeinträchtigung der Hauptkultur zu erwarten ist. Mit dem Übergang vom Rosettenstadium in das Streckungswachstum änderte sich das. Erdklee zeichnet sich dadurch aus, dass sein Wuchstyp, ähnlich dem des Weißklees, obligat nieder liegend ist; *T. campestre* und die *Medicago*-Arten hatten zwar in Abwesenheit von Konkurrenz z. T. einen nieder liegenden Habitus, unter Konkurrenzbedingungen war er dagegen bei allen beobachteten Genotypen aufrecht. Bei starker vegetativer Entwicklung ist die Konkurrenzwirkung dieser Arten gegenüber dem Getreide daher stärker als beim Erdklee (s. Abb. 25). *T. campestre* wächst auch in dichten Beständen bei optimalen Bedingungen nicht höher als 25 cm und beeinträchtigt das Wachstum der Hauptkultur trotz aufrechten Wuchstyps vergleichsweise wenig.

Bei *M. minima* und in noch weitaus größerem Maße *M. orbicularis* wird die Samenreife und das Ende der generativen Phase offensichtlich durch hohe Temperaturen ausgelöst: bei der feuchtkühlen Witterung des Sommers 2004 (vgl. Abb. 7 und 9) dehnte sich die Wachstumsphase stark aus und es konnten erhebliche Biomassen produziert werden, die im Extremfall,

wie bei *M. orbicularis* dazu führte, dass das Getreide vollständig unterdrückt wird. In allen anderen Jahren war die Konkurrenzwirkung von *M. orbicularis* und *M. minima* eher gering.

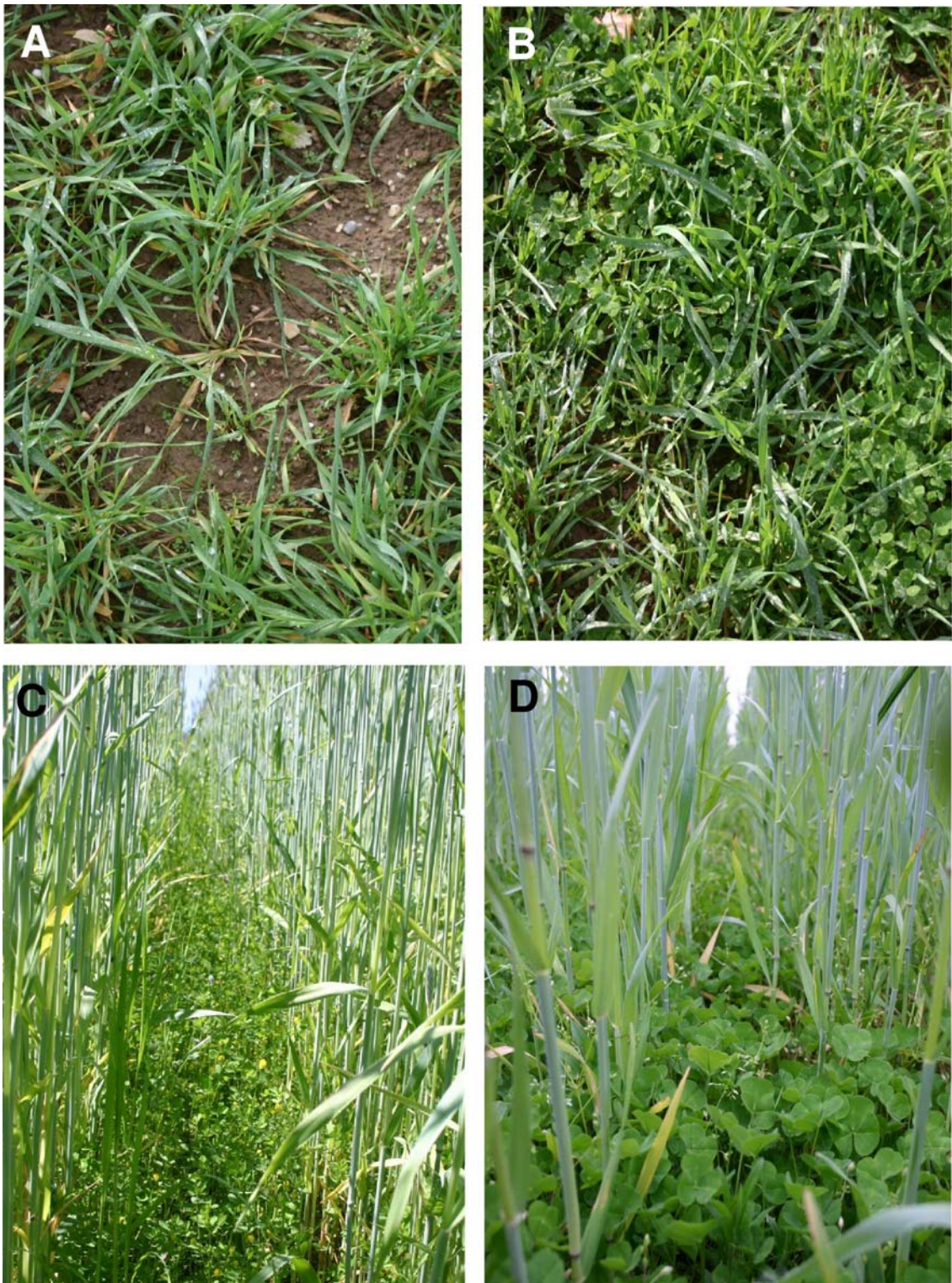


Abb. 14: Gemeinsame Aussaat von Leguminosen und Roggen, Versuch V3, 2004/2005. Oben (A, B): Ende Oktober; unten (C, D): Anfang Juni; links (A,C): *T. campestre*, rechts (B, D): *T. subterraneum*. Die Pflanzen von *T. campestre* sind im Oktober kaum erkennbar (A), holen dann aber merkbar auf (C).

Tabelle 15: Bestandesdichten (Halme/m²) beim Getreide mit unterschiedlichen Leguminosenlebendmulchen im Aussaatjahr

	2003/2004		2004/2005			
	V1	V2	V3	V4	P	D
K1	220	160	239	303	234	332
K2	230	165	241	316	307	342
TS1	210	135	222	384	389	321
TS2	215	125	236	360	417	289
MM1	160	90	220	327	372	238
MM2	130	185	248	309	357	276
MO	20	185	220	332	342	245
TC	170	145	220	347	371	261
TR	15	10	237	336	310	274
ML	-	-	253	322	322	236
MT	170	126	287	313	434	300

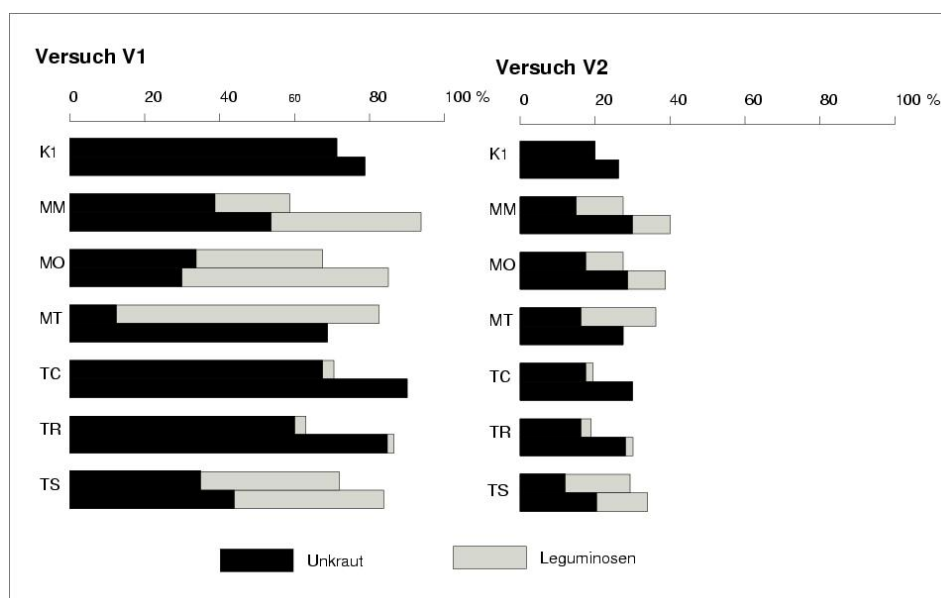


Abb. 15: Entwicklung der Bodenbedeckung im Ansaatjahr 2003 an den Standorten V1 und V2 am 15.-20. Oktober (a, oberer Balken) und am 15. -20. November (b, unterer Balken). Ergebnisse der digitalen Bildauswertung, Erfassung der einzelnen Komponenten durch zusätzliche Bonitur. Da der Weizen später eingesät wurde, war sein Anteil an der Bodenbedeckung um Herbst sehr gering und ist in dieser Darstellung nicht sichtbar.

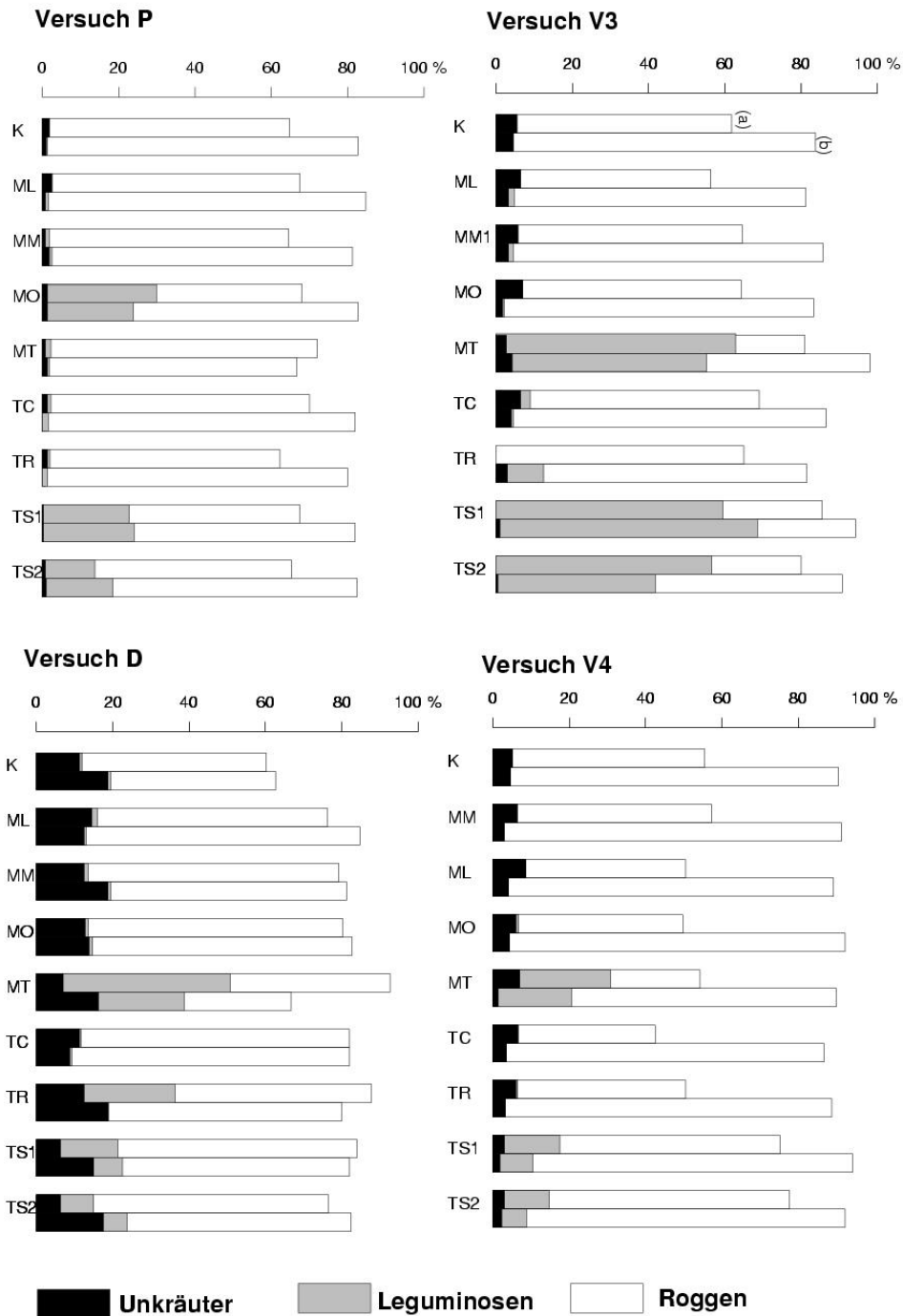


Abb. 16: Entwicklung der Bodenbedeckung im Ansaatjahr 2004 an den Standorten V3, V4, P und D am 15.-20. Oktober (a, oberer Balken) und am 15.-20. November (b), unterer Balken). Ergebnisse der digitalen Bildauswertung, Erfassung der einzelnen Komponenten durch zusätzliche Bonitur

4.4.2 Unkrautunterdrückung

Bei der Konkurrenz gegenüber den Unkräutern muss zwischen der *Jugendphase* (Keimung bis Ende der Bestockung) und den *späteren Phasen* (Streckungswachstum und Blüte) unterschieden werden; die einzelnen Arten können sich in diesen beiden Phasen sehr unterschiedlich verhalten. Die Jugendphase ist hier anhand der Bodendeckungsgrade dokumentiert (vgl. Abb. [15](#) und [16](#)). Sowohl im Versuch V3 mit seinem relativ geringen Unkrautbesatz als auch im Versuch V1, in dem extrem viele Unkräuter vorhanden waren, ist sichtbar, dass vor allem die Arten *T. subterraneum* und *M. truncatula* im Jugendstadium sehr konkurrenzfähig sind. Auch *M. orbicularis* und *M. minima* können in frühen Entwicklungsstadien den Unkrautbesatz verringern, vorausgesetzt, der Aufgang ist ausreichend, wie es im Versuch V1 der Fall war. In den Versuchen V3, V4, P, D, die im Jahre 2004 angelegt wurden, war (infolge einer anderen Druschtechnik bei der Saatgutgewinnung, bei der die Wasserundurchlässige Schicht der hartschaligen Samen weniger stark beschädigt wurde), die Keimfähigkeit nur gering und daher die Bestände im Jugendstadium wenig konkurrenzfähig. Im Versuch D war die Zusammensetzung der Unkrautflora anders; hier herrschten Gräser vor, vor allem Weidelgräser die sich aus vorangegangenen Kulturen ausgesamt hatten und gegen die sich sämtliche Leguminosenarten im Rosettenstadium nur schlecht durchsetzen konnten. Vor allem der Erdklee verschwand hier durch die Gräserkonkurrenz fast vollständig. Allerdings war der extrem hohe Gräser- und Kräuterbesatz (obgleich vom Betriebsleiter erwünscht) untypisch für Normalbetriebe, so dass nicht damit zu rechnen ist, dass eine vergleichbare Situation in der Praxis oft auftritt. Grundsätzlich sollte aber darauf geachtet werden, dass keine zu große Samenbank von Gräsern, insbesondere Weidelgräsern im Boden vorhanden ist, was vor allem dann der Fall sein kann, wenn im auf Klee gras folgendem Getreide noch viele Graspflanzen vorhanden sind, die im Getreidebestand nicht geschnitten werden, und damit die Möglichkeit haben, sich auszusamen. Gegebenfalls sollte man langfristig planen und Klee grasmischungen mit Weidelgräsern in der Fruchtfolge meiden, wenn auch Lebendmulche eingesetzt werden sollen.

Die Unkrautunterdrückungswirkung in den späteren Phasen in den einzelnen Versuchen ist in den Abbildungen [25](#), [26](#), [27](#) und [28](#) dokumentiert. Hier wurden die Biomassen zur Charakterisierung der Konkurrenzverhältnisse verwendet, da sich ab einer bestimmten Bestandeshöhe die Bodenbedeckungsgrade nicht mehr gut abschätzen lassen. Auch hier ist die Unkrautunterdrückende Wirkung der einzelnen Arten in den Versuchen V1 und V2 deutlicher, als in den Versuchen mit Roggen (V3, V4, P, D). In diesen Stadien verschieben sich die Verhältnisse zwischen den einzelnen Arten, was wie bereits beschrieben, an den unterschiedlichen Wuchstypen liegt. Ähnlich wie bei der Konkurrenz gegenüber dem Getreide, konnte sich auch hier der Erdklee mit seinem obligat nieder liegendem Wuchstyp am Gräserreichen Standort Dürneck (Versuch D) nicht durchsetzen und verschwand vollständig, die Arten *M. orbicularis* und *M. minima* sowie *T. campestre* konnten sich dagegen halten (vgl. Abb. [28](#)). An den Versuchen V1 und V2 wurden auch die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Leguminosen, dem Weizen und den häufigsten Unkrautarten durch Bonituren ermittelt (s. Tab. [17](#)). Viele Unkräuter, die in früheren Stadien vorherrschend sind, werden in späteren Stadien von den meisten Leguminosen verdrängt. Problematisch sind vor allem die Ackerkratzdistel, das Labkraut und, wenn sie massiv auftritt, die Echte und die Hundskamille. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Unkräuter nicht nur mit den Bodenbedeckern sondern auch mit der Hauptfrucht in Konkurrenz stehen. In gut entwickelten Getreidebeständen mit gleichmäßiger Verteilung und z. B. einem Erdklee-Lebendmulch stellen die Kamille-Arten kein Problem dar, wie sich in den Versuchen V3, V4 und P zeigte. In den Versuchen mit Roggen als Hauptkultur (V3, V4, P, D) waren infolge der starken Konkurrenzkraft des Roggens selbst nur wenige Unkräuter vorhanden, so dass sie nur eingeschränkt zur Untersuchung der Unkrautunterdrückungsfa-

higkeit geeignet waren. Nur im Versuch V3 ist die Tendenz sichtbar, dass beim Erdklee (der hier die üppigsten Leguminosenbestände bildete) weniger Unkraut vorhanden war, als in der Kontrolle (vgl. Abb. [26](#)).

4.5 N-Dynamik in der pflanzlichen Biomasse und im Boden

Pflanzliche Biomasse

Der N-Gehalt in der Biomasse der einjährigen Leguminosen war in der Regel zur Zeit der Getreideblüte am höchsten. Danach wiegen Abbau- und Umlagerungsprozesse sowie Verluste durch Blattfall vor, so dass die in der Leguminosenbiomasse gespeicherte N-Menge nach der Blüte abnimmt (Abb. [29](#), [30](#), [31](#), [32](#)). Gleichzeitig konnte (zumindest in den Versuchen, in denen große Mengen an Leguminosenbiomasse gebildet wurden) eine Erhöhung der N-Pools im Boden beobachtet werden (Abb. [29](#) und [30](#)), der wahrscheinlich auf abgestorbene Pflanzenteile der Leguminosen zurückgeht. Nur im Jahr 2004 verhielten sich *M. orbicularis* sowie in etwas eingeschränkterem Maß *T. subterraneum* etwas anders; vermutlich infolge der wesentlich kühleren Witterung im Frühsommer und einer später einsetzenden Sommerhitze dauerte die Wachstumsphase dieser Arten wesentlich länger als in den darauf folgenden Jahren; damit kam es auch zu einer höheren und länger andauernden Ansammlung von Stickstoff in der Leguminosenbiomasse. Entsprechend ihres weniger determinierten Wachstumszyklus verhielten sich die mehrjährigen Leguminosen (*M. lupulina* und *T. repens*) anders; bei ihnen kam es auch nach Beginn der Blüte und während der Kornfüllungsphase der Getreide zu einer weiteren N-Aufnahme. Die höchste N-Aufnahme (die bei den Einjährigen Leguminosen während der Blüte gemessen wurde, beim Weißklee und beim Gelbklee dagegen bei der letzten Probenahme) hing stärker noch als von der Leguminosenart von der Konkurrenz der Hauptkultur ab; sie reichte von 0 bis über 160 kg/ha. Die potentiell höchste N-Bindung unter den untersuchten Arten hat unseren Ergebnissen zufolge *M. orbicularis*, die im Versuch V2 bis über 160 kg N/ha aufnahm (s. Abb. [29](#)). Ähnlich, aber etwas weniger ausgeprägt ist dieses Verhalten bei *M. minima*, bei der die N-Aufnahme 90 kg N/ha erreichte. Entsprechend der Biomasseverhältnisse (s. Abschn. [4.4](#)) reagierten die einzelnen Leguminosen in unterschiedlichem Maße auf die Konkurrenz der Hauptkulturen. Während *M. orbicularis* und *M. minima* bei starker Konkurrenz nur sehr wenig oder überhaupt nicht zur N-Versorgung beitragen, unterdrückten sie bei geringerer Konkurrenz die Hauptkultur so stark, mitunter vollständig, so dass ihre Wirkung der einer einjährigen Gründungsleguminose gleichkam.

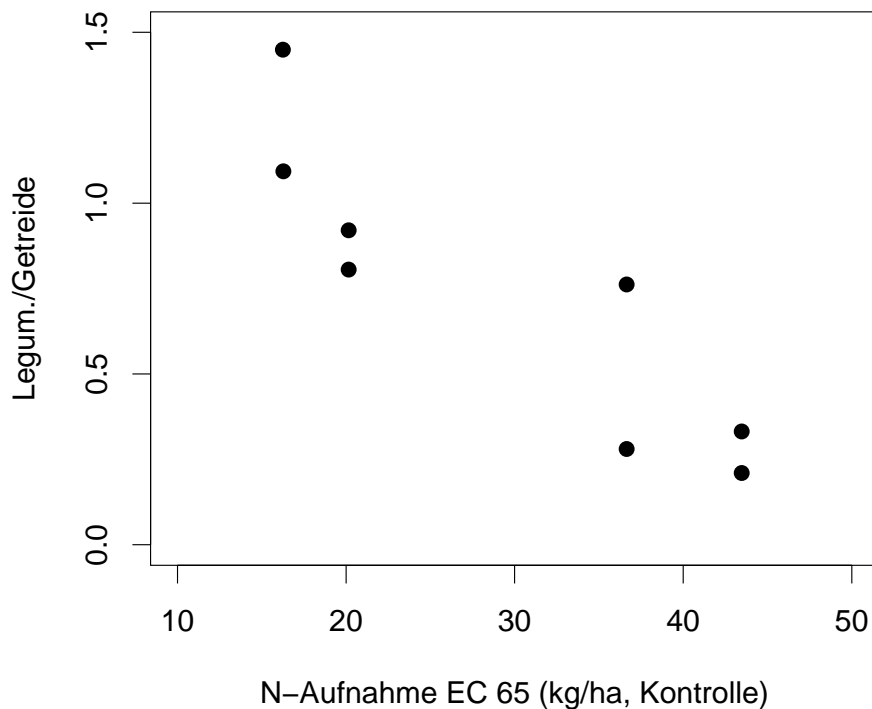


Abb. 17: Beziehung zwischen N-Aufnahme die Getreidepflanzen (EC 65) in der Kontrollvariante und dem Verhältnis von Leguminosen zur Getreidebiomasse, Übersicht über alle Versuche

Beim Erdklee ist das Verhältnis zur Hauptkultur ausgeglichener; so kam es auch bei starker Konkurrenz durch Roggen in den Versuchen V4 und P nie zu einer vollständigen Unterdrückung der Bodenbedecker, allerdings war der Beitrag der Leguminosen zur N-Versorgung des Anbausystems in einigen Fällen nur sehr gering (s. Abb. 4.5). Die N-Aufnahme des *Getreides* wurde entsprechend der mehr oder weniger starken Konkurrenz durch die Bodenbedecker beeinflusst. Beim Roggen war kein Einfluss der Bodenbedecker nachweisbar, beim Weizen war die Verringerung der Biomasse und dadurch der N-Aufnahme dagegen zum Teil sehr stark ausgeprägt. In keinem Fall schien es naheliegend zu vermuten, dass die Leguminosen zu einer verbesserten N-Aufnahme der gleichzeitig wachsenden Getreidebestände beigetragen hatten, mit Ausnahme der im Herbst abfrierenden *M. truncatula*, die während der Hauptwachstumsperiode des Getreides mit diesem nicht mehr konkurriert. Die N-Konzentrationen im Korn waren ebenfalls nicht betroffen, so dass man beim derzeitigen Stand der Erkenntnisse nicht davon ausgehen kann, dass die Backqualität beim Weizen durch die gleichzeitig wachsenden Lebendmulche in nennenswertem Umfang verbessert werden kann. Der Nutzen muss in einer langfristig verbesserten N-Versorgung über die ganze Fruchtfolge gesehen werden, was dann durchaus auch zu einer Verbesserung der Proteingehalte im Korn führen kann. Die *Gesamt-N-Aufnahme* durch den Pflanzenbestand variierte (in den Beständen mit starker Leguminosenkomponente) je nach Leguminosenart. Es kann vermutet werden, dass die Unterschiede auf unterschiedliche hohe N_2 -Bindung zurückzuführen sind.

Eine Wirkung der Lebendmulche auf die *N-min-Gehalte* im Boden konnte zu keinem Zeitpunkt nachgewiesen werden, was auch auf die starke Streuung der Messwerte zurückzuführen war. Bei den Versuchen V2 und V3, in denen die Leguminosenbiomasse hoch war, konnte nach Abschluss der Versuche im Vergleich zu den Kontrollen ohne Bodenbedecker eine Erhöhung der POM-Gehalte festgestellt werden, die offensichtlich auf abgestorbene Spross- und Wurzelteile der Leguminosen zurückzuführen war. Aus den beiden im Boden gemessenen N-Fractionen und der N-Aufnahme in die pflanzliche Biomasse konnte durch Vergleich mit der Kontrolle ohne Bodenbedecker die zusätzliche N-Aufnahme durch die Leguminosen (also

annähernd die N-Fixierung) bestimmt werden. Da nicht alle N-Fractionen erfasst werden konnten, ist die Schätzung der N-Fixierung auf diese Weise nur eine Annäherung. Fraktionen, die nicht erfasst wurden, sind die „stabile“ Humusfraktion, bei der neueren Ergebnissen zufolge die N-Fluktuation wesentlich größer ist als bisher angenommen wurde, sowie der Stickstoff, der bei der Extraktion der POM in der Lösung verbleibt. Die tatsächliche N-Fixierung kann also niedriger sein als geschätzt (das wäre der Fall, wenn ein Teil der zusätzlichen N-Aufnahme der Leguminosen nicht aus der Luft, sondern aus der stabilen N-Fraktion stammt), sie kann aber auch höher sein (wenn durch die Extraktion der POM wesentliche Teile des Stickstoffs nicht erfasst werden). Trotz der Einschränkungen, kann die Methode zumindest Anhaltspunkte für den Beitrag der Lebendmulche zur N-Versorgung der Anbausysteme liefern. In Abb. 18 ist die so ermittelte N-Anreicherung (bzw. Abreicherung) für die vier Standorte, an denen diese Untersuchungen durchgeführt wurden, dargestellt. Der N-Entzug durch die Getreideernte ist durch die gestrichelten Linien bzw. Balken dargestellt. Nicht berücksichtigt ist die N-Bindung im Herbstaufwuchs der Leguminosen, der beim Erdklee bis zu 20 kg/ha betragen konnte. Beim Versuch V3 ist die N-Bilanz annähernd ausgeglichen, beim Versuch V2 ist sie dagegen positiv, was allerdings mit niedrigeren Getreideerträgen erkauft wurde; bei stark dominierenden Arten wie Weißklee oder *M. orbicularis* entsprach die N-Zufuhr (allerdings auch der Getreideertrag) der eines Klee-grasbestands. In den Versuchen V4 und P ist die Bilanz negativ und unterscheidet sich nur unwesentlich von der eines reinen Getreidebestandes. Die nahe liegende Vermutung, dass ein negativer Zusammenhang zwischen N-Bindung und Kornertrag besteht, konnte durch die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigt werden. Annähernd ausgeglichene N-Bilanzen können bei der Anbautechnik, die in den Versuchen verwirklicht wurde in Anbausystemen mit einem Ertragspotential von 30 dt/ha erwartet werden; hierbei beträgt die N-Zufuhr und der N-Entzug etwa 50 dt/ha. Eine N-Wirkung, die über einen Ersatz des N-Entzuges durch das Getreide hinausgeht, konnte nur bei sehr niedrigen Getreideerträgen festgestellt werden. In Abb. 4.5 ist versucht worden, diesen Zusammenhang für alle Versuche und alle Leguminosenarten darzustellen. Da die Bodenuntersuchungen nur an einem Teil der Versuche durchgeführt werden konnten, ist nur der N-Gehalt im Aufwuchs angegeben. Der Aufwuchs im Herbst wurde mit einberechnet. Die gestrichelte Linie entspricht ausgeglichenen Input-Output-Verhältnissen. Es können Unterschiede zwischen den Leguminosenarten sowohl hinsichtlich des Input-Output-Verhältnisses als auch hinsichtlich der Effizienz (Das Verhältnis des Ertrags zu den „Kosten“, d. h. der Verringerung der N-Fixierung) beobachtet werden. Diese wird durch den Abstand der Regressionsgeraden vom Ursprung gekennzeichnet. Beim Erdklee und beim Weißklee war die Effizienz größer als bei den anderen Arten (vgl. die Markierung der Punkte), wobei beim Erdklee die Kornerträge höher waren, beim Weißklee die N-Wirkung. Für die Praxis (zumindest für extensiv wirtschaftende Betriebe) werden Lebendmulche interessant, wenn eine ausgeglichene N-Bilanz bei einem N-Entzug von 70-80 kg/ha erzielt werden kann, was einem Kornertrag von 35-40 dt/ha bei 11,5 % Rohproteingehalt entspricht. In unseren Beispielen war das nicht der Fall, sondern der Wert lag bei ca. 50 kg/ha oder darunter. Allerdings waren noch nicht alle anbautechnischen Probleme gelöst (bzw. es war offensichtlich, dass im Rahmen unserer Versuche z. T. die falschen Verfahren angewendet wurden), so dass noch viele Möglichkeiten bestehen, das System zu optimieren. Hierauf soll im Abschnitt 7.2 eingegangen werden.

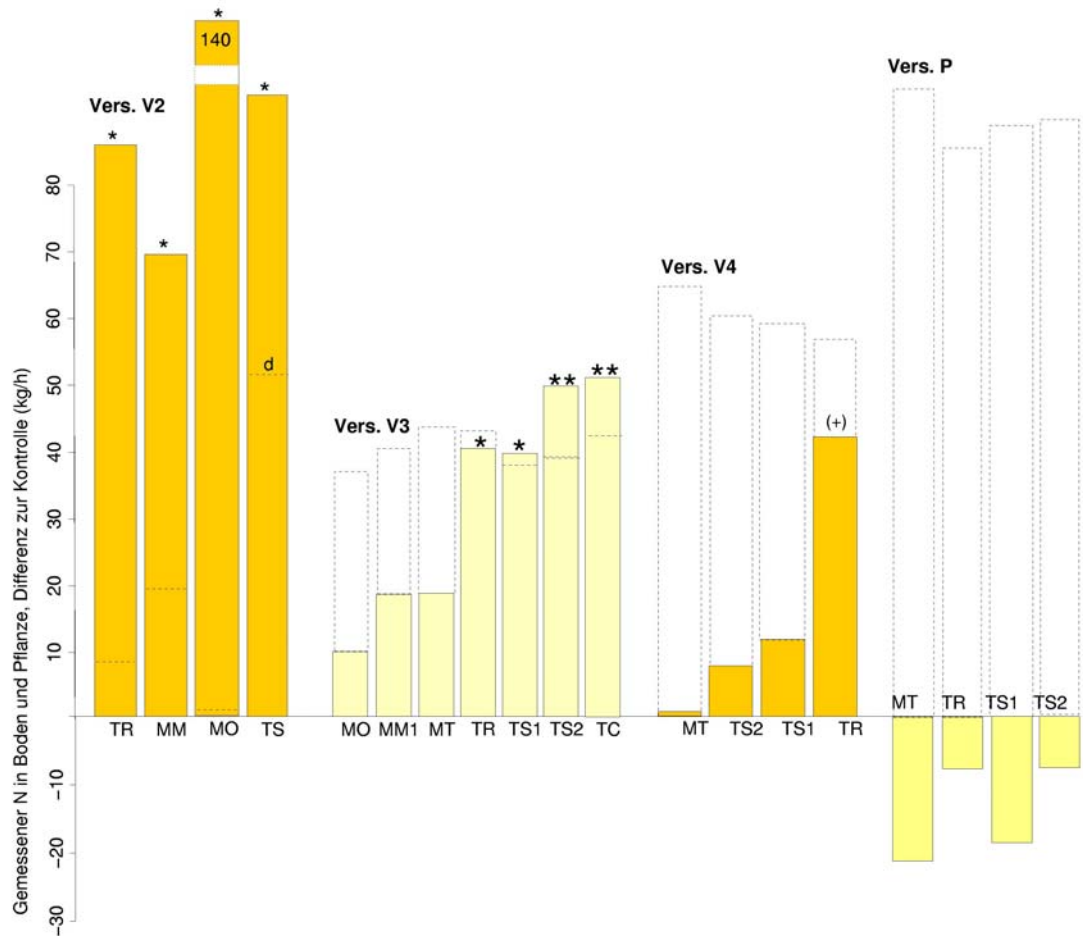


Abb. 18: Summe aller N-Fractionen nach Abschluss des ersten Versuchsjahrs in den Versuchen V2, V3, V4, und P; Differenz zur Summe aller N-Fractionen der Kontrollvariante (ohne Unkrautbekämpfung). Die jeweiligen Entzüge durch die Getreideernten sind durch die gestrichelten Linien angedeutet. Die Balken, deren Wert sich signifikant (mind. 95%, t-Test mit Bonferroni-Korrektur) von dem der Kontrolle unterscheidet, sind mit * gekennzeichnet. bei * ist das Signifikanzniveau > 99 %. (+) kennzeichnet einen tendenziellen Unterschied (5-10%)

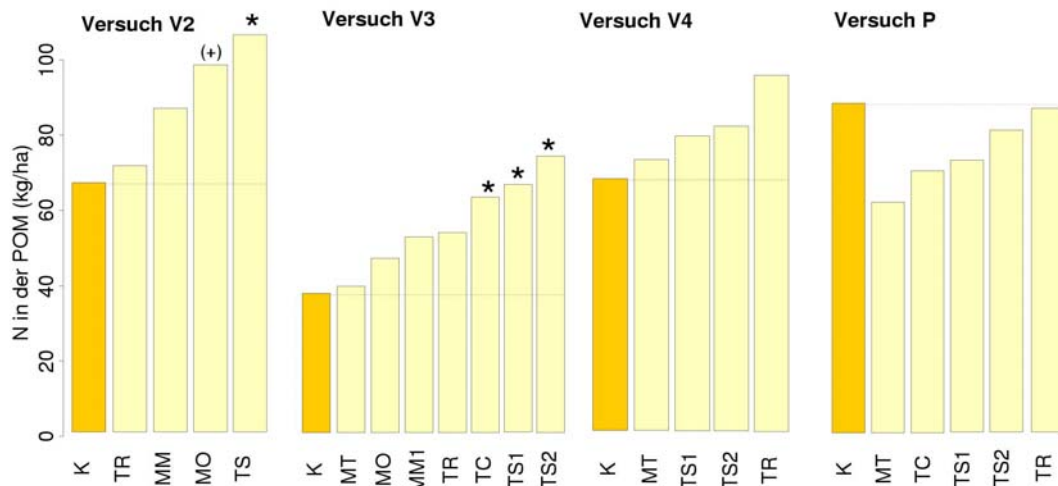


Abb. 19: In der POM gebundener Stickstoff nach Abschluss des ersten Versuchsjahres in den Versuche V2, V3, V4, und P; Die Balken, deren Wert sich signifikant (mind. 5%, t-Test mit Bonferroni-Korrektur) von dem der Kontrolle unterscheidet, sind mit * gekennzeichnet, (+) kennzeichnet tendenzielle Unterschiede ($p < 0.1$).

4.6 Arbuskuläre Mykorrhiza

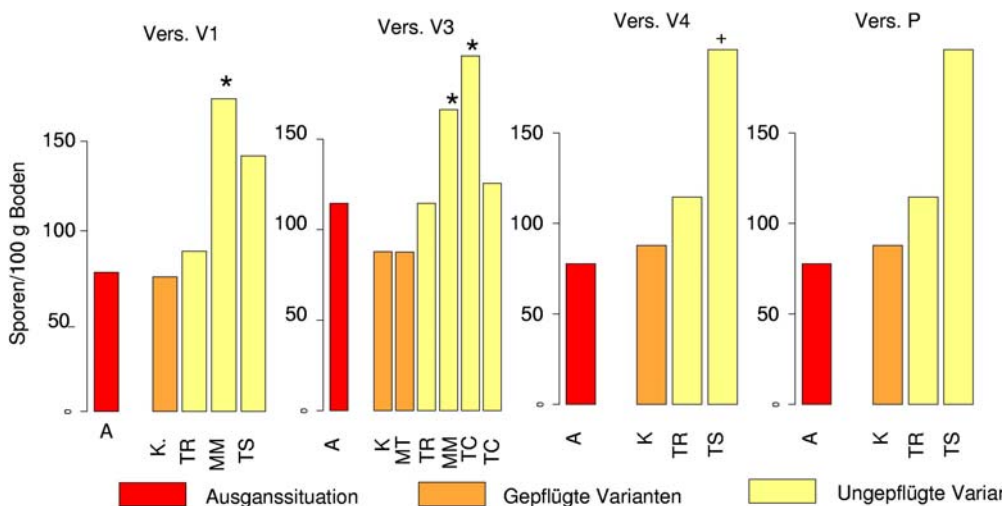


Abb. 20: Sporendichte der Arbuskulären Mykorrhiza (Anzahl/100g Boden) vor Beginn und nach Abschluss der Versuche unter verschiedenen Leguminosen an 4 Standorten

In allen Versuchen war die durchschnittliche Sporendichte der Arbuskulären Mykorrhiza in den unbearbeiteten Varianten mit Leguminosenbewuchs nach Abschluss der Versuche höher als zu Versuchsbeginn. Bei den Kontrollen mit herkömmlicher Bodenbearbeitung änderte sich die Sporendichte dagegen nicht. Beim Erdklee war die Erhöhung der Sporendichte nur geringfügig und statistisch nicht absicherbar. Die Ursache hierfür dürfte im nicht determiniertem Wachstumszyklus des Weißklee liegen: AM-Sporen werden in besonders großen Mengen dann gebildet, wenn die Wirtspflanzen absterben. Die Entwicklung der Sporenpopulationen ist ein Hinweis darauf, dass die reduzierte Bodenbearbeitung in Verbindung mit dem kontinuierliche Bewuchs durch die Bodenbedecker die Entwicklung der AM fördert.

4.7 Aggregatstabilität

Die Untersuchungen wurden an den Versuchen V4 und P durchgeführt. Die Proben wurden im frühen Frühjahr 2007 entnommen, für beide Versuche also im 3. Jahr. Es wurden nur die Varianten mit Erdklee, mit Weißklee und die gepflügten Varianten ohne Leguminosen geprüft. Die Mittelwerte der Bonituren sind in Abb. 21 dargestellt. Am Versuchsstandort V4 konnte gezeigt werden, dass die Bodenbedeckung durch de Erdklee eine Steigerung der Aggregatstabilität zur Folge hatte, am Standort P (Pfaffenhofen) war das nicht der Fall, wahrscheinlich wegen des sandigeren Bodens, dessen Aggregatstabilität generell geringer ist. Das stimmt gut mit den Ergebnissen der Untersuchungen der AM-Sporenpopulationen überein, da bekannt ist, dass ein Großteil der Aggregatstabilität geht auf Lebendverbauung durch Pilzhyphe zurückgeht - in erster Linie AM-Pilze [28].

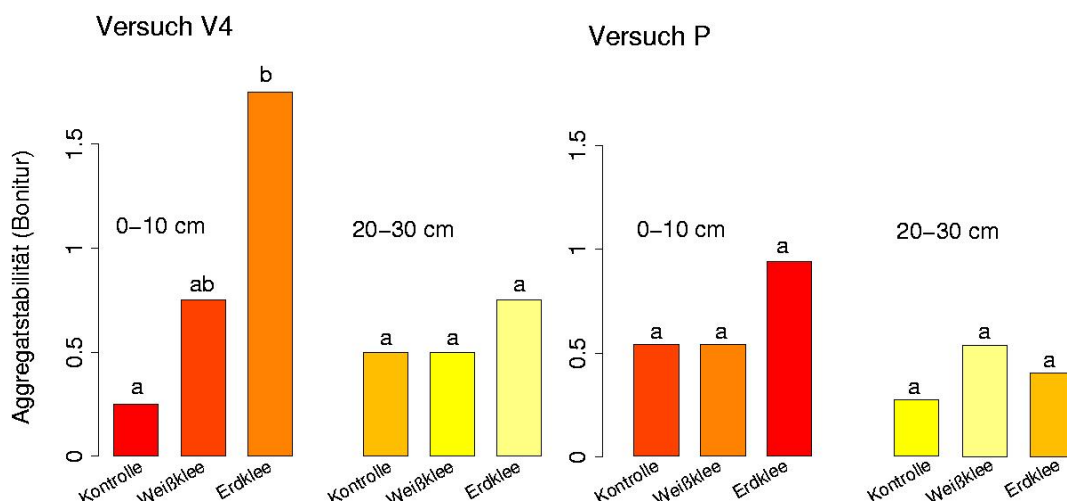


Abb. 21: Aggregatstabilität an 2 Standorten, Februar 2007 Werte, denen gleiche Buchstaben folgen konnten statistisch nicht unterschieden werden (t-Test mit Bonferroni-Korrektur, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

4.8 Allelopathie

In Zusammenarbeit mit der GSF wurden Bioassays zur Prüfung der allelopathischen Wirkung an den Arten *M. orbicularis*, *M. truncatula* und *T. subterraneum* durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 22 dargestellt. Die Untersuchungen zeigen, dass ein signifikanter Einfluss der Leguminosendichte auf das Wurzelwachstum der nachträglich eingesetzten Gerstepflanzen existiert. Es konnte damit gezeigt werden, dass nicht nur Konkurrenz um Licht und Nährstoffe, sondern auch chemische Faktoren für die Konkurrenzverhältnisse von Bedeutung sind.

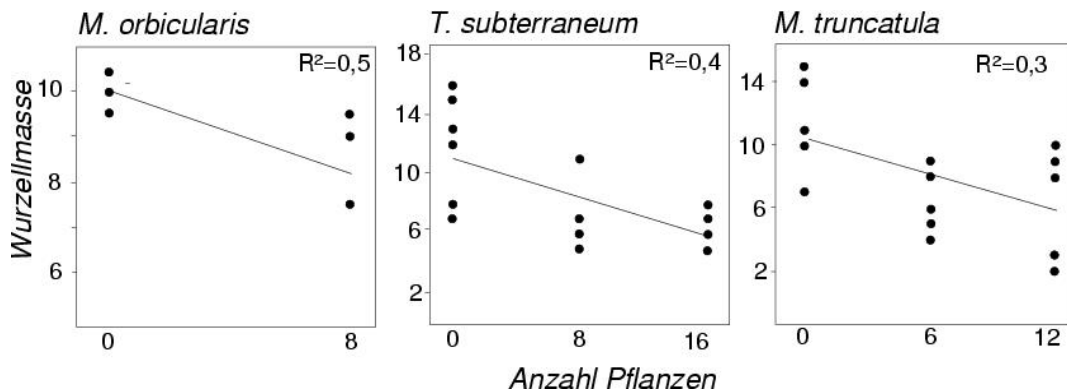


Abb. 22: Beziehung zwischen Anzahl der Leguminosenpflanzen in der Nährlösung und der Wurzelmasse der Testpflanzen

4.9 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

4.9.1 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Mit diesen Untersuchungen wurden Grundlagen für die Nutzung einjähriger Leguminosen in Lebendmulchen gelegt. Es konnten Verfahrensansätze entwickelt werden, mit denen Erdklee oder einjährige *Medicago*-Arten und Getreide gemeinsam etabliert werden können. Damit stehen jetzt Alternativen zu den bisher verwendeten Untersaaten von Leguminosen und dem Anbau von Leguminosen als Zwischenfrucht zur Verfügung. Mit den nicht winterharten Leguminosen ergibt sich eine interessante Alternative zu herkömmlichen Zwischenfrüchten. Es wurde gezeigt, dass einjährige Leguminosen, insbesondere der Erdklee durchaus von Interesse für die Landwirtschaft in Deutschland sind, insbesondere für den Ökologischen Landbau. Erdklee wird im ökologischen Landbau auch in Deutschland gelegentlich verwendet, allerdings nur in Frühlingsaussaat und ohne seine Fähigkeit zur Selbstaussaat zu nutzen. Sein Potential besteht aber gerade darin, im Herbst noch dichte Bestände bilden zu können und auch bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen noch zu wachsen (Aktivität unter eine Schneedecke konnte beobachtet werden). Besonders für die Untersaat in Getreide eignet er sich nicht, da sein Vegetationszyklus nach Abreifen des Getreides ebenfalls beendet sein wird. Insbesondere durch die *Medicago*-Arten wird das Artenspektrum erweitert; das ist bei den Leguminosen, bei denen Selbstunverträglichkeit oft ein Problem ist, von besonderer Bedeutung. Für die Einsaat von Getreide in die bereits etablierten Bestände konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, allerdings reichen die im Jahre 2006 gewonnen Erkenntnisse noch nicht für eine breite Einführung in die Praxis. In der zukünftigen Entwicklung muss man vor allem

Abstand von den bisher in der Literatur hauptsächlich diskutierten und erprobten weiten Reihenabständen und der Frässaat nehmen. Es hat sich gezeigt, dass eine wirksame Unkrautunterdrückung, die die Voraussetzung für die erfolgreiche Realisierung von Lebendmulchsystemen ist, nur durch die gemeinsame unterdrückende Wirkung von Untersaat und Hauptkultur erreicht werden kann. Daher ist es kontraproduktiv, den Unkräutern Nischen zum Wachstum zur Verfügung zu stellen, auch wenn dies mit der Absicht geschieht, Platz für eine mechanische Unkrautbekämpfung oder Regulierung der Lebendmulche zu schaffen. Das Potential der bisher noch nicht züchterisch bearbeiteten Arten ist jetzt bekannt; Zuchtziele können damit aufgestellt werden, eine gezielte züchterische Bearbeitung ist damit möglich.

4.9.2 Möglichkeiten der Umsetzung der Anwendungen der Ergebnisse für eine Ausdehnung des Ökologischen Landbaus

Die Ergebnisse eröffnen neue Möglichkeiten vor allem für viehlos wirtschaftende Betriebe, die keine Verwendung für Klee gras haben. Das betrifft sowohl die überwinternden als auch die abfrierenden Lebendmulche. Damit wird der Ökologische Landbau für eine Reihe von Betrieben, die bisher vor einer Umstellung Abstand genommen haben interessant. Allerdings ist es hierzu notwendig, zusätzliche Möglichkeiten zur Unkrautkontrolle und zur Einsaat in die Bestände in normalem Reihenabstand ohne Reihenfräse zu finden. (s. Abschnitt [7.2](#))

4.9.3 Bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden auf der 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und im Rahmen der 9. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau wird im März 2007 vorgestellt und diskutiert. Ein Teil der Ergebnisse wurden außerdem auf einer Internationalen Tagung (Assessment of varietal characteristics in diverse crops and low-input especially organic growing systems 3 - 6 July 2005, Edinburgh, Schottland, organisiert im Rahmen der COST-Action Nr. 860 (SUSVAR)) präsentiert. Im Juni 2006 wurde in Viehhausen eine Feldbesichtigung veranstaltet, zu der zahlreiche Wissenschaftler und Praktiker aus ganz Deutschland erschienen, und bei der die Möglichkeiten und die Probleme der Verwendung einjähriger Leguminosen als Lebendmulche diskutiert werden konnten. Zusätzlich konnte das Projekt in den Jahren 2004 und 2005 im Rahmen von Betriebsbesichtigungen, an denen in erster Linie Praktiker aus der Region teilnahmen, präsentiert und diskutiert werden.

Im Juli 2006 wurde schließlich ein Workshop organisiert, an dem Praktische Landwirte, Techniker und Wissenschaftler aus 10 europäischen Ländern teilnahmen. Hierbei wurden Ergebnisse und Erfahrungen aus den verschiedenen Ländern verglichen, ökologische, wirtschaftliche und, Aspekte der Lebendmulche sowie neue Ansätze in der Landtechnik diskutiert. Die Ergebnisse des Treffens bilden die Basis für künftige Forschungsaktivitäten auf europäischer Ebene. Geplant sind, neben der umfassenden Darstellung der Ergebnisse im Endbericht, der über die „Organic E-prints“ allgemein verfügbar gemacht wird, eine Veröffentlichung in einer praxisorientierten und in einer wissenschaftlichen Zeitschrift.

5 Zusammenfassung

Lebendmulchsysteme im Getreideanbau stoßen in Deutschland seit einigen Jahren auf steigendes Interesse, zeigten sich aber wegen der starken Konkurrenz des als Bodenbedecker verwendeten Weißklees als schwer durchführbar. Einjährige Leguminosen sind wegen ihres kurzen, determinierten Vegetationszyklus potentiell besser geeignet; auch sie können durch Selbstaussaat mehrjährige Bestände bilden.

In diesem Projekt wurden anhand einiger typischer Arten die Eignung einjähriger Leguminosen als Lebendmulche im Getreideanbau geprüft, die Anbausysteme für Lebendmulche weiterentwickelt sowie ihre Wirkung auf die Bodeneigenschaften und die Stickstoffversorgung untersucht. Hierzu wurden über einen Zeitraum von 2 1/2 Jahren insgesamt 11 Feldversuche angelegt, in denen Getreide in Lebendmulchen mit einjährigen Leguminosen angebaut wurde: Variiert wurden die Faktoren Hauptkultur (Weizen und Roggen) sowie die Leguminosenart (insgesamt 6 Arten), zum Teil auch die Einsaatmethode, der Einsaatzeitpunkt und die N-Versorgung.

Es zeigte sich, dass die geprüften einjährigen Arten in der Lage sind, unter süddeutschen Bedingungen durch Selbstaussaat mehrjährige Bestände zu bilden und dass die Konkurrenzverhältnisse die Realisierung von Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen grundsätzlich ermöglichen. Der hauptsächliche Vorteil gegenüber mehrjährigen Leguminosen besteht in ihrem determinierteren Entwicklungszyklus, so dass die Konkurrenz gegenüber der Hauptkultur in der besonders kritischen Kornfüllungsphase nur noch gering ist. Eine mechanische Kontrolle, etwa durch Reihenmulchen erübrigt sich damit.

Positive Wirkungen auf die N-Versorgung der Anbausysteme sowie auf die biologischen und physikalischen Bodeneigenschaften konnten ebenfalls nachgewiesen werden. Erdklee (*T. subterraneum* und *T. campestre*) erwiesen sich wegen ihres niedrigen Wuchses und der zuverlässigen Wiederaussaat am geeignetsten. Während die gemeinsame Etablierung der untersuchten Leguminosen und der Hauptkultur im ersten Jahr auf keine großen Schwierigkeiten stieß, müssen die Methoden für die Einsaat der Hauptkultur in die bereits etablierten Leguminosenbestände noch weiter entwickelt werden.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

In diesem Abschnitt sollen die wichtigsten neuen Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt noch einmal zusammengefasst werden. Aufgrund der Ergebnisse können erste Empfehlungen für experimentierfreudige Landwirte gegeben werden. Naturgemäß können in einem zweijährigen Projekt keine Standard-Anbauverfahren entwickelt werden, die Empfehlungen sind also nur als Grundlage für eine weitere Entwicklung der Anbausysteme zu verstehen. Einjährige Leguminosen können sowohl als *abfrierende* als auch als *überwinternde* Lebendmulche eingesetzt werden, wofür jeweils geeignete Arten identifiziert werden konnten.

6.1 Abfrierende Lebendmulche

Mit *M. truncatula* wurde eine Art gefunden, die, als eine Alternative zu der bisher als abfrierende Leguminosenbeisat gelegentlich verwendeten Erbsen, Ackerbohnen oder Wicken, für diesen Zweck geeignet ist. Erste Versuche wurden von Praktikern bereits unternommen, mit positiven Erfahrungen (Josef Braun, pers. Mitt.); Saatgut dieser Art kann daher mittlerweile auch in Deutschland über den Handel bezogen werden. Die Vorteile sind die sehr schnelle Entwicklung, das rasche Schließen der Bestände und damit auch eine gewisse Unkrautkontrolle. Ein positiver Effekt auf den Ertrag konnte nachgewiesen werden, basiert aber auf den Beobachtungen eines einzelnen Jahres und müsste daher durch weitere Versuche bzw. praktische Erfahrungen bestätigt werden.

Ein Nachteil ist, dass die Saatgutproduktion in Deutschland nach unseren derzeitigen Kenntnissen kaum realisierbar erscheint: sie wäre nur bei Frühljahrsaussaat möglich, da die Art nicht winterfest ist; damit würden die Samen erst im September reifen [2]. Da die Hülsen leicht abfallen ist die Ernte mit Standardtechnik schwierig; ein Großteil der Samen würde außerdem bei der oft schon recht feuchten Witterung im September bereits vor der Ernte auskeimen. Die Saatgutversorgung ist daher bis auf weiteres von Importen aus Australien abhängig.

6.2 Überwinternde Lebendmulche

Bei den überwinternden Lebendmulch-Systemen sind die einzelnen Komponenten und die Anbautechnik hinsichtlich der Kombinationsfähigkeit und Möglichkeiten der Weiterentwicklung zu beurteilen.

Bodenbedecker

Als geeignetste Leguminosenart erscheint den bisherigen Erkenntnissen zufolge der Erdklee *T. subterraneum*: Saatgut ist im Handel verfügbar, der Aufgang ist zuverlässig und die Bestände schließen sich rasch. Die Aussamung und die Neuetablierung der Bestände durch Selbstaussaat sind zuverlässig. Ein weiterer Vorteil ist der obligat nieder liegende Wuchstyp; d. h. die Getreidebestände werden nie von den Leguminosen überwachsen, was bei anderen Arten geschehen kann. Die Winterfestigkeit ist etwas geringer als die der anderen Leguminosen; in sehr kalten und schneereichen Jahren kann es zu Auswinterungsschäden kommen. Das Risiko scheint aber vertretbar, da Erträge der Hauptkultur (sofern sie nicht ebenfalls von der Auswinterung betroffen ist) dadurch nicht verringert werden. Eher könnte sie (wie beim Einsatz abfrierender Leguminosen, s. o.) vom Stickstoff, der aus dem abgestorbenem Pflanzmaterial freigesetzt wird, profitieren. Der Schaden beschränkt sich also auf die Notwendigkeit einer erneuten Ansaat der Bodenbedecker. Die Frosthärte der Arten *M. orbicularis*, *M. mini-*

ma und *T. campestre* ist für deutsche Verhältnisse ausreichend. Allerdings ist ihre Jugendentwicklung langsamer und damit die Gefahr einer Verunkrautung größer. Infolge des unter Konkurrenzbedingungen aufrechten Wuchstyps kann es bei *M. minima* zu einer zu starken Konkurrenz gegenüber der Hauptkultur kommen. Das ist vor allem bei Weizen an Standorten mit geringer N-Verfügbarkeit zu erwarten. *M. orbicularis* ist im Herbst ebenfalls weniger konkurrenzfähig als der Erdklee, kann aber in den späteren Stadien sehr stark unterdrückend wirken. Die Frosthärte von *M. polymorpha*, *T. glomeratum* und *M. truncatula* ist für einen überjährigen Anbau in Deutschland zu gering. *M. truncatula* kann wegen der schnellen Jugendentwicklung als abfrierender Bodenbedecker genutzt werden. Eine Übersicht über die wichtigsten Eignungsmerkmale der untersuchten Arten gibt Tabelle 16. Bei *M. orbicularis* und *M. minima* kann der Anteil hartschaliger Samen sehr hoch sein. Das führte zu Problemen bei der Etablierung der Bestände, aber in einigen Fällen auch bei der Wiederetablierung. Diese Arten sind erst dann einsetzbar, wenn das Problem der hartschaligen Samen gelöst wird, was eine züchterische Bearbeitung voraussetzt

Tabelle 16: Vor- und Nachteile der wichtigsten untersuchten Leguminosenarten hinsichtlich ihrer Eignung als Bodenbedecker in Lebendmulchsystemen

Arten	Vorteile	Nachteile
<i>M. minima</i>	Frosthärte	Hartschalige Samen langsame Entwicklung im Herbst
<i>M. orbicularis</i>	Frosthärte	Hartschalige Samen langsame Entwicklung im Herbst Zu starke Konkurrenz im Spätstadium
<i>T. campestre</i>	Frosthärte niedriger Wuchs sichere Wiederaussaat	Langsame Entwicklung geringere Konkurrenzkraft
<i>T. subterraneum</i>	bedingt frosthart schnelle Jugendentwicklung Bestände bleiben niedrig Sichere Wiederaussaat Samen bei Reife bereits im Boden	etwas geringere Frosthärte (je nach Sorte verschieden) manchmal zu starke Konkurrenz während der Bestockung

Hauptkulturen

Die Etablierung der Lebendmulche gelingt besser mit Weizen als Hauptkultur, Roggen kann - zumindest bei reichlicher N-Versorgung - zu konkurrenzstark sein um eine gute Anfangsentwicklung der Leguminosenbestände zu erlauben. Das gilt besonders für die *Medicago*- Arten und *T. campestre*; der Erdklee ist etwas weniger empfindlich gegenüber der Konkurrenz durch die Hauptkulturen.

Ansaatverfahren

Eine gemeinsame Aussaat beider Komponenten ist am sinnvollsten, da eine nachträgliche Einsaat der Hauptkultur schwierig ist.

Dass die Räumliche Anordnung der beiden Komponenten auch eine Auswirkung auf die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern hat, zeigt Abb. 24. Die Aufnahmen wurden an einem Versuch gemacht, der im Herbst 2006 angelegt und in dem (unbeabsichtigterweise) stark Ausfallraps auftrat. Wie exakte Auszählungen ergaben (Baresel, unveröffentlichte Daten), zeigte sich, dass Mischbestände beider Komponenten (B,C) das Unkraut besser unterdrücken als die Komponenten in Reinkultur, dass die Unkrautunterdrückung am besten war, wenn beide Komponenten breitwürfig ausgesät wurden, dass aber bei der Ansaat in abwechselnden Reihen der Weizen gegenüber dem Erdklee im Vorteil war.

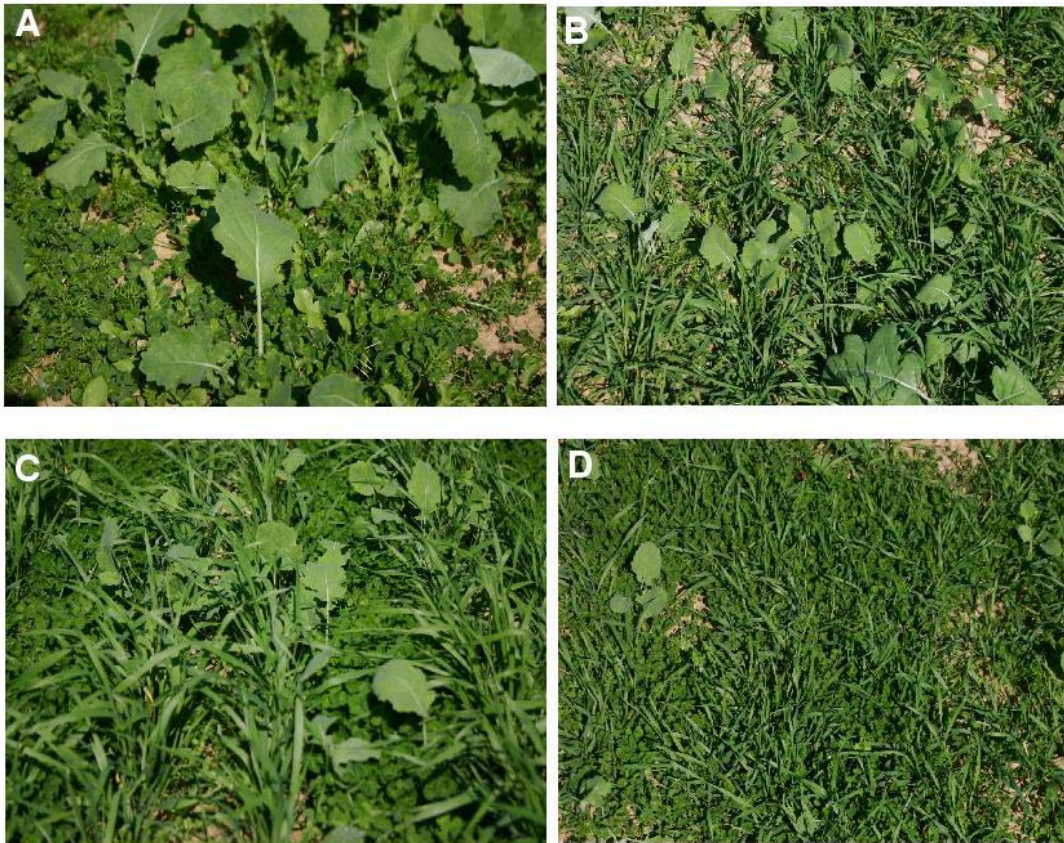


Abb. 24: Wirkungen unterschiedlicher Anordnungen von Hauptkultur und Bodenbedecker auf die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Ausfallraps. A: Nur Erdklee, breitwürfig; B: Nur Weizen, Drillreihen, C: Alternierende Reihen (Weizen in Doppelreihen), D: Weizen und Erdklee breitwürfig

Eine Einsaat in abwechselnden Reihen mit 10-12 cm Reihenabstand scheint demzufolge am günstigsten. Die Getreidereihe kann dabei, wie in Abb. 24 durch eine Doppelreihe mit 8 cm Abstand ersetzt werden. Das setzt aber eine spezielle Sätechnik voraus, wie sie im Rahmen eines anderen Projekts (03OE113) entwickelt wurde. Alternativ dazu kann die Aussaat des Getreides dagegen in Drillreihen, die der Leguminosen dagegen breitwürfig mit nachfolgendem Striegel erfolgen, wie das auch in den hier beschriebenen Versuchen der Fall war. Gerade die Samen von *T. campestris* sind sehr klein und sollten nicht zu tief liegen, so dass diese Methode bei dieser Art besonders geeignet erscheint.

Aussaatzeit

Die Aussaat sollte früh genug erfolgen, um den Leguminosen Zeit zu geben, geschlossene Bestände zu bilden, da sonst die Verunkrautung zu stark werden kann (viele Unkräuter sind noch bei niedrigeren Temperaturen aktiv als die Leguminosen). Unter den Bedingungen in Süddeutschland erschien die Zeitspanne zwischen dem 20. August und den ersten Septembertagen am geeignetsten. Der optimale Zeitpunkt ist aber vom Klima abhängig; in Gebieten mit spätem Wintereinbruch müsste auch eine spätere Aussaat möglich sein. Die Wahl des Aussaatzeitpunkts ist auch eine Möglichkeit, um die Konkurrenzverhältnisse zwischen Hauptkultur und Bodenbedecker zu regeln. So ist z. B. bei Roggen mit seiner starken Konkurrenzkraft eine frühe Aussaat von Vorteil (ab 20. August), während Weizen, der weniger konkurrenzstark ist bei einer so frühen Aussaat schon stark durch den Erdklee verdrängt wird, was im Frühjahr nicht immer wieder ausgeglichen werden kann und dann zu dünne Bestände zur Folge hat. Hier kann unseren Beobachtungen zufolge eine etwas spätere Aussaat sinnvoll sein. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die N-Versorgung, die die Konkurrenzverhältnisse ebenfalls beeinflusst. Bei guter N-Versorgung kann demnach früher gesät werden, da das Getreide im Vorteil ist.

Der späteste sinnvolle Aussaattermin ist unseren Erfahrungen nach für den Erdklee Mitte September. Nach der ersten Septemberwoche ist normalerweise nicht mehr mit der Ausbildung geschlossener Bestände zu rechnen; die andere Arten sollten so früh ausgesät werden, wie es für die mit ausgesäte Hauptkultur möglich ist, da die Anfangsentwicklung eher langsam und eine Beeinträchtigung der Hauptkultur nicht zu erwarten ist. Das gleiche gilt für *M. truncatula*, die als abfrierender Bodenbedecker mit ausgesät wird und vor Wintereinbruch eine möglichst große Biomasse erzeugen soll.

Eine Nachregulierung der Konkurrenzverhältnisse ist in beschränktem Umfang durch nachträgliches Mulchen im Bestockungsstadium möglich, das dem Getreide einen gewissen Vorteil verschafft: Mulchen ist auch dann sinnvoll wenn der Wintereinbruch spät ist und sich sehr üppige Bestände bilden, die eine Schneedecke schlecht vertragen.

In der kurzen Zeit dieses Forschungsprogramms war es nicht möglich, alle diese Aspekte zu berücksichtigen. Zur Optimierung des Aussaattermins und der Aussaattechnik sind noch einige Jahre praktische Erfahrung und/oder Forschungsarbeit notwendig.

Wiederetablierung der Leguminosen

Voraussetzung für die Einsaat in bereits etablierte Leguminosenbestände ist die erfolgreiche Wiederetablierung der Leguminosenbestände durch Selbstaussaat. Alle winterharten Arten konnten sich durch Selbstaussaat über mehrere Jahre halten. Die Wiederetablierung hängt nicht nur von der Anzahl der Samen, sondern in besonderem Maße von der Verunkrautung der Mutterbestände ab, da viele Unkräuter sich ebenfalls selbst aussäen. Ist der Leguminosengetreide-Mischbestand geschlossen und der Unkrautbesatz gering, kann mit einer erfolgreichen Wiederetablierung gerechnet werden.

Bei der Wiederaussaat gibt es einige charakteristische Unterschiede zwischen den Arten: *T. subterraneum* senkt die Blütenstände mit den sich entwickelnden Samen in die Erde, was optimale Keimungsbedingungen schafft. Bei allen anderen Arten fallen die Hülsen mit den Samen nach einiger Zeit auf die Erde; sie keimen zwar auch dort, wenn man gleichmäßige Bestände erhalten will, ist es aber notwendig, sie oberflächlich einzuarbeiten.

T. campestre bildet sehr viele Samen, die aber sehr klein sind - eine zu tiefe Einarbeitung könnte den Aufgang beeinträchtigen. Da aber die oberste Bodenschicht in der Regel gemischt wird, sind bei der z. T. extrem hohen Anzahl von Samen immer noch genügend Samen in der Nähe der Oberfläche, um eine hinreichende Dichte von Keimlingen zu gewährleisten.

Bei *M. minima* und *M. orbicularis* ist die Sicherheit, geschlossene Bestände zu erhalten, wegen der Keimruhe etwas geringer.

Getreideeinsaat in etablierte Leguminosenbestände

Nach der Getreideernte empfiehlt es sich, die Getreidestoppeln und die Restpflanzen zu mulchen. Bei den Arten mit oberirdisch abreifenden Samen ist in der Folge eine oberflächliche Bodenbearbeitung notwendig, entweder mit einer Fräse oder mit einem flach arbeitenden Grubber (Arbeitstiefe bis 5 cm). Obwohl sich die Samen beim Erdklee nach der Reife bereits im Boden befinden, ist dieser Arbeitsgang auch hier empfehlenswert, da eventuell vorhandene Unkräuter auf diese Weise reguliert werden können. Das ist insbesondere dann wichtig, wenn mehrjährige Gräser, z. B. aus vorangegangenen Klee grasbeständen, vorhanden sind.

Will man das Getreide zu üblichen Zeiten (d. h. im Oktober) einsäen, kommt man nicht umhin, einen Teil der Leguminosenbestände zu zerstören, da die Leguminosenbestände bis dahin recht üppig sind und ein Saatbett für die Hauptkultur benötigt wird. Eine Methode, die auch in Lebendmulchsystemen mit Weißklee angewandt wurde, ist die Streifenfrässaat mit einer Reihenfräsen-Drillmaschinen-Kombination. Das ist aber nur dann möglich, wenn der Bewuchs nicht zu üppig ist (d. h. in der Regel muss vorher gemulcht werden), anderenfalls wird der Boden nicht trocken genug. Ab der zweiten Oktoberhälfte ist es in den meisten Jahren schwierig, hinreichend trockene Verhältnisse vorzufinden. Bei ausgesprochen trockenem Boden gelingt die Frässaat ebenfalls nicht, da die Fräsworkzeuge nicht tief genug in den Boden eindringen. In beiden Fällen ist die Bedeckung des Saatguts mit Erde unzureichend.

Erfahrungsgemäß wachsen die Frässtreifen schnell wieder zu, so dass sie nicht zu schmal gewählt sein sollten, beim Erdklee etwa 2/3 der Gesamtfläche. Das ist aber nur bei geringer Verunkrautung durchführbar, da die Frässtreifen gerne von Unkräutern besiedelt werden, die in der Folge nur sehr schwer bekämpft sind. Bei den anderen Leguminosen (*T. campestris*, *M. minima*, *M. orbicularis*) könnte der Frässtreifen schmaler sein, da die Jugendentwicklung dieser Arten langsamer verläuft.

Ein weiterer Nachteil der Frässaat ist der notwendige weite Reihenabstand (weniger als 30 cm Abstand zwischen zwei Getreide-Doppelreihen ist technisch kaum realisierbar; außerdem würden die Frässtreifen so schmal, dass sie schnell wieder zuwachsen würden). Bei Weißkleelebendmulchen („Bicropping“) ist man deshalb z. T. dazu übergegangen, die Leguminosenbestände ganzflächig zu bearbeiten (Wenz, mündl. Mitt.) z. B. mit flach arbeitenden Grubbern). Eine vollständige Vernichtung der Weißkleebestände ist damit nicht möglich, da ein Teil der Stolonen wieder anwächst, aber die vorübergehende Reduktion des Weißklee ist ausreichend, um die Etablierung der Getreidebestände in normaler Aussaatdichte zu ermöglichen. Bei den einjährigen Leguminosen ist das nicht möglich, da sie keine Stolonen bilden.

Eine Alternative wäre aber, die Hauptkulturen so früh anzusäen, dass sie gemeinsam mit den Bodenbedeckern keimen. Die oben diskutierte flache, ganzflächige Bodenbearbeitung, die ohnehin für einen gleichmäßigen Aufgang der Leguminosen und zur Unkrautkontrolle notwendig ist, könnte mit der Einsaat in einem Arbeitsgang erfolgen. Eine Einsaat in normalen Saatkulturen wäre damit ebenfalls möglich.

Ein Problem dabei ist ersten Erfahrungen zufolge die sehr große Keimlingsdichte der selbst ausgesäten Bestände, wodurch es zu einer starken Konkurrenz in den frühen Entwicklungsstadien kommt. Eine Möglichkeit dies zu regulieren ist die Wahl des Zeitpunkts der Bodenbearbeitung und der Einsaat der Hauptkultur. In der Regel sind die produzierten Samenmengen wesentlich größer als zu einer Wiederetablierung der Bestände notwendig wäre. Die Samen aller Arten reifen außerdem nicht gleichzeitig, sondern über einen bestimmten Zeitraum (2-3 Wochen) ab. Auch wenn bereits viele Samen ausgekeimt sind, befinden sich nach der Bodenbearbeitung noch später abgereifte und daher noch nicht ausgekeimte Samen im Boden, mit denen sich der Bestand regenerieren kann. Man kann damit also den Zeitpunkt der Wiederetablierung sowie die Aussaatdichte innerhalb gewisser Grenzen regulieren. Da hierzu nicht

sehr viele andere Instrumente zur Verfügung stehen, kommt dem möglicherweise eine nicht unbedeutende Rolle zu.

Hierüber liegen aber noch nicht genügend Erfahrungen vor; entsprechende Versuche sollen in den nächsten Jahren, den Möglichkeiten entsprechend in Zusammenarbeit mit Praxisbetrieben durchgeführt werden.

Die Bodenbearbeitung könnte mit einer Fräse durchgeführt werden, die in vielen Betrieben schon vorhanden ist. Das ist allerdings eher für erste Versuch ratsam, da die Flächenleistung der Fräsen für den Getreideanbau zu gering sind und für so geringe Arbeitstiefen (ca. 5 cm) nicht konzipiert sind, so dass langfristig bessere technische Lösungen gefunden werden müssen. Am geeignetsten erscheinen flach arbeitende Grubber mit exakter Tiefenführung, die leicht mit einer Drillmaschine gekoppelt werden. Es sind bereits Sägrubber auf dem Markt oder im Versuchsstadium, die eine sehr exakte, flache Bodenbearbeitung durchführen, die Wurzeln bestehender Unkräuter unterschneiden, und das Korn exakt auf der Bearbeitungssohle ablegen. Eine separate Tiefenführung für die einzelnen Schare ist bei einer Arbeitsbreite von mehr als 4 m möglicherweise notwendig. Bei Arbeitsbreiten von 3 m ebnet sich der Boden durch den regelmäßigen Gebrauch der Geräte ein, so dass auf eine separate Tiefenführung der einzelnen Schare verzichtet werden kann. Gräte mit festem Rahmen können wesentlich leichter gebaut werden und benötigen weniger Zugkraft, so dass die Bodenverdichtung durch Reifendruck in Grenzen gehalten werden kann.

6.3 Auswirkungen der Lebendmulche

Die Vorteile der Leguminosenbeisat sind in erster Linie die Konkurrenz gegenüber Unkräutern und eine Verbesserung der N-Versorgung; dies weniger für die gleichzeitig wachsende Hauptkultur sondern für das Anbausystem insgesamt durch Versorgung des Bodens mit mehr - und auch N-reicherer - organischer Substanz. Der Einsatz von Leguminosenlebendmulchen kann die N-Versorgung der Anbausysteme verbessern: bei Weizenenerträgen bis 30 dt/ha erscheint unseren Ergebnissen zufolge eine ausgeglichene N-Bilanz möglich. Wenn die Ansätze, die Systeme zu verbessern weiterentwickelt und anfängliche Fehler in der Anbautechnik vermieden werden sollte es möglich sein, die Erträge bei ausgeglichener N-Bilanz auf über 40 dt/ha zu steigern. Der Einsatz von Lebendmulchen ist damit vor allem für *extensiv wirtschaftende Betriebe* interessant

Eine Verbesserung der N-Versorgung der gleichzeitig wachsenden Hauptkultur konnte dagegen nicht beobachtet werden: die Erträge wurden eher niedriger, die N-Konzentrationen im Korn nicht höher. In einigen Fällen konnte gezeigt werden, dass der Gehalt an leicht mobilisierbarem organisch gebundenem N im Boden durch die Bodenbedecker erhöht wurde. Die positive Auswirkung auf das Bodenleben konnte anhand der mengenmäßig bedeutendsten Fraktion der Bodenmikroflora, der arbuskulären Mykorrhiza, gezeigt werden. Außerdem konnte durch Untersuchung der Aggregatstabilität, gezeigt werden, dass auch die physikalischen Bodeneigenschaften durch die besonderen Bedingungen in Lebendmulchsystemen, die stark reduzierte Bodenbearbeitung und der (fast) permanente Bodenbewuchs, verbessert werden. Dadurch wird gleichzeitig die Bodenmikroflora gefördert, was wiederum auf die physikalischen Bodeneigenschaften wirkt. Eine Verminderung der Erosion ergibt sich nicht nur aus der verbesserten Aggregatstabilität sondern auch durch die Reduktion der Bodenbearbeitung und der länger andauernde Pflanzendecke.

7 Geplante und erreichte Ziele; weiterführende Fragestellungen

7.1 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die geplanten Arbeitsziele waren:

1. Etablierung von Leguminosen zusammen mit Getreide
2. Erhalt der Leguminosenbestände über 2 Jahre (3 Jahre in den Versuchen V1 und V2, die bereits 2003 angelegt wurden).
3. Einsaat von Getreide in die bereits etablierten Leguminosenbestände
4. Erfassung von
 - a. Ertrag (im Etablierungsjahr und in den Folgejahren)
 - b. Qualität (ebenfalls im Etablierungsjahr und in den Folgejahren)
 - c. Biomassen
 - d. Entwicklungszyklen
 - e. Konkurrenzverhältnissen zwischen Hauptkultur und Leguminosen
 - f. Unkrautunterdrückungsvermögen der Leguminosen
 - g. N-Verfügbarkeit
 - h. Biologischen Bodenparametern
 - i. Struktureigenschaften

Es wurden zwar alle Arbeitsschritte durchgeführt, infolge des besonders kalten Winters wurden nicht alle der oben genannten Ziele erreicht. In einem Teil der Versuche gelang es nicht, die Leguminosenbestände über 2 Jahre zu halten. Damit entfiel in diesen Versuchen auch die Einsaat in bestehende Leguminosenbestände und ein Teil der Untersuchungen an den Beständen. Es wurden aber im Jahre 2005 zusätzliche Versuche angelegt an denen die Getreideeinsaat in bereits etablierte Leguminosenbestände weiterentwickelt werden konnte (V6, V8, V9). Die N-Verfügbarkeit konnte auf der Basis des N in der Biomasse, der POM und des mineralischen N in der Bodenlösung beschrieben werden. Zur Charakterisierung des biologischen Bodenzustands wurde die Sporendichte der Arbuskulären Mykorrhiza verwendet, da diese der mengenmäßig vorherrschende Bestandteil der Bodenflora ist und sowohl auf die Pflanzenernährung als auch auf die Bodeneigenschaften einen besonders großen Einfluss ausübt. Mit der Aggregatstabilität wurde ein aussagefähiger Parameter zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften gefunden. Die *übergeordneten Ziele* bestanden darin, Möglichkeiten einer Verbesserung der Anbaumethoden im Ökologischen Landbau aufzuzeigen, wobei auf folgende Teilaspekte ein besonderer Wert gelegt wurde:

1. Verbesserung der N-Versorgung und Bodenfruchtbarkeit
2. Verbesserung der Perspektiven für viehlose Betriebe
3. Anregung für die gerätetechnische Entwicklung
4. Anregungen zur Saatgutproduktion

Es konnte gezeigt werden, dass durch die Verwendung einjähriger Leguminosen die N-Versorgung über die Fruchtfolge möglich ist, da die räumliche und zeitliche Nutzung der Ressourcen verbessert wird. Dies ist vor allem eine Perspektive für viehlos wirtschaftende Betriebe, die damit die Kleegrasbrache verringern können. Im Sommer 2006 veranstalteten Workshop gab es auch eine Arbeitsgruppe für die gerätetechnische Entwicklung, in der prak-

tische Landwirte und Hersteller von Maschinen zusammenkamen. Die Diskussion unterschiedlicher Ansätze in den Anbauverfahren und Standortbedingungen, sowie die Feldbesichtigungen gaben viele Anregung zu einer Weiterentwicklung der gerätetechnischen Entwicklung. Es konnte gezeigt werden, dass unter deutschen Bedingungen bei den Arten *M. minima*, *M. orbicularis* und *T. campestre* zuverlässig ausreichende Samenerträge erzielt werden können, und dass die Kriterien für eine gute Erntbarkeit (hinreichend fester Samensitz, Höhe des Ansatzes über dem Boden) ebenfalls erfüllt sind. Die Firma Saatzucht Steinach in Straubing, die sich mit Futterpflanzen befasst, hat sich an den neuen Arten interessiert gezeigt; an sie werden Saatgutmuster zur weiteren Untersuchung und Prüfung geschickt.

7.2 Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Da die Versuche nur über eine Dauer von 2 Jahren in vollem Umfang durchgeführt werden konnten und zudem durch die Witterungsverhältnisse im Winter 2005/2006 nur ein Teil der Versuche im 2. Versuchsjahr vollständig ausgewertet werden konnte, bleiben noch viele Fragen offen. Gänzlich unbeantwortet blieben bisher noch Fragen nach der *Adaptationsfähigkeit an andere Standortbedingungen*, z. B. Trockengebiete oder solche mit niederschlagsarmen, kalten Wintern. Die *langfristige Wirkung auf den Boden* kann aus nahe liegenden Gründen nur anhand langfristiger Versuche untersucht werden. Immerhin gab es in unseren Untersuchungen bereits Hinweise; so scheint ein großer Teil des von den Leguminosen gebundenen N beim Übergang von normaler auf Minimalbodenbearbeitung nicht folgenden Hauptkulturen zur Verfügung zu stehen, sondern wird zur Erhöhung des Pools von Organischer Substanz, gebraucht. Die Einführung von 3-4- Jährigen Lebendmulchen in Fruchtfolgen, in denen auch Fruchtfolgeglieder mit Bodenbearbeitung enthalten sind, erscheint hiermit problematisch. Möglicherweise muss man sich entweder für längerfristige oder kurzfristige (1 - 2 Jahre) Lebendmulch-Fruchtfolgeglieder entscheiden. Die *Selbstverträglichkeit* und die *Verträglichkeit mit anderen Leguminosen* konnte in diesem Projekt nicht systematisch geprüft werden. Beim Erdklee und bei *T. campestre* konnten in keinem Fall Keimhemmungen nach Selbstaussaat beobachtet werden. Bei *M. orbicularis* und *M. minima* kam es in einigen Jahren zu einer starken Reduktion der Keimfähigkeit, nach dem sich zuvor die Bestände vegetativ besonders stark entwickelt hatten. Ob sich das in ähnlichen Fällen wieder beobachten lässt, und ob sich das auf andere Faktoren als die Hartschaligkeit der Samen zurückführen lässt, müssten weitere Untersuchungen überprüfen. Die Wirkung als *Erosionsschutz* wurde in unseren Untersuchungen nicht geprüft, auch wenn damit zu rechnen ist, dass eine reduzierte Bodenbearbeitung verbunden mit einer kontinuierlichen Vegetationsdecke zu einer Verbesserung des Erosionsschutzes beiträgt. Erosion ist vor allem beim Maisanbau ein Problem. Lebendmulchsysteme mit Mais und Weißklee konnten die Erosion zwar vermindern, führen aber zu reduzierten Maiserträgen, besonders im Ökologischen Landbau, wo eine Kontrolle des Lebendmulchs durch Herbizide nicht möglich und die Möglichkeiten einer zusätzlichen N-Düngung stark eingeschränkt sind. Das Hauptwachstum des Mais fällt größtenteils in einen Zeitraum, in dem einjährige Leguminosen wie Erdklee bereits abgereift sind. Sie wären somit nur eine geringe Konkurrenz und könnte sogar zur N-Versorgung des Mais beitragen. Allerdings fällt die Jugendentwicklung des Mais in die Hauptwachstumsphase der einjährigen Leguminosen. Hier müsste nach geeigneten Methoden gesucht werden, die Konkurrenz durch die Leguminosen zu verringern, z. B. durch Mulchen des Lebendmulchs und Einsaat des Mais in Frässtreifen. Das Problem der *Einsaat in die bereits etablierten Leguminosenbestände* konnte im Rahmen dieser Versuche nicht optimal gelöst werden. Es gibt aber mittlerweile viele Hinweise dafür, dass die Konkurrenzverhältnisse ausgeglichener sind, wenn die Vegetationszyklen der beiden Komponenten nicht zu stark gegeneinander versetzt sind. Wie bereits gesagt, liegt es nahe, hierfür die Zeit zwischen der Ernte der Hauptkultur und dem Auskeimen der Leguminosensamen zu nutzen. Die Aussaat könnte mit einer flachen, nicht wendenden

Bodenbearbeitung kombiniert werden, die Unkräuter unterschneidet und die Leguminosensamen einarbeitet. Mit Hilfe entsprechend ausgeführter Sägrubber könnte dieser Arbeitsgang zusammen mit der Getreideeinsaat erfolgen. Um die erforderliche Gerätetechnik und den Termin für diesen Arbeitsgang zu optimieren, wären weitere Untersuchungen notwendig. Vor allem die Hartschaligkeit der Samen von *M. minima* und *M. orbicularis* machen die Suche nach Genotypen mit geringer Dormanz und eine züchterische Bearbeitung notwendig. Bei *T. campestre* sollte der Aufbau einer Saatgutproduktion dagegen auf geringere Schwierigkeiten stoßen. Schließlich wäre es noch notwendig, die *Wirkung auf die Betriebsgestaltung und die Wirtschaftlichkeit* unter Praxisbedingungen zu untersuchen, was an Hand der Parzellenversuche dieses Projekts nicht möglich ist.

Literatur

- [1] N. L. Hartwig, H. U. Ammon 50th anniversary -invited article- Cover crops and living mulches. *Weed science* 50: 688-699.
- [2] J. P. Baresel, W. Schenkel und H.J. Reents. Screening of annual legumes as living mulches for alternative cropping systems in Germany. *Vorträge für Pflanzenzüchtung*, 59:47-49, 2003.
- [3] K. Becker und G. Leithold. Praxiseinführung des Anbaukonzeptes Weite Reihe unter besonderer Berücksichtigung des Qualitätsaspekts bei Backweizen, *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*, 429-432. Berlin: Köster, 2001.
- [4] L. O. Brandsaeter und J. Netland. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in northern regions: I. field experiments. *Crop-Science*, 39:1369-1379, 1999.
- [5] L. O. Brandsaeter, T. Smeby, A. M. Tronsmo, und J. Netland. Winter annual legumes for use as cover crops in row crops in northern regions: II. frost resistance study. *Crop Science*, 40:175-181, 2000.
- [6] E. Campiglia, F. E. Caporali, R. Mancinelli. Alternative cropping systems with self reseeding annual legumes in a Mediterranean environment. *In: XIX International Grassland Congress, 11-21 February, Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil*, 745-746, 2001.
- [7] E. Campiglia, R. Paolini, F. E. Caporali, R. Mancinelli. Sistemi colturali alternativi nella produzione di frumento duro (*Triticum durum* Desf.). *Rivista di Agronomia* 34:313-320, 2000.
- [8] K. Y. Chan. Soil particulate organic carbon under different land use and management. *Soil use and Management*. 17:217-221, 2001.
- [9] K. Y. Chan, D. P. Heenan, A. Oats. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and tillage research* 63:133-139, 2002.
- [10] B. T. Christensen. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of soil sciences* 52:345-353, 2001.
- [11] G. Fara, A. Franca, C. Porqueddu, S. Caredda, P. Roggero. Mediche e trifogli annuali autoriseminanti per usi foraggeri e non convenzionali: I. adattamento e persistenza. (self-resowing annual medics and clovers for forage and other uses: I. adaptation and persistence.). *Rivista-di-Agronomia*, 31:1009-1018, 1997.

- [12] C. U. Germeier. Erste Erfahrungen mit Weitreihenverfahren für Winterweizen mit Leguminosen- und Kräuterbeisaaten, *Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*, 288-294, Berlin; Köster, 1997.
- [13] J. Hiltbrunner, M. Liedgens, M. Stamp, B. Streit. Effects of row spacing and liquid manure on directly drilled winter wheat in organic farming. *European Journal of Agronomy* 22:441-447, 2005.
- [14] J. Hiltbrunner. Legume Living Mulches for the Control of Weeds in Winter Wheat *Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich*, 2005
- [15] R. Holle und H. Untied. Crop rotation on organic farms in Northern Germany and development of the wide row system. In: *Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an international workshop, Danish Research Centre for Organic Agriculture*, 159-162, 1999.
- [16] R. D. Ilnicki und A. J. Enache. Subterranean clover living mulch: an alternative method of weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40:249-264, 1992.
- [17] K. Möller und H. J. Reents. Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitratdynamik im Boden und auf das Wachstum der Folgefrüchte Kartoffeln und Weizen im Ökologischen Landbau. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 12: 119-120, 1999.
- [18] M. Mücke. Erzeugung von Qualitätsweizen im ökologischem Landbau - weite Reihenabstände machen es möglich. *SöL-Berater-Rundbrief*, 3/99:5-10, 1999.
- [19] G. Pommer. Auswirkungen von Saatstärke, weiter Reihe und Sortenwahl auf Ertrag und Backqualität von Winterweizen, *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*, 69-82, Berlin: Köster, 2003.
- [20] R. Ihaka, R. Gentleman. R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5:3; 299-314, 1996.
- [21] Website zur Statistiksoftware: *R: A language and environment for statistical computing* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <http://www.R-project.org>
- [22] H. J. Reents und K. Möller. Effect of different green manure catch crops grown after peas on nitrate dynamics in soils and on yield and quality of subsequent potatoes and wheat, *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*; 73-76 Berlin: Köster, 2001.
- [23] H. J. Reents, K. Möller Stickstoffmanagement im Ökologischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Zwischenfrüchten. *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, S. 429-432 Berlin: Köster, 2001.
- [24] S. Richter und J. Debruck. Einfluß der Reihenweite auf Ertrag und Qualität von Winterweizen, *Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*, 233-236. Berlin: Köster, 2001.
- [25] L. Sachs. *Angewandte Statistik*. Springer, 8. Auflage, 1997.
- [26] F. Sekera und A. Brunner. Beiträge zur Methodik der Gareforschung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 29, 1943.
- [27] G. W. Skipper, H. D. Skipper und D. L. Smith. Comparison of methods to extract spores of vesicular-arbuscular associated with mycorrhizal fungi. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:722-725, 1979.

- [28] S. E. Smith und D. J. Read. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, 2nd edition, 1997.
- [29] H. J. Neumann. Optimierungsstrategien für den Getreideanbau im Ökologischen Landbau: System weite Reihe und Direktsaat in ausdauernden Weißklee (Bi-cropping) *Dissertation, Universität Kiel, 2005*.
- [30] N. Zimmer. (Untersuchungen zur Allelopathie an Leguminosen) *Diplomarbeit, GSF, Institut für Bodenökologie; in Vorbereitung*.

Tabellen und Grafiken

Tabelle 17: Konkurrenzfähigkeit der Leguminosen gegenüber Unkräutern; ++: Leguminosen sind stärker; - -: Unkräuter sind stärker

April 2004

Art	Weizen	Erdklee	MO	MM	Weißkl
<i>Stellaria media</i>	-	++	++	+	-
<i>Veronica officinalis</i>	-	++	++	+	-
<i>Lamium purpureum</i>	-	+	+	+	-
<i>M. chamomilla</i>	--	-	-	--	--
<i>C. bursa-pastoris</i>	-	+	+	+	-
<i>A. spica-venti</i>	-	+	+	+	-
Leindotter (Ausfall)	-	-	+	-	-
Weizen	0	0	++	+	0

Juni 2004

Art	Weizen	Erdklee	MO	MM	Weißklee
<i>Stellaria media</i>	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Veronica officinalis</i>	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Lamium purpureum</i>	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. chamomilla</i>	---	--	+++	+	--
<i>C. bursa-pastoris</i>	+	+	+++	++	+
<i>A. spica-venti</i>	-	-	+++	++	-
Leindotter (Ausfall)	++	-	+++	++	-
<i>Gallium aparine</i>	--	-	++	-	--
<i>Cirsium arvense</i>	---	---	+	-	-
Weizen	0	-	++	+	++

Tabelle 18: Auswinterung in den Feldversuchen (Frostschädigung in %) Erdkleesorten: C = „Campedà“, Z = Zuchtstamm, D= „Denmark“. Bei den beiden geprüften *M. minima*-Ökotypen waren keine Unterschiede sichtbar

Versuch	Art	2003/4	2004/5	2005/6
V1	<i>M. minima</i> (1)	3	2	55
	<i>M. orbicularis</i>	6	5	53
	<i>M. polymorpha</i>	62	0	0
	<i>M. truncatula</i>	100	100	100
	<i>T. campestre</i>	8	9	58
	<i>T. glomeratum</i>	97	0	0
	<i>T. repens</i>	0	0	8
	<i>T. subterraneum</i> (C)	24	18	85
	<i>T. subterraneum</i> (Z)	50	19	91
V2	<i>M. minima</i> (1)	3	-	-
	<i>M. orbicularis</i>	5	-	-
	<i>M. polymorpha</i>	69	-	-
	<i>M. truncatula</i>	100	-	-
	<i>T. campestre</i>	9	-	-
	<i>T. glomeratum</i>	97	-	-
	<i>T. repens</i>	0	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	28	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (Z)	40	-	-
V3	<i>M. minima</i> (1)	-	0	91
	<i>M. minima</i> (2)	-	0	93
	<i>M. orbicularis</i>	-	6	94
	<i>M. truncatula</i>	-	100	100
	<i>T. campestre</i>	-	10	79
	<i>T. repens</i>	-	0	10
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	22	90
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	18	89
V4	<i>M. minima</i> (1)	-	0	39
	<i>M. minima</i> (2)	-	0	43
	<i>M. orbicularis</i>	-	0	45
	<i>M. truncatula</i>	-	100	100
	<i>T. campestre</i>	-	9	24
	<i>T. repens</i>	-	0	0
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	20	53
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	18	59
P	<i>M. minima</i> (1)	-	0	16
	<i>M. minima</i> (2)	-	0	18
	<i>M. orbicularis</i>	-	2	18
	<i>M. truncatula</i>	-	100	100
	<i>T. campestre</i>	-	3	23
	<i>T. repens</i>	-	0	0
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	14	28
D	<i>M. minima</i> (1)	-	0	-
	<i>M. minima</i> (2)	-	0	-
	<i>M. orbicularis</i>	-	0	-
	<i>M. truncatula</i>	-	100	-
	<i>T. campestre</i>	-	5	-
	<i>T. repens</i>	-	0	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	24	-
V7	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	91
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	80
V8	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	80
V9	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	98

Tabelle 19: Regeneration der Leguminosenbestände durch Selbstaussaat: Samenkörner/m² (in tausend) und Keimlinge/m² im Oktober. Erdkleearten: C = „Campeda“, Z = Zuchtstamm, D= „Denmark“. Bei den beiden geprüften *M. minima*-Ökotypen waren keine Unterschiede sichtbar

Versuch	Art	2003/4		2004/5		2005/6	
		Samen	Keiml.	Samen	Keiml.	Samen	Keiml.
V1	<i>M. minima</i> (1)	50,8	270	26,8	862	-	-
	<i>M. orbicularis</i>	15,0	15	2,1	450	-	-
	<i>T. campestre</i>	0	4.000	33,6	4.000	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	71,0	650	4,3	525	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (Z)	79,4	650	3,7	500	-	-
V2	<i>M. minima</i> (1)	111,3	220	-	-	-	-
	<i>M. orbicularis</i>	35,3	20	-	-	-	-
	<i>T. campestre</i>	12,2	3.630	-	-	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	16,5	1.780	-	-	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (Z)	18,6	1.980	-	-	-	-
V3	<i>M. minima</i> (1)	-	-	1,1	130	-	-
	<i>M. minima</i> (2)	-	-	0,6	119	-	-
	<i>M. orbicularis</i>	-	-	1,1	78	-	-
	<i>T. campestre</i>	-	-	34,9	35.500	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	4,4	4.750	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	-	3,8	5.500	-	-
V4	<i>M. minima</i> (1)	-	-	1,1	525	3,7	338
	<i>M. minima</i> (2)	-	-	0,8	462	0,5	158
	<i>M. orbicularis</i>	-	-	0,3	550	1,6	275
	<i>T. campestre</i>	-	-	0,5	4.500	8,6	1.600
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	1,8	1.000	1,5	1.000
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	-	1,3	850	1,3	1.125
P	<i>M. minima</i> (1)	-	-	1,3	550	3,0	750
	<i>M. minima</i> (2)	-	-	0,7	562	2,5	762
	<i>M. orbicularis</i>	-	-	0,3	462	1,3	675
	<i>T. campestre</i>	-	-	1,5	2.875	19,4	5.625
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	1,8	488	2,4	688
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	-	1,1	500	2,7	662
D	<i>M. minima</i> (1)	-	-	18,0	1.550	-	-
	<i>M. minima</i> (2)	-	-	14,8	1.450	-	-
	<i>M. orbicularis</i>	-	-	7,2	1.050	-	-
	<i>T. campestre</i>	-	-	36,8	4.050	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (C)	-	-	0,6	462	-	-
	<i>T. subterraneum</i> (D)	-	-	0,4	438	-	-

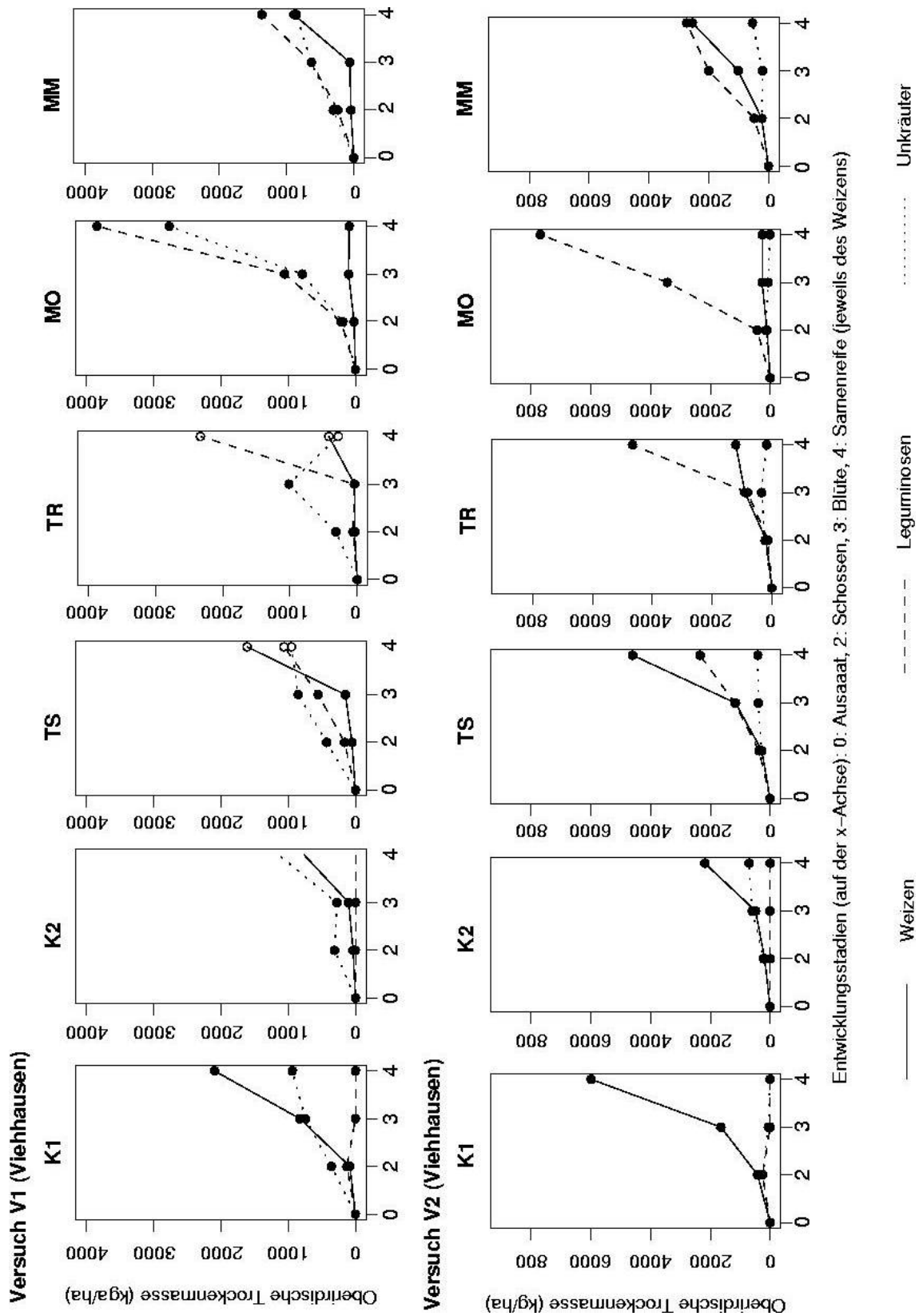


Abb. 25: Entwicklung der oberirdischen Biomassen (TM) im Ansaatjahr 2003/04 in den Versuchen V1 und V2

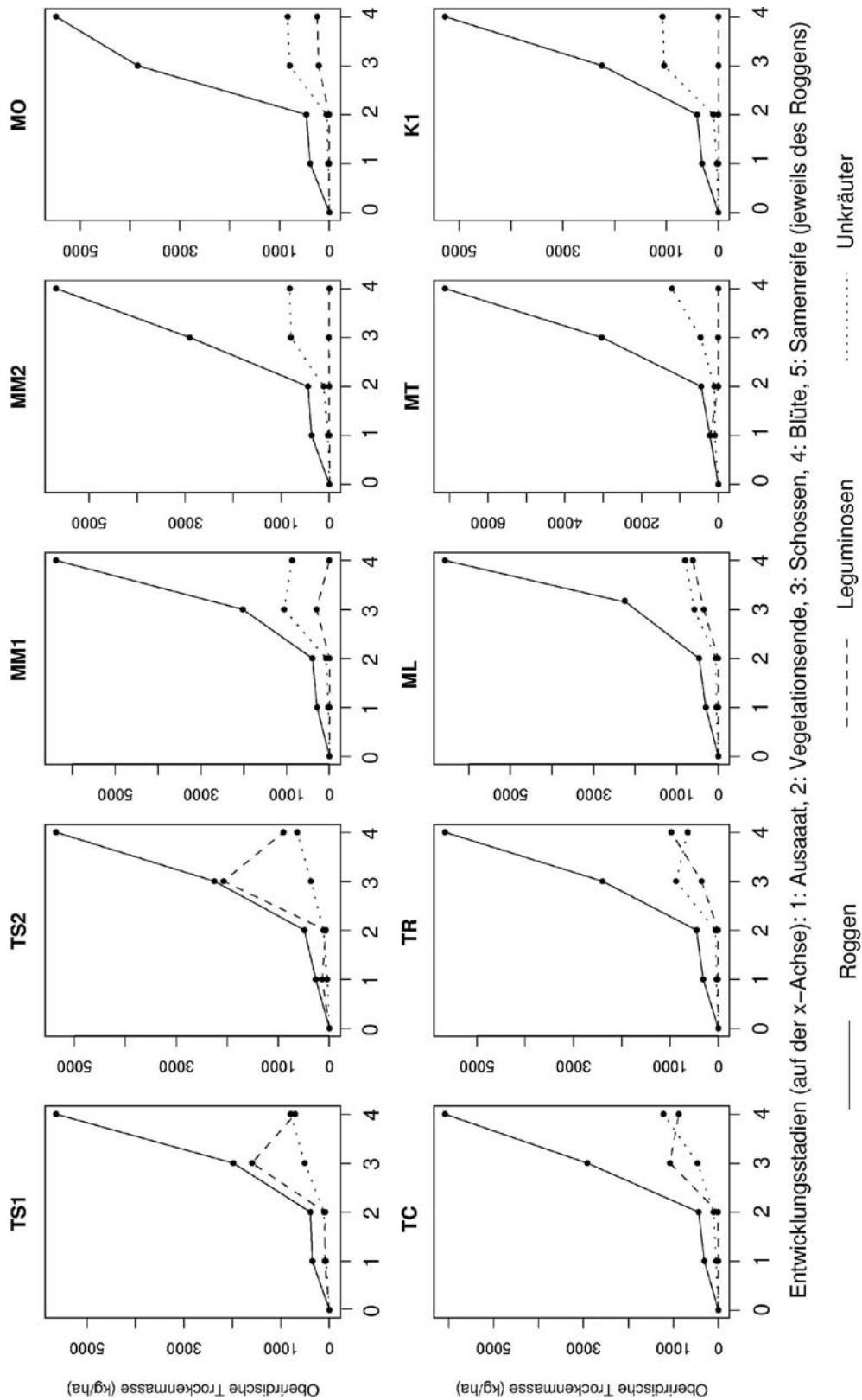


Abb. 26: Entwicklung der oberirdischen Biomassen (TM) im Ansaatjahr 2004/05 im Versuch V3

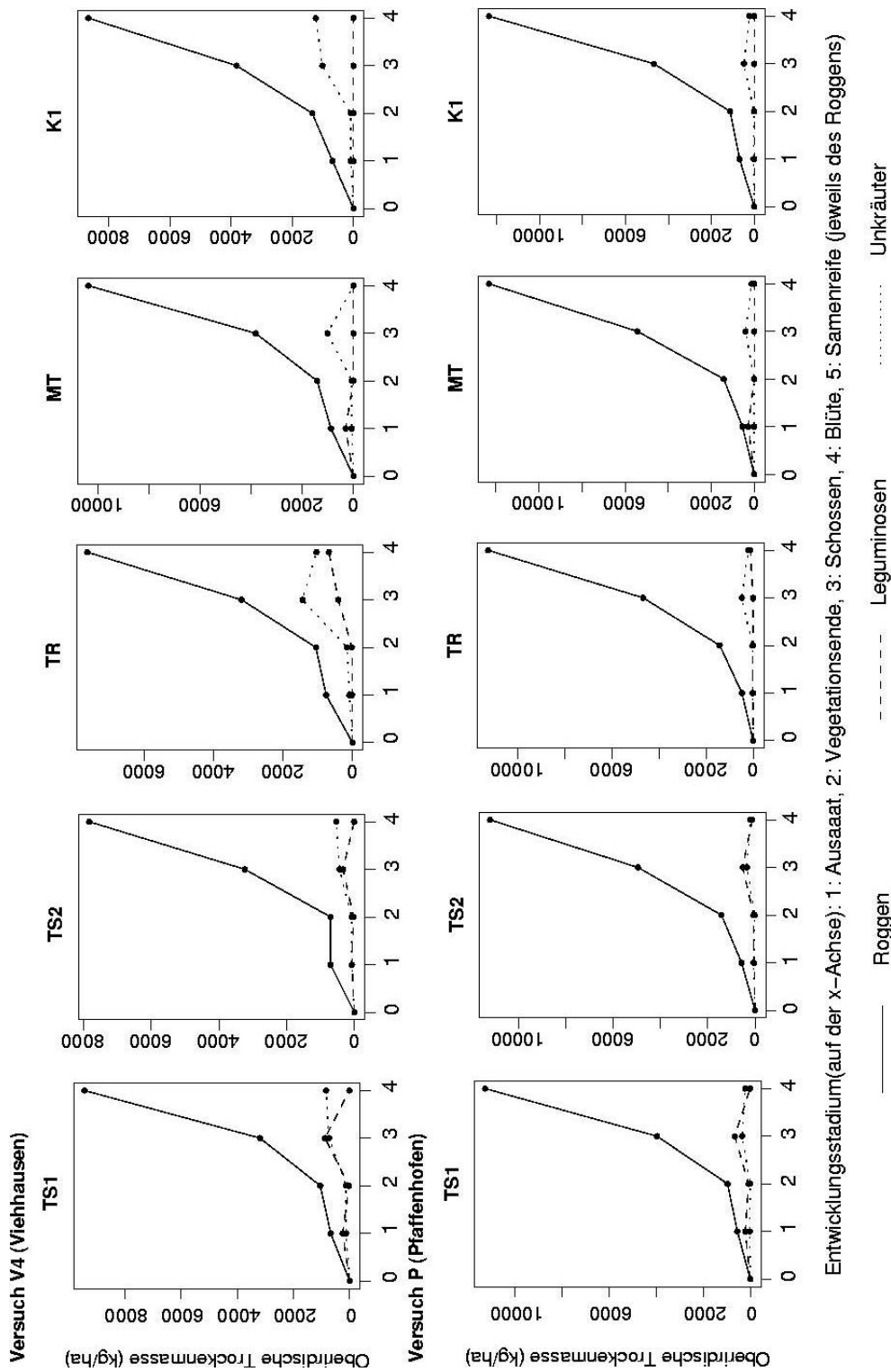


Abb. 27: Entwicklung der oberirdischen Biomassen (TM) im Ansaatjahr 2004/05 in den Versuchen V4 und P. Einige Varianten, in denen nur sehr geringe Leguminosenbiomassen vorhanden waren, sind ausgelassen.

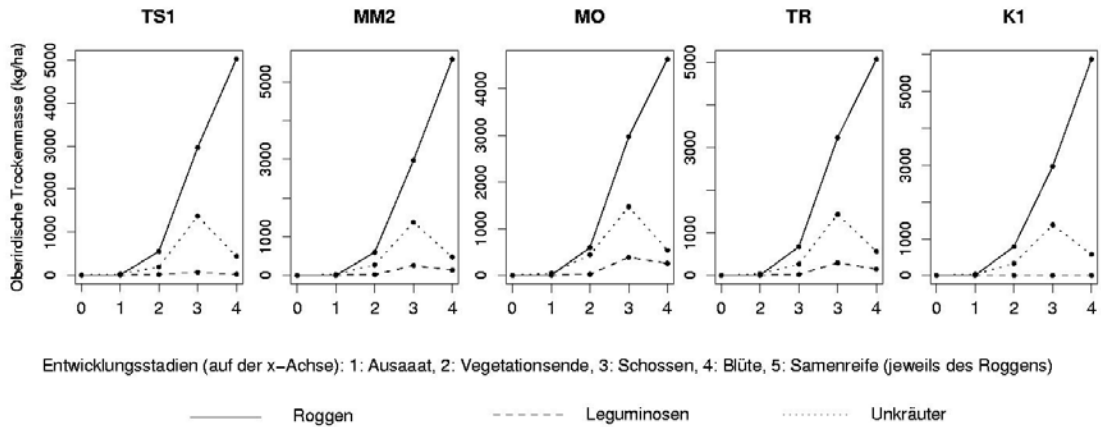


Abb. 28: Entwicklung der oberirdischen Biomassen (TM) im Ansaatjahr 2004/05 im Versuch D. Einige Varianten, in denen nur sehr geringe Leguminosenbiomassen vorhanden waren, sind ausgelassen.

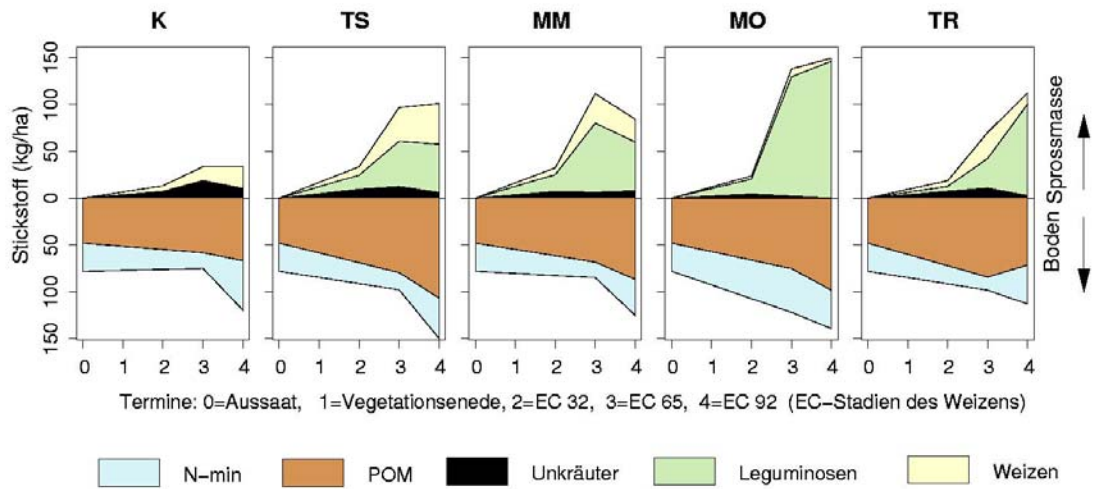


Abb. 29: N-Aufnahme in die oberirdische Pflanzliche Biomasse und Entwicklung der untersuchten N-Fractionen im Boden, Versuch V2

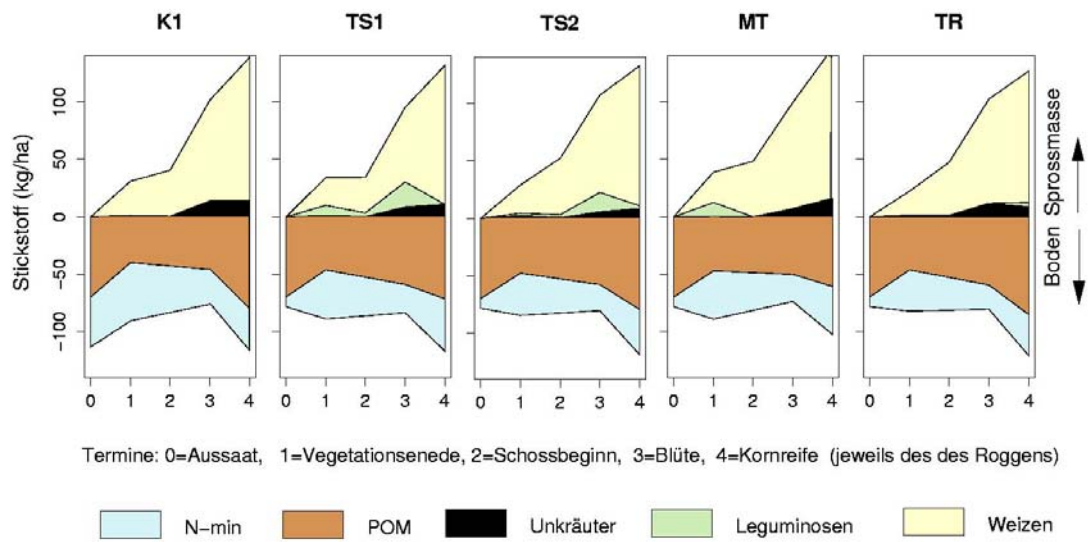


Abb. 32: N-Aufnahme in die Biomasse von Getreide, Leguminosen und Unkräutern, Versuch P