



# Fachforum Leguminosen

Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern

Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

#### **Impressum**

#### **Fachforum Leguminosen**

Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern

Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

#### Herausgeber

Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) c/o Thünen-Institut Bundesallee 50 38116 Braunschweig

#### **Ansprechpartner**

Martin Erbs, Martin Köchy Telefon: +49 (0) 531 596-1019/-1017

E-Mail: info@dafa.de

www.dafa.de

#### Redaktion, Inhalt, Konzept

Koordination und verantwortliche Autoren siehe Seite 42

#### **Layout und Gestaltung**

Thünen-Institut und N-Komm Agentur für Nachhaltigkeits-Kommunikation UG, Frankfurt

#### Bildnachweis

Maendy Fritz/TFZ (Titelbild, S. 12, 40, Rückseite); LariBat - adobe.stock (S.4, 11, 15, 22, 24, 25); Herwart Böhm/Thünen-Institut (S.6, 10, 23, 37, 43, 44); Peter Oetelshofen - adobe.stock (S.13); Tanja Möllman/Thünen-Institut (S. 35); Matauw - adobe.stock (S.38)

Symbole in Abbildung 4: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

#### Druck

Sigert GmbH Druck- und Medienhaus

**Stand** 8/2024

Die Forschungsstrategie ist als Volltext abrufbar unter www.dafa.de

ISBN 978-3-86576-280-1

DOI:10.3220/DAFA1724761353000

## Fachforum Leguminosen

#### Leguminosenanbau mit Mischkulturen erweitern

Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

#### Inhaltsverzeichnis

Da	s Wichtig	ste in Kürze	2		
1	Steigen	Steigende Nachfrage nach pflanzlichen Proteinen aus nachhaltiger Landwirtschaft			
2	Mischfruchtanbau zur Ausweitung des Leguminosenanbaus				
3	Forschu	ıngsbedarf zum Mischfruchtanbau mit Leguminosen	. 14		
	3.1 Pro	oduktion und Verwertung verbessern	. 20		
	3.1.1	Züchtung	. 22		
	3.1.2	Anpassung der Anbauverfahren	. 24		
	3.1.3	Etablierung von Mischkulturen	. 26		
	3.1.4	Pflanzengesundheit und Ernährung	. 27		
	3.1.5	Erntetechnik	. 28		
	3.1.6	Verarbeitung und Verwertung	. 29		
	3.2 Na	chfrage nach Produkten aus Mischanbau mit Leguminosen unterstützen	. 32		
	3.2.1	Verwendungsmöglichkeiten für die Tier- und Humanernährung entwickeln	. 32		
	3.2.2	Ernährungsumgebungen gestalten	. 33		
	3.3 Un	terstützung der Politikgestaltung	. 34		
	3.3.1	Bewertungsindikatorik	. 34		
	3.3.2	Politische Steuerung	. 35		
	3.3.3	Transdisziplinarität und Multiakteursansätze	. 36		
4	Konzep	tionelle Empfehlungen	. 38		
Beiträge zum Inhalt					
Mit	glieder d	er DAFA	. 44		

### Das Wichtigste in Kürze

Mit der Strategie zum Mischanbau mit Leguminosen erweitert die DAFA ihre 2012 veröffentlichte Strategie "Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft — Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen".

Die Produktion von heimischen Leguminosen (Hülsenfruchtarten z.B. Bohnen, Erbsen, Linsen, Wicken, Klee, Luzerne) unterstützt eine nachhaltige heimische Landwirtschaft und verringert die Abhängigkeit von importierten Eiweißfuttermitteln, deren Produktion in den Exportländern umweltschädliche Auswirkungen haben können. Mischfruchtanbau mit Leguminosen (auch Mischanbau, Mischkultur, Gemengeanbau) bedeutet, dass Leguminosen und andere Kulturen (vor allem Getreide) wie in einer Partnerschaft gleichzeitig mehr oder

weniger stark gemischt im selben Feld angebaut werden (Abb. I). Da Leguminosen Luftstickstoff fixieren können, wird im Allgemeinen weniger Dünger benötigt als für Reinkulturen ohne Leguminosen. Mischanbau kann so gestaltet werden, dass Schädlinge und Unkraut die Produktion weniger stark beeinflussen. Die blühenden Leguminosen im Mischanbau fördern Bestäuber und wirken sich damit günstig auf die Ökologie der Landschaft aus. Allerdings ist der Anbau von und mit Leguminosen derzeit schwieriger als der von Reinkulturen. Für Anbau, Verarbeitung und Vermarktung von heimischen Leguminosen fehlt oft die passende Technologie, sodass sich der Anbau rein wirtschaftlich gesehen unter den jetzigen Bedingungen oft noch nicht lohnt.

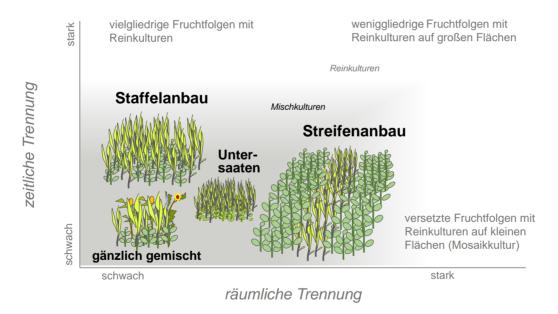


Abbildung I: Mischfruchtanbau in verschiedenen Formen im grau hinterlegten Bereich; die Abgrenzung von Mischkulturen zu Reinkulturen (im weißen Bereich) ist unscharf. (Nach Brooker et al. 2015, DOI: 10.1111/nph.13132, S. 107-117)

Damit die Vorteile von Leguminosen in größerem Umfang genutzt werden können, müssen die verwendeten Sorten, die Anbauverfahren, die Verarbeitung, die Vermarktung und die rechtlichen Bedingungen für die gesamte Wertschöpfungskette durch Forschung und Entwicklung verbessert werden. Die vorliegende Strategie zeigt, wie die Forschung zur Steigerung des Mischanbaus mit Leguminosen aus Sicht der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) am besten organisiert werden sollte. Sie baut dabei auf die 2012 von der DAFA veröffentlichte Forschungsstrategie zur Ausweitung des Anbaus von Leguminosen auf, die von der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL aufgenommen wurde und so zu einer Ausweitung des Leguminosenanbaus in Deutschland beigetragen hat. Die Forschung zur Unterstützung des Mischanbaus mit Leguminosen sollte sich, nach einer

grundsätzlichen Machbarkeitsstudie, an drei Stufen zunehmender Spezialisierung orientieren (Abb. II):



A "Klassischer Mischanbau" mit vorhandener Technik und vorhandenen Sorten, Ernte nur eines Partners oder Trennung der Partner nach der Ernte.



"Angepasster Mischanbau" mit angepasster Technik und angepassten Sorten, Trennung der Partner bei oder unmittelbar nach der Ernte.



C "Angepasster Mischanbau mit Gemischverwertung" mit angepasster Technik und angepassten Sorten, gemeinsamer Ernte und Verwertung des Gemisches (keine Trennung).

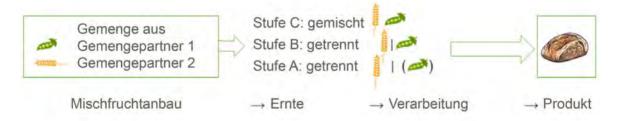


Abbildung II: Vom Anbau zum Produkt in den Stufen A, B und C: Übersicht über die in dieser Forschungsstrategie verwendeten Begriffe.

Mit der Spezialisierung von Mischanbausystemen steigen auch die Herausforderungen an die praktische Umsetzung, die Erfordernisse technischer Innovation, angewandter Forschung und Grundlagenforschung sowie die Notwendigkeit der (agrar-)politischen und nachfragegestützten Begleitung (Abb. III).



Abbildung III: Drei Stufen der Spezialisierung des Mischfruchtanbaus

In allen Stufen geht es darum, vorhandene Erfahrungen zu sammeln, aufzubereiten, auszuwerten und verfügbar zu machen. Daraus sollten die erfolgversprechendsten Mischanbausysteme abgeleitet werden, die zuerst verbessert werden sollten. Um die zeitaufwendige Züchtung neuer Sorten voranzubringen, muss diese schon von Anfang an unterstützt werden. Eine höhere Nachfrage von Leguminosen aus Mischanbau für Fütterung und menschliche Ernährung verbessert die Möglichkeiten für landwirtschaftliche und verarbeitende Unternehmen, damit Gewinn zu machen. Auch hier muss Forschung frühzeitig beauftragt werden, Wege zu zeigen und zu entwickeln, wie diese Nachfrage begünstigt werden kann. Zur Unterstützung von Forschungsförderern bei der Planung von Förderprogrammen gibt die Strategie auch Schätzungen für die Mindestbearbeitungsdauer von Forschungsaufgaben an - unter der Annahme, dass die sonstigen Voraussetzungen optimal sind. Aus diesen und

weiteren Überlegungen ergibt sich eine zweckmäßige Abfolge der Forschungsbereiche (Tabelle I) für die Produktion und die Wertschöpfungskette.

Erfahrungen im In- und Ausland zeigen, dass Mischanbau mit Leguminosen in vielen Fällen und unter den passenden Bedingungen gleichzeitig ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber Reinkulturen bieten kann. Geschickt eingesetzte Forschungsförderung kann dazu beitragen, diese Vorteile auf einer deutlich größeren Fläche als bisher zu erzielen.

Tabelle I: Bereiche mit wichtigem Forschungsbedarf im zeitlichen Ablauf und im Bezug zu den Stufen der Spezialisierung des Mischfruchtanbaus A (grau), B (grün) und C (hellgrün); Abbildung III. Die Jahresangaben sind als grobe Anhaltspunkte für Forschung und Entwicklung bei optimalen Bedingungen zu verstehen.



Steigende Nachfrage nach pflanzlichen Proteinen aus nachhaltiger Landwirtschaft







In den vergangenen Jahrzehnten ist die Landwirtschaft ökonomisch immer effizienter geworden. Die bis in die 2010er Jahre höhere Nachfrage nach Fleisch und Milchprodukten hat auch den Bedarf an Futtermitteln steigen lassen. Mit dem Abbau von globalen Handelsschranken hat sich die Eiweißfutterproduktion zu einem großen Teil ins Ausland verlagert<sup>1</sup>. Mittlerweile werden etwa 70 Prozent des heimischen Bedarfs an Eiweißkonzentrat importiert. Wegen der hohen Ansprüche der Leguminosen an die Kulturführung und deren geringe Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Importen lohnte ihr Anbau als Eiweißlieferant für Tiere und Menschen oft nicht mehr, ihre Anbaufläche in Deutschland sank 2008 auf drei Prozent - der geringste Stand nach der Wiedervereinigung (Abbildung 1). Gleichzeitig wurden Fruchtfolgen in Deutschland auf wenige Kulturen (vor allem Wintergetreide, Mais, Raps) verengt.

Anstelle der biologischen Stickstofffixierung mit Hilfe der Leguminosen wurden seit den 1950er Jahren sowohl mehr stickstoffhaltige Mineraldüngemittel als auch Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung eingesetzt<sup>2</sup>. Die engeren Fruchtfolgen erforderten einen höheren Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmitel. Agrarökosysteme und Agrarlandschaften sind parallel zu dieser Entwicklung funktionell, strukturell und ästhetisch verarmt. Die globale Nachfrage nach Futtermitteln führte zu einer Ausweitung der Anbaugebiete, insbesondere beim Sojaanbau in Südamerika, und trug damit zu einer umfangreichen Zerstörung ursprünglichen Waldes und Graslands bei. Diese nicht nachhaltige Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln wurde (und wird) von Wissenschaft und Gesellschaft kritisiert.

Vor diesem Hintergrund hat das damalige Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012 seine Eiweißpflanzenstrategie³ (EPS) verabschiedet. Es wurden Maßnahmen initiiert, mit denen - unter Berücksichtigung der internationalen Rahmenbedingungen - Wettbewerbsnachteile heimischer Eiweißpflanzen (Leguminosen wie Ackerbohne, Erbse und Lupinenarten sowie Kleearten, Luzerne und Wicke) verringert, Forschungslücken geschlossen und erforderliche Veränderungen in der Praxis erprobt und umgesetzt werden sollten. Mit der Eiweißpflanzenstrategie wurden Impulse zu Forschungsthemen und Forschungskonzepten aus der Forschungsstrategie Leguminosen⁴ der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) aufgenommen, die vorsah, entlang der Wertschöpfungskette - vom Prebreeding bis hin zu neuen Ernährungskonzepten - koordiniert Lösungen durch Forschung zu entwickeln.

Durch gestiegenen Anbau insbesondere von Körnerleguminosen betrug 2022 der Anteil von Futter- und Körnerleguminosen einschließlich des Anbaus in Mischkultur 5.1 Prozent der Ackerfläche (594 280 ha von 11 664 000 ha, Abbildung 1). Eine höhere Marktnachfrage, zunehmend aus der Lebensmittelverarbeitung, und Zahlungen im Rahmen der europäischen Gemeinsamen Agrarpolitik sind vermutlich die Hauptgründe für den Anstieg. Die Entwicklung wurde durch BMEL-geförderte Demonstrationsnetzwerke für verschiedene Leguminosen unterstützt. Um den Stand des Wissens zu erfassen, haben in einem Workshop der DAFA zum Thema "Leguminosen-Anbaufläche bis 2030 verdoppeln" im März 2022 über einhundert Personen aus Wissenschaft und Praxis zwei Tage intensiv zusammengearbeitet. Es wurde deutlich, dass es bisher nur wenige systemische Ansätze gab, die die Wertschöpfung durch Leguminosen in

<sup>&#</sup>x27;Zander, Peter; Amjath-Babu, T. S.; Preissel, Sara; Reckling, Moritz; Bues, Andrea; Schläfke, Nicole et al. (2016): Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review In: Agronomy for Sustainable Development 36 (2), Artikel 26, 20 Seiten. DOI: 10.1007/s13593-016-0365-y.

<sup>&</sup>quot;Volsin, Anne-Sophie; Gueguen, Jacques; Huyghe, Christian; Jeuffroy, Marie-Helene; Magrini, Marie-Benoit; Meynard, Jean-Marc et al. (2014): Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. In: Agronomy for Sustainable Development 34 (2), S. 361–380. DOI: 10.1007/s13593-013-0189-y.

"Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. 14 Seiten. Berlin.

Wiggering, Hubert; Finckh, Maria; Heß, Jürgen; Wehling, Peter; Michaelis, Thorsten; Bachinger, Johann et al. (2012): Fachforum Leguminosen: Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – osystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen: Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Braunschweig (ISBN 978-3-86576-092-0, DOI 10.3220/ DAFA1502799977000)

Deutschland so attraktiv gemacht hätten, dass Leguminosen auch breit in der Praxis angekommen wären. So fehlt bis heute eine Honorierung der Ökosystemleistungen, die unter anderem von Leguminosen erbracht werden. Einer der wichtigen Knackpunkte ist die geringere und unsicherere Vermarktungsmöglichkeit, die durch unzureichend entwickelte Vermarktungsstrukturen bedingt ist. Zudem schwankt die Produktion von Körnerleguminosen stärker als die von beispielsweise Wintergetreide<sup>5</sup>, so dass landwirtschaftliche Betriebe häufig andere Kulturen bevorzugen.

Der mit Beginn der 2020er Jahre erkennbare Trend zu weniger Milch- und Fleischkonsum<sup>6</sup> ist verbunden mit einer steigenden Nachfrage nach Alternativen für die Eiweißversorgung. Obwohl der heimische Leguminosenanbau seit 2014 wieder gestiegen ist (Abbildung 1), wird die Deckung der Nachfrage nach pflanzlichem Eiweiß für die Tier- und Humanernährung maßgeblich durch Importe erreicht<sup>7</sup>. Wie wichtig es ist, die Leguminosenproduktion in Deutschland zu steigern, rückt durch die aktuellen Entwicklungen noch deutlicher in den Fokus: Klima- und Biodiversitätskrise erfordern, den Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln zu reduzieren<sup>8,9</sup>. Ukrainekrieg, Energiekrise und die damit einhergehende Düngemittelknappheit führten zu extremen Preissteigerungen bei Düngemitteln, vor allem mineralischen N-Düngemitteln, und in Folge auch bei Lebensmitteln. Produzenten von Leguminosenerzeugnissen gehen davon aus, dass die Nachfrage nach pflanzenbetonter Ernährung in den kommenden Jahren weiter wachsen wird. Wenn dieser steigende Bedarf an Leguminosen durch deutlich mehr

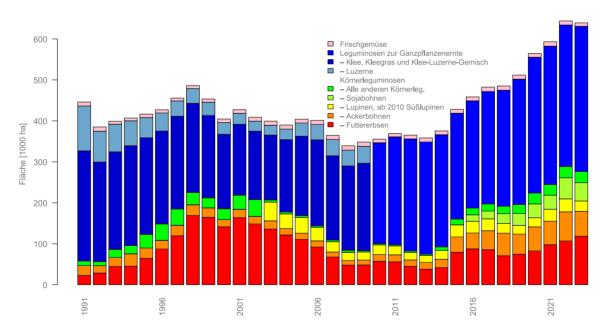


Abbildung 1:. Anbaufläche verschiedener Leguminosenkulturen 1991-2023 in Deutschland nach eurostat

<sup>\*</sup>Reckling, Moritz; Döring, Thomas F.; Bergkvist, Göran; Stoddard, Frederick L.; Watson, Christine A.; Seddig, Sylvia et al. (2018): Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. In: Agronomy for Sustainable Development 38 (6), Artikel 63, 10 Seiten. DOI: 10.1007/s13593-018-0541-3.

<sup>\*</sup>Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2023): Fleischverzehr 2022 auf Tiefstand. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/230403\_ Fleischverzehr.html, zuletzt aktualisiert am 03.04.2023, zuletzt geprüft am 13.04.2023.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024): Versorgungsbilanz Hülsenfrüchte. Online verfügbar unter https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung/versorgungsbilanzen/huelsenfruechte, zuletzt geprüft am 28.02.2024.

<sup>\*</sup>Möckel, Stefan; Gawel, Erik; Liess, Matthias; Neumeister, Lars (2021): Wirkung verschiedener Abgabenkonzepte zur Reduktion des Pestizideinsatzes in Deutschland – eine Simulationsanalyse Hg. v. GLS Bank und GLS Bank Stiftung. Online verfügbar unter https://www.gls.de/media/PDF/Presse/Studie\_Pestizid-Abgabe\_in\_Deutschland\_2021.pdf, zuletzt geprüft am 03.05.2023.

\*IPCC (2022): Summary for Policymakers. Unter Mitarbeit von Hans-O. Pörtner, Debra C. Roberts, Elvira S. Poloczanska, Katja Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria et al. In: IPCC (Hg.): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Hans-O. Pörtner, Debra C. Roberts, M. Tignor, Elvira S. Poloczanska, Katja Mintenbeck, A. Alegria et al. Cambridge, U.K. and New York, NY, U.S.A.: Cambridge University Press, S. 3–33.

heimische Leguminosen gedeckt werden soll, müssen folgende Fragen beantwortet werden: Wie kann der Pflanzenbau in Deutschland der erhöhten Nachfrage nachkommen? Wie kann der Anbau von Leguminosen an Attraktivität gewinnen? Wie kann die Agrarforschung dabei am besten unterstützen?

Eine der wichtigsten agrarökologischen Erkenntnisse im letzten Jahrzehnt ist, dass Ertragsstabilität und Produktivitätssteigerungen insgesamt durch den Mischfruchtanbau erreicht werden können, also dadurch dass mehrere Ackerbaukulturen (Ackerfruchtarten) auf einer Fläche (auch Mischkultur oder Gemenge genannt, Kapitel 2) angebaut werden. Eine globale Metastudie zeigt einen durchschnittlichen positiven Ertragseffekt von 1,5 t ha<sup>-1</sup> und eine deutliche Einsparung der Fläche (16-29 %) und Düngemittel (19-36 %) von Mischkulturen im Vergleich zu Reinsaaten<sup>10</sup>. In der Studie wurden 934 Vergleichspaare von Mischanbau und Reinsaat von konventionellen und ökologischen Experimenten verglichen, Metastudien für Deutschland sind nicht vorhanden. In der Praxis sind Ertragseffekte sehr variabel und müssen differenziert nach Standort und Artenkombination bewertet werden. Das Mikrobiom hat im Mischfruchtanbau offenbar eine wichtige Mittlerfunktion<sup>11</sup>, allerdings sind wichtige Prozesse noch nicht ausreichend untersucht. Darüber hinaus kann Mischfruchtanbau im konventionellen Anbau den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln und deren negative Umweltwirkungen reduzieren<sup>12</sup>. Leguminosen sind für den Mischfruchtanbau prädestiniert. Sie können sich durch ihre Symbiose mit Knöllchenbakterien (Rhizobien) nahezu vollständig selbst mit Stickstoff versorgen und in einigen Fällen auch zusätzlich dem Boden Stickstoff zuführen. Ressourcenkomplementarität ist deshalb im

Mischfruchtanbau von Leguminosen mit Nichtleguminosen ein wichtiges Ziel. Leguminosen erhöhen die Diversität der Kulturen auf einem Ackerschlag und in der Landschaft. Dadurch kann sich auch die Widerstandsfähigkeit gegen biotischen und abiotischen Stress erhöhen: der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und mineralischen N-Düngemitteln kann verringert werden. Mischkulturen mit Leguminosen bieten somit zusätzliche ökologische und betriebliche Vorteile gegenüber Reinkulturen, stellen aber auch zusätzliche Herausforderungen, vor allem in der Kulturführung, Verarbeitung und Vermarktung dar. Diese Erkenntnis hat sowohl auf Ebene der EU als auch des Bundes die Bemühungen gestärkt, Mischfruchtanbau zu fördern. Allerdings zögert die Praxis, in den Mischfruchtanbau einzusteigen, solange die Abnahme und Verarbeitung von Produkten aus diesen Systemen nicht zufriedenstellend gesichert und auch für die Betriebe eine Wertschöpfungssteigerung erzielt werden kann. Es ist deshalb im gesellschaftlichen Interesse, dass Forschung und Innovation sowohl zur Produktions- und Diversitätssteigerung als auch zur besseren wirtschaftlichen Verwertung von Erzeugnissen aus Mischfruchtanbau beitragen.

Die DAFA hat daher auf Basis der Ergebnisse des Workshops im März 2022 und weiterer Diskussionen ihre Forschungsstrategie Leguminosen um das Thema Mischfruchtanbau erweitert. Ziel der vorliegenden Strategie ist es, mit der vorgeschlagenen Forschung den Mischfruchtanbau mit Leguminosen für die Praxis attraktiver zu machen. So kann die Landwirtschaft positiv auf die Ökosystemfunktionen in einer Landschaft wirken und damit im gesellschaftlichen Interesse einen deutlichen Beitrag zur Stabilisierung und Diversifizierung unserer Agrar- und Ernährungssysteme leisten.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Li, Chunjie; Hoffland, Ellis; Kuyper, Thomas W.; Yu, Yang; Zhang, Chaochun; Li, Haigang et al. (2020): Syndromes of production in intercropping impact yield gains. In: Nature Plants 6 (6), S. 653–660, DOI: 10.1038/s41477-020-0680-9.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Stefan, Laura; Hartmann, Martin; Engbersen, Nadine; Six, Johan; Schöb, Christian (2021): Positive effects of crop diversity on productivity driven by changes in soil microbial composition. In: Frontiers in Microbiology 12, Artikel 660749, 16 Seiten. DOI: 10.3389/fmicb.2021.660749.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Jensen, Erik Steen; Carlsson, Georg; Hauggaard-Nielsen, Henrik (2020): Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. In: Agronomy for Sustainable Development 40 (1) Artikel 5, 9 Seiten. DOI: 10.1007/s13593-020-0607-x.

# 2 Mischfruchtanbau zur Ausweitung des Leguminosenanbaus







Beim Misch(frucht)anbau wird mehr als eine Art (im Folgenden "Gemengepartner" genannt) gleichzeitig auf einer Fläche angebaut (Abbildung 2). Typische Formen des Mischanbaus sind: ein-, überjährig und mehrjährige Mischungen (z.B. Gräser mit Klee im Grünland oder Ackerfutterbau), Gemenge mit (nahezu) gleichzeitiger Aussaat und Ernte (z.B. Erbse-Gerste, Weizen-Ackerbohne, Linse-Gerste), Beisaaten (z.B. abfrierende Leguminosen in Winterraps), Untersaaten (z.B. Klee und Gräser in Roggen), Staffelanbau (zeitlich überlappender Anbau in Reihen - relay cropping, z.B. Soja zwischen Winterweizen) und Streifenanbau mit getrennter Ernte (u.a. große Flächen in China mit z.B. Weizen-Ackerbohne<sup>13</sup>). Mischanbau kann auch Stauden und Gehölze umfassen.

Mischanbau führt zu vergleichbaren oder höheren Gesamtbiomasseerträgen je Flächeneinheit, zu einer Verminderung von Unkraut, Schadinsekten und Krankheiten gegenüber Reinkulturen und erlaubt eine Risikostreuung

bei Mindererträgen einer der Kulturen des Mischanbaus<sup>14,15,16</sup>. Demgegenüber ist die Kulturführung einer Reinkultur oftmals einfacher als die einer Mischkultur. Da unsere Agrarsysteme bisher auf hohe Produktivität im Reinkulturanbau ausgerichtet sind und andere Ökosystemleistungen nicht im Fokus standen, sind über viele Jahre auch Anbauverfahren, Verarbeitung und Züchtung auf Reinkulturen ausgerichtet und verbessert worden, während Erfahrungen und Kompetenzen für Mischanbau und dessen Erzeugnisse kaum weiterentwickelt wurden oder mit der Zeit sogar verloren gegangen sind. Gemenge können aktuell kaum vermarktet werden und die Kosten für die Trennung und Reinigung müssen die Erzeuger tragen. Deshalb sind gegenwärtig Reinkulturen betriebswirtschaftlich in der Regel profitabler als Mischanbau.

Die Wahl der Art des Mischfruchtanbaus und der Gemengepartner richtet sich für einen landwirtschaftlichen Betrieb nach dem Ziel:





<sup>13</sup> Li. Long: van der Werf, Wooke: Zhang, Fusuo (2021): Crop diversity and sustainable agriculture: mechanisms, designs and applications. In: Frontiers of Agricultural Science and Engineering 8

<sup>\*</sup>Böhm. Herwart: Dauber. Jens; Dehler. Marcel: Amthauer Gallardo. Daniel A.: Witte. Thomas de: Fuß. Roland et al. (2020): Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. In: Journal für Sultrupflanza PZ (10-11), S. 489–509, DOI: 10.5073/JIK.2020.10-11.01.

\*Alarcón-Segura, Viviana; Grass, Ingo; Breustedt, Gunnar; Rohlfs, Marko; Tscharntke, Teja (2022): Strip intercropping of wheat and oilseed rape enhances biodiversity and biological pest control

in a conventionally managed farm scenario. In: Journal of Applied Ecology, 59 (6), S. 1513–1523. DOI: 10.1111/1365-2664.14161.

18 Li, Xiao-Fei; Wang, Zhi-Gang; Bao, Xing-Guo; Sun, Jian-Hao; Yang, Si-Cun; Wang, Ping et al. (2021): Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping. In: Nature Sustainability 4 (11), S. 943-950, DOI: 10.1038/s41893-021-00767-7.

Ertragserhöhung, Ertragsabsicherung, Qualität, phytosanitäre Maßnahme, Vermeidung von Lager (niederliegender Wuchs) oder Investition in die Bodengesundheit. Standort, Klima und Sortenverfügbarkeit schränken die Auswahl an Gemengepartnern ein, weil diese in Statur, Ökologie und Phänologie aufeinander abgestimmt sein müssen, um den größten Nutzen aus dem Mischfruchtanbau zu ziehen. Schließlich müssen die technischen Möglichkeiten der gemeinsamen oder getrennten Aussaat, der gemeinsamen oder getrennten Ernte sowie die Verwertungs- und Vermarktungsmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Eine auf den Mischfruchtanbau ausgelegte Forschungsförderung erfordert aufgrund der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten zusätzliche finanzielle Investitionen aus Bundes- und Landesmitteln, insbesondere wenn Technologien neu konzipiert werden und parallele Züchtungsprogramme für eine Reihe von Kulturen aufgebaut werden müssen. Um diesen finanziellen Aufwand zu rechtfertigen, sollte im Vorfeld das Potenzial des Mischfruchtanbaus unter Berücksichtigung von geeigneten Anbauregionen, Anbaupausen und Fruchtfolgen abgeschätzt werden (Machbarkeitsstudie), d.h. auf wieviel Fläche können voraussichtlich welche Mengen an pflanzlichem Protein produziert werden und welche Minderproduktion an Getreide oder anderen Kulturen würde damit einhergehen. Entscheidend für die Akzeptanz in der Praxis ist, dass der Mehrwert des Mischfruchtanbaus nicht nur an ökologischen Größen festgemacht wird, sondern auch eine ökonomische Bewertung erfolgt.

Die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten und Anbauverfahren des Mischfruchtanbaus stellt für Forschung und Praxis die Herausforderung dar, für gegebene Bedingungen die passende Empfehlung zu geben und Entscheidungen zu treffen. Zur Unterstützung der Praxis bei diesen Herausforderungen ergeben sich fünf Forschungsbereiche:



Verbessertes Verständnis der pflanzenbaulichen und ökologischen Wechselwirkungen zwischen den Gemengepartnern – auch zur Entwicklung von Modellen



Züchterische Anpassung der Gemengepartner an verschiedene Formen des Mischanbaus



Weiterentwicklung der Anbauverfahren auch mit neuen technischen Verfahren (Saat, Pflanzenschutz, Düngung, Ernte)



Anpassungen der Verarbeitungsverfahren bei gemeinsamer Ernte



Verbesserung der Verwertungsund Vermarktungsmöglichkeiten der einzelnen Gemengepartner oder des gemischten Erntegutes zur Steigerung von Qualität und Erhöhung der Wertschöpfung

Die erforderliche Forschung wird in den folgenden Abschnitten näher dargestellt und muss zusätzlich zur Forschung für den Leguminosenanbau an sich erfolgen.

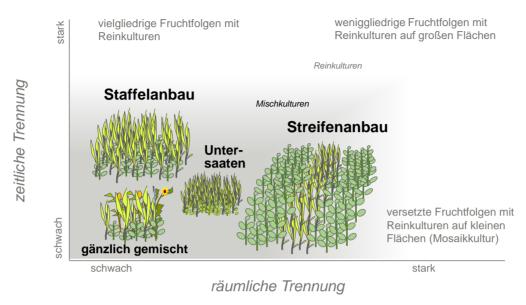


Abbildung 2: Mischfruchtanbau in verschiedenen Formen im grau hinterlegten Bereich; die Abgrenzung von Mischkulturen zu Reinkulturen (im weißen Bereich) ist unscharf. (Nach Brooker et al. 2015<sup>17</sup>)





<sup>&</sup>quot;Brooker, Rob W.; Bennett, Alison E.; Cong, Wen-Feng; Daniell, Tim J.; George, Timothy S.; Hallett, Paul D. et al. (2015): Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. In: The New Phytologist 206 (1), S. 107–117. DOI: 10.1111/nph.13132.

3 Forschungsbedarf zum Mischfruchtanbau mit Leguminosen Der Forschungsbedarf zur Unterstützung des Mischfruchtanbaus mit Leguminosen muss sich vorausschauend an der beabsichtigten Entwicklung des Mischanbaus und der Verwertung der Ernteprodukte orientieren. Dabei ist es sinnvoll, drei Stufen zunehmender Spezialisierung zu unterscheiden:



A "Klassischer Mischanbau" mit vorhandener Technik und vorhandenen Sorten, Ernte nur eines Partners oder Trennung der Partner nach der Ernte.



Angepasster Mischanbau" mit angepasster Technik und angepassten Sorten, Trennung der Partner bei oder unmittelbar nach der Ernte.



C "Angepasster Mischanbau mit Gemischverwertung" mit angepasster Technik und angepassten Sorten, gemeinsamer Ernte und Verwertung des Gemisches (keine Trennung).

Mit der Spezialisierung von Mischanbausystemen (Abbildung 3) steigen auch die Herausforderungen an die praktische Umsetzung, die Erfordernisse technischer Innovation. angewandter Forschung Grundlagenforschung, sowie die Notwendigkeit der (agrar-)politischen und nachfragegestützten Begleitung. Die Entwicklung der Mischanbausysteme muss für jede Stufe (A, B und C) entlang der gesamten Wertschöpfungskette durch spezifische und allgemeinere Erkenntnisse aus der Forschung vorangetrieben und unterstützt werden. Im Folgenden charakterisieren wir die einzelnen Stufen der Spezialisierung des Mischanbaus und gehen in den anschließenden Abschnitten dieses Kapitels auf den Forschungsbedarf näher ein.



Abbildung 3: Drei Stufen der Spezialisierung des Mischfruchtanbaus

A Klassischer Mischfruchtanbau mit vorhandener Technik und vorhandenen Sorten

Solange der Anteil des Mischanbaus an der gesamten Ackerfläche in Deutschland noch eine Nische bleibt, erschwert die geringe Verbreitung des Mischanbaus eine zu anderen Anbausystemen betriebswirtschaftlich konkurrenzfähige Verarbeitung und Vermarktung des Gemenges. Dadurch fehlt ein unmittelbarer betriebswirtschaftlicher Anreiz für landwirtschaftliche Betriebe, sich auf Mischanbau einzulassen. Mischfruchtanbau kann in unterschiedlichster Weise erfolgen. Deshalb sollte zunächst der Fokus darauf gelegt werden, die innerbetrieblichen Vorteile von Mischkulturen mit Leguminosen - Erweiterung der Fruchtfolge, geringerer Düngemitteleinsatz, Einsparung von Pflanzenschutzmitteln¹⁵, Bodenverbesserung<sup>16</sup> – vor allem für konventionelle Betriebe, die bisher kaum Leguminosen anbauen, valide zu quantifizieren, transparenter und bekannter zu machen.

Für Ökobetriebe kann der Mischanbau eine Ergänzung zum Anbau von Körnerleguminosen in Reinsaat und von Futterleguminosen sein. Die Wirkungen für die Fruchtfolgen im ökologischen Pflanzenbau, die sich daraus ergeben, sind allerdings bisher nicht abschätzbar.

Mischkulturen sollen einen Einstieg in oder eine Ergänzung zum bestehenden Leguminosenanbau bieten. Es erscheint daher sinnvoll, zunächst im Austausch mit Praktikerinnen und Praktikern Systeme zu identifizieren, die am erfolgversprechendsten erscheinen und diese prioritär zu beforschen. Ebenso sollten Standorteigenschaften identifiziert werden, bei denen Mischkulturen auch betriebswirtschaftlich

Reinkulturen überlegen sind ⇒ 3.1.2.1 *Vergleich von Anbauverfahren*. Betriebe könnten sich zum Einstieg in den Mischanbau für eine Hauptfrucht und eine Begleitfrucht entscheiden mit dem Ziel, nur die Hauptfrucht zu ernten und die Begleitfrucht als "unterstützenden" Gemengepartner entsprechend der Situation zu wählen (z.B. eine Untersaat zur Unkrautunterdrückung oder für die Stickstoffanreicherung; Abbildung 4). Die dringlichste Forschungsaufgabe ist daher, Erfahrungen der Praxis und wissenschaftliche Studien hierzu systematisch auszuwerten, darzustellen und die Ergebnisse nutzbar zu machen. ⇒ 3.1.2 *Anpassung der Anbauverfahren* 

Mit vorhandenen Sorten und vorhandener Saatund Erntetechnik ist oft keine optimale Kulturführung im Mischanbau möglich und führt zu niedrigeren Erträgen als es mit angepassten Sorten und Kulturverfahren erreicht werden könnte. So bedarf es z.B. einer zeitlich und räumlich präzisen Düngung von Stickstoffzehrern wie Mais im Gemenge mit Bohnen. Ebenfalls sind viele Arten und Sorten nicht auf die Konkurrenzbeziehungen im Mischanbau angepasst. Auch im Mischanbau kann chemischer Pflanzenschutz notwendig sein; die entsprechenden Mittel sind aber häufig nicht für alle Kulturen in den Mischungen zugelassen. ⇒ 3.1.4 *Pflanzengesundheit* 

B Angepasster Mischfruchtanbau mit angepasster Technik und angepassten Sorten

Je stärker die Kulturführung auf Mischanbau ausgerichtet ist, desto stärker können Vorteile des Mischanbaus realisiert werden. Erfahrungen aus Forschung und Praxis sollten zu Empfehlungen für die häufigsten Mischkulturen

zusammengefasst werden und folgende Themen umfassen: Saatbettbereitung, Saatstärke, Saattiefe, zeitlichen Abstand und räumliche Anordnung der Aussaat (einreihig, mehrreihig, gemischt, zeitliche Überlappung, Reihenweite), Pflanzengesundheit sowie Erntemethoden (bei mehrreihigen Mischkulturen z.B. zeitversetzte Ernte und dadurch Beeinflussung der später zu erntenden Kultur durch Überfahrten) und Aufbereitung.

Während im einfachsten Fall die Mischkulturen gleichzeitig und gleich tief eingesät werden, können sie durch angepasste Aussaattechnik zeitlich und räumlich differenziert und an die Physiologie der Arten angepasst ausgesät werden. ⇒ 3.1.3 Etablierung

Sowohl die einzelnen Gemengepartner als auch das Gemenge als Mischung kann wirtschaftlich genutzt werden. Für eine Vermarktung der Mischung als Futter, für die Humanernährung oder als Rohstoff fehlen jedoch noch etablierte Verarbeitungs- und Vermarktungsstrukturen. Es ist daher unter diesem Gesichtspunkt zunächst erfolgversprechender, die Gemengepartner getrennt zu ernten (nur bei einem räumlich oder zeitlich versetzten Mischanbau möglich; Abbildung 4) oder die Gemengepartner gemeinsam zu ernten und unmittelbar nach der Ernte zu trennen. Die erforderliche technische Lösung zur einzelnen und getrennten Ernte der Gemengepartner hängt von der Form des Mischanbaus ab. Übliche Erntetechnik ist hier nur begrenzt nutzbar: die Trennverfahren müssen für die möglichen Kombinationen der Gemengepartner optimiert oder neu entwickelt werden. ⇒ 3.1.5 Erntetechnik

Die größere Heterogenität des Erntegutes betrifft auch dessen Feuchtigkeitsgehalt und damit

die Lagerfähigkeit. Wenn die Gemengepartner erst nach der Ernte (Stufen A und B) oder gar nicht getrennt werden (Stufe C), müssen für die Lagerung die Verfahren zur Trocknung oder Belüftung und der Schutz vor Lagerschädlingen verbessert werden. ⇒ 3.1.6 Verarbeitung und Verwertung

Die fehlenden Verwertungs- und Vermarktungsmöglichkeiten für in Betracht kommende Gemengepartner, falls diese nicht vollständig getrennt werden können oder neuartige Kulturen umfassen, führen dazu, dass diese deshalb seltener angebaut werden. Um aus diesem sich selbstabschwächenden Kreislauf herauszukommen, ist es wichtig, auch für neue oder bisher unbedeutende Gemengepartner das Erntegut aus kleineren, verstreut produzierten Chargen für eine wirtschaftliche Vermarktung zu größeren Einheiten zusammenführen und Verarbeitungs- und Vermarktungsstrukturen aufzubauen. In der Schweiz hat ein solches System dazu beigetragen, dass sich der Gemengeanbau von 2009 bis 2020 mehr als verzehnfacht hat.18 ⇒ 3.1.6 Verarbeitung und Verwertung

Mit der Züchtung von Sorten, die besser an die Erfordernisse des Mischanbaus und der Vermarktung der Ernte angepasst sind, muss wegen der langen Entwicklungsdauer von über 10 Jahren frühzeitig begonnen werden. ⇒ 3.1.1 Züchtung

Gleichzeitig muss die Verwendung von Produkten aus Mischanbau wachsen: denn nur, wenn die Nachfrage steigt, wird der Mischanbau zunehmen. Dementsprechend kann sozial- und gesellschaftswissenschaftliche Forschung der Politik Wege empfehlen, wie günstige Ernährungsumgebungen gestaltet werden können. ⇒3.2 Nachfrage nach Produkten aus Mischan-

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup>FiBL Film (2020): Mit Mischkulturen die einheimische Eiweiss-Versorgung erhöhen – Erfolgsgeschichte (Diverimpacts). Online-Video. Online verfügbar unter https://youtu.be/pnVUBqmgyLc?t=375, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

bau mit Leguminosen unterstützen, 3.3 Unterstützung der Politikgestaltung

C Angepasster Mischfruchtanbau und Gemischverwertung

Mit zunehmender Erfahrung der Landwirte und mit stärkerer Verbreitung von Mischanbau wird es attraktiver, Techniken zur gleichzeitigen Ernte von zwei oder mehr Gemengepartnern sowie dafür angepasste Sorten zu entwickeln. In der Folge werden für die weitere Verarbeitung entweder große Kapazitäten zur Trennung des gemischten Erntegutes benötigt oder – wie hier beschrieben – eine Möglichkeit, das Mischgut ohne vorherige Trennung weiterzuverarbeiten (Abbildung 4). Zur Zeit ist diese Form der Verwertung eher als Nische zu sehen, könnte aber in Zukunft die Ausweitung des Mischanbaus deutlich steigern.

Innerbetrieblich wird bereits heute Mischgut aus Mischanbau in der Fütterung eingesetzt. Parallel sollten aber Wege zur Verarbeitung von Gemischen außerhalb des Betriebes in der Lebensmittelherstellung entwickelt werden. Erfahrung besteht z.B. bereits in der Verwer-

tung von gemischtem Mehl aus Weizen und Erbsen oder Weizen und Ackerbohnen<sup>19</sup>. Hier sind Forschung und Industrie aufgerufen, die Grundlagen der Verwertungsmöglichkeiten bei verschiedenen Schritten der Lebensmittelverarbeitung gemeinsam mit der Praxis weiter zu entwickeln. Sowohl schnelle und preiswerte Analyseverfahren des heterogeneren Rohmaterials bei der Ernte oder bei den folgenden Verarbeitungsschritten als auch effiziente Grobtrennung und Wiedervermischung oder Beimischung sind hier mögliche Wege, um die von der Industrie bevorzugten homogenen (Zwischen-)Produkte mit bekannten Eigenschaften zu erhalten. ⇒ 3.1.6 Verarbeitung und Verwertung

Die Verwendung von Mischungen in der Lebensmittelverarbeitung kann deshalb den Mischfruchtanbau deutlich fördern. Dies lässt sich am Beispiel Ackerbohnenbrot verdeutlichen. Zurzeit werden die Mehlsorten in der Bäckerei gemischt. Das Mehl könnte aber auch schon in der Mühle aus zwei reinen Sorten gemischt werden. Drittens könnte das Mehl auch in der Mühle aus einem Hauptanteil gemahlenen Weizen-Ackerbohnengemisch aus direkter

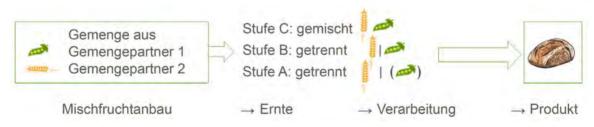


Abbildung 4: Vom Anbau zum Produkt in den Stufen A, B und C: Übersicht über die in dieser Forschungsstrategie verwendeten Begriffe.

<sup>18</sup> Brotbüro; Naturland; Demonetzwerk Erbse–Bohne (2019): Leitfaden für Bäckereien zum Backen mit heimischen Ackerbohnen und Körnererbsen. Online verfügbar unter https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents\_E-1915284073/MLR.LEL/PB5Documents/ltz\_ka/
Arbeitsfelder/Eiwei%C3%9Fpflanzen/Eiwei%C3%9Finitiative/Aktion%20Eiwei%C3%9Fbrot/Leitfaden\_Baeckereien\_DemoNetErBo\_brotbuero190426.pdf. zuletzt geprüft am 22.09.2023.

Ernte, je nach Zusammensetzung mit Weizenoder Ackerbohnenmehl aufgemischt werden.

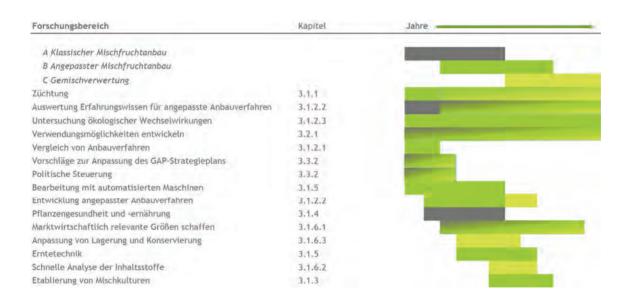
Da zunächst nur wenige Betriebe Erfahrungen mit der Verarbeitung von Gemischen aus Gemengeanbau haben und geeignete Verarbeiter meist nicht in unmittelbarer Nähe liegen, sollten Systeme zur Sammlung und Verwertung kleiner Chargen entwickelt und in der Praxis getestet werden. Dieses System sollte sinnvollerweise gemeinsam mit der unter B (angepasster Mischfruchtanbau) genannten Verwertung von Gemengepartnern geplant werden. Es sollte auch untersucht werden, unter welchen

wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen und mithilfe welcher möglicher Fördermöglichkeiten diese Systeme etabliert werden können.

#### Forschungsbedarf im zeitlichen Ablauf

Die im Folgenden beschriebene, notwendige Forschung erfordert unterschiedlich lange Zeiträume. Daraus ergibt sich, angepasst an die Stufen der Spezialisierung des Mischanbaus, eine zeitliche Abfolge der Forschung (Tabelle 1), die bei der Forschungsförderung berücksichtigt werden sollte.

Tabelle 1: Bereiche mit wichtigem Forschungsbedarf im zeitlichen Ablauf und im Bezug zu den Stufen der Spezialisierung des Mischfruchtanbaus A (grau), B (grün) und C (hellgrün); Abbildung 3. Die Jahresangaben sind als grobe Anhaltspunkte für Forschung und Entwicklung bei optimalen Bedingungen zu verstehen.



### 3.1 Produktion und Verwertung verbessern

Zur Erreichung der eingangs genannten Ziele kann Forschung mit lösungsorientierten Empfehlungen an die Praxis und die Politik beitragen. Dazu gehören auch interdisziplinäre Voruntersuchungen, um zu identifizieren, was insgesamt im Interesse der Gesellschaft ist und durch politische Instrumente und Innovationsförderung aus öffentlichen Mitteln unterstützt werden muss, und was Aufgabe der klassischen unternehmerischen Marktforschung und Entwicklung darstellt.

Die großen Fortschritte in der Landwirtschaft der letzten Jahrzehnte sind durch technologische Entwicklungen entstanden und durch betriebswirtschaftliche Anreize befördert worden. Im nächsten Jahrzehnt werden Maschinen und Anlagen mit Blick auf die beabsichtigte Anwendung, die Digitalisierung und den Einsatz Künstlicher Intelligenz weiterentwickelt werden. Die Forschungsförderung muss dabei beachten, dass Feldroboter und KI-Verfahren nicht einseitig für Reinkulturen entwickelt werden, sondern sie muss auch solche fördern, die mit der Heterogenität von Mischkulturen umgehen können. Anbauverfahren mit Mischkulturen haben größere ökologische und oft auch betriebliche Vorteile und sollten daher eine eigenständige Forschungsförderung erhalten.

Um deutschlandweit im Mischanbau zu den Stufen B und C zu gelangen, besteht Bedarf für Innovationen zur Unterstützung des Mischfruchtanbaus von Leguminosen in den Bereichen Züchtung, Kulturführung (Anlage, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte), Verarbeitung (mit Verwertung und Verwendung), Betriebswirtschaft, Vermarktung und politische För-

derung. Dabei sind eine engere Abstimmung und Rückkopplung zwischen Züchtung, Anbau, Technikherstellern, Verarbeitung, Vermarktung und politischer Förderung notwendig.

Die Maschinen, Anlagen und Techniken zur Kulturführung und zur Verarbeitung des Ernteguts, die momentan für Stufe A zur Verfügung stehen, wurden für die klassischen Anbausysteme mit Reinkulturen entwickelt. Die Einheitlichkeit des Pflanzenmaterials und des Standorts ermöglichen eine wirtschaftlich effiziente Bearbeitung mit großen Maschinen auf großen Flächen. Für den Mischanbau, der sich ja gerade durch räumliche Unterschiede auszeichnet, eignen sich diese Maschinen und Techniken zum Teil weniger gut. Übergangsweise sind technische Lösungen wichtig, die es ermöglichen, vorhandene Geräte umzurüsten. Ein Ersatz von bestehender, funktionsfähiger Technik ist wegen des finanziellen Aufwands derzeit noch eine große Hemmschwelle für landwirtschaftliche Betriebe. Auf lange Sicht hin muss allerdings Agrartechnik für den Gemengeanbau und nicht nur für Reinkulturen entwickelt werden.

Aussaat, mechanische Unkrautbehandlung und Körnertrennung nach der Ernte wurden 2006 von dem Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des deutschen Bundestages noch als größte Hindernisse für den Mischanbau genannt<sup>20</sup>. Inzwischen gibt es zwar Maschinen, die verschiedene Saatgutarten in unterschiedlichen Tiefen ablegen können, aber es fehlen zum Beispiel noch Separierungsmodule für Mähdrescher. Für eine stärkere Ausweitung des Mischfruchtanbaus zu den Stufen B und C reicht es aber nicht, bestehende Technologien in kleinen Schritten anzupassen. Zum Beispiel könnten Schwärme leichterer, elektrisch betriebener und autonom agierender

<sup>20</sup>Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung [des deutschen Bundestages] (2006): Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale : 1. Bericht: Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren. Online verfügbar unter https://dserver.bundestag.de/btd/16/032/1603217.pdf.

Agrarmaschinen eventuell besser mit räumlich heterogenen Anbauverfahren umgehen und den Boden schonen. Für den Mischfruchtanbau sollte aus einem Wettbewerb der Ideen zu Kulturführung, Technik und Verwertung ein neues Optimum der ökonomischen und ökologischen Effizienz entwickelt werden. Technologien für die Zwecke des Mischanbaus müssen unter Umständen komplett neu konzipiert und konstruiert und für die Praxis handhabbar gemacht werden.

geben (bei optimalen Bedingungen) und bis zu welchem technologischen Reifegrad (Technology Readiness Level – TRL, Abbildung 5) die Forschung durch öffentliche Gelder gefördert werden sollte. Bei gesellschaftlichen Fragestellungen (Abschnitt 3.3) ist der TRL als Reifegrad im Sinne einer zunehmenden Konkretisierung von übergeordneten politischen Strategien bis hin zu Umsetzungsregelungen zu verstehen.

schätzte zeitliche Umfang der Aufgaben ange-

In den folgenden Abschnitten werden die notwendigen Forschungsaufgaben für eine Ausweitung des Mischanbaus mit Leguminosen skizziert. Am Ende eines Abschnitts ist der ge-

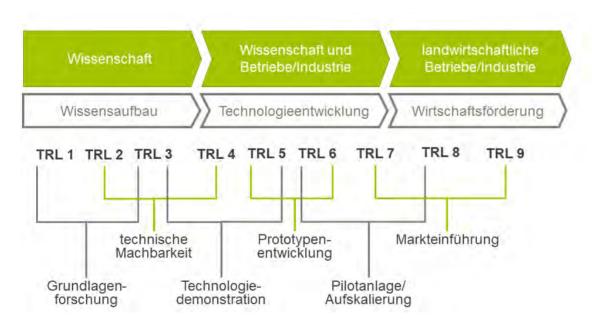


Abbildung 5. Technologie-Reifegrade (Technology Readiness Level, TRL); vereinfachte Darstellung nach Projektträger Jülich (https://www.ptj.de/hymat)

#### 3.1.1 Züchtung

Sorten, die für Reinkultur gezüchtet sind, zeichnen sich vor allem durch einheitlichen Wuchs unter intraspezifischen Konkurrenzbedingungen aus. Nutzpflanzen sind oft konkurrenzschwach gegenüber Beikräutern und reagieren stark auf einen Mangel an Wasser, Nährstoffen und Licht. In Mischkultur sollten sich die Gemengepartner in ihren Eigenschaften wie z.B. Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen und in ihrer Ressourcennutzung (Wasser, Nährstoffe, Licht) möglichst gut ergänzen. Zum Beispiel könnten schattentolerante Sorten unter lichtbedürftigen Sorten wachsen; Leguminosen sorgen über die symbiotische Fixierung von Stickstoff, sodass mehr Bodenstickstoff der anderen Kultur zur Verfügung steht. Diese komplementären Eigenschaften können durch Züchtung von bereits verwendeten, aber auch von noch wenig genutzten Arten im Rahmen von Prebreeding noch stärker an den Mischanbau angepasst werden (s. Box).

Damit für die Züchtung genetisch vielfältiges Material vorliegt, sind Vorarbeiten mit erheblichem Aufwand notwendig (Prebreeding). Wildmaterial, regional vermehrte Sorten oder engverwandte Arten müssen unter anderem aus Genbanken beschafft, auf erwünschte Eigenschaften untersucht, genetisch stabilisiert und vermehrt werden, um diese Eigenschaften durch Züchtungsverfahren in produktive Sorten einzubringen. Diese grundlegende Aufgabe sollte zukünftig für den Mischanbau mit Leguminosen die gleiche, hohe Bedeutung wie für deren Reinanbau einnehmen. Es werden jedoch zusätzliche, auf den Mischanbau ausgerichtete Eigenschaften gesucht und das vorhandene Prebreeding muss erweitert werden.

#### Züchtungsschwerpunkte für Mischanbau

1. Architektur (Länge, Blattstellung, Sprossverzweigung, Wurzeln)



Wachstumsphasen (Saattermine, Erntezeitpunkt, Klima, versetzt/zeitgleich)



3. Physiologie (Schattentoleranz, Toleranz gegenüber Hitze und Trockenheit, Toleranz gegenüber Beikräutern und Gemengepartnern, Resistenzen gegenüber Schaderregern)



4. Verwertung (Futter, Speiseware, Rohstoff, Energie, Reststoffverwertung, Ganzpflanzenverwertung, Mulch: reich an wertgebenden, arm an wertmindernden Inhaltsstoffen)



**5.** Beerntbarkeit (Zeitpunkt der Abreife, geringe Lagerneigung, platzfeste Hülsen)



 Sameneigenschaften (Farbe, Bruchfestigkeit, Schälbarkeit, gleichmäßiges Gewicht)



**7.** Ökosystemleistungen (Fixierung, Bodengesundheit, Erosionsschutz)

Der Aufwand für Prebreeding für Mischanbau mit Leguminosen wird derzeit nicht von privatwirtschaftlichen Zuchtprogrammen gedeckt. Daher ist eine öffentliche Förderung des vorwettbewerblichen Prebreedings hierfür unerlässlich. Zusätzlich müssen angepasste Rhizobienstämme selektiert werden, um die Stickstofffixierung und damit den Beitrag zur Ressourceneffizienz zu erhöhen. Wechselwirkungen mit Mykorrhizen (symbiotische Wurzel-Bodenpilze) sollten für neue Mischkombinationen und unter stickstoffarmen Bedingungen untersucht werden, um die Symbiose zu stärken und damit

in der Praxis den Düngereinsatz reduzieren zu können.

Für Leguminosen im Grünland geht es in der bestehenden Züchtung um weide-, schnitt- und trittfesten Sorten. Mischungen sollten in Kombination mit Gräsern und Kräutern so gestaltet werden, dass Methanemissionen bei Rindern möglichst vermindert werden, z.B. durch adäquate Tanningehalte. Stärker an die Nutztierart angepasste Zuchtziele sind nötig.

Aufgaben im Bereich <i>Züchtung</i> (nach Dringlichkeit)	Forschungsdauer	Ziel-TRL
Züchterische Bearbeitung von Inhaltsstoffen	5–9 Jahre	6–7
Züchterische Anpassung von Arten an Mischanbau	10-20 Jahre	5–6
Auswahl (Matching) und Anpassung von Rhizobienstämmen	3–9 Jahre	5–6
Züchterische Bearbeitung von Grünlandarten	9 Jahre	5





#### 3.1.2 Anpassung der Anbauverfahren

Mischfruchtanbau kann durch seine Vielfältigkeit gut variiert und an Standorte angepasst werden. Allerdings beruhen Empfehlungen für bestimmte Standorte oft auf Erfahrungen mit nur wenigen Mischkulturvarianten. Ansätze zur Verbreitung dieses Erfahrungswissens, wie sie z.B. im Rahmen des EU GAP-Netzwerkes (bis 2022 "EIP-Agri"), dem Legume Hub<sup>21</sup> oder der Agrodiversity Toolbox<sup>22</sup> etabliert sind, sollten weiter erforscht und entwickelt werden. Es bedarf der Erfassung, Systematisierung und Vermittlung von bereits vorhandenem Erfahrungswissen und darauf ausgerichtete Forschung (s. Abschnitt 3.1.2.2). Gleichzeitig gilt es Modelle für den Mischanbau zu entwickeln, die u.a. eine Hilfestellung für standortangepasste Wahl der Mischungspartner und Aussaatverhältnisse bieten können (siehe z.B. Yu et al. 2024)<sup>23</sup>

Deshalb müssen (1) die verschiedenen Anbauverfahren systematisch verglichen und ausgewertet, (2) die Anbauverfahren an den Mischanbau angepasst und (3) die Wechselwirkungen zwischen den Arten (Leguminosen und Nichtleguminosen) in Mischkultur untersucht und quantitativ beschrieben werden, um die Anbauverfahren gezielt zu verbessern.

Damit können die in der Praxis relevanten Fragen<sup>24</sup> wie nach (a) der Einbindung von Mischkulturen in die Fruchtfolge und Vorfruchtwirkung von Mischkulturen, (b) dem Einfluss des Anbaus von Mischkulturen auf die Entwicklung von Fruchtfolgekrankheiten und einzuhaltende Anbaupausen der einzelnen Gemengepartner und (c) dem Befall durch Schädlinge und Pilze im Vergleich zu Reinkulturen beantwortet werden. Weltweit sind etwa 19500 Leguminosenarten bekannt. Nur wenige Arten haben eine

größere wirtschaftliche Bedeutung in Deutschland oder anderen Ländern des gemäßigten Klimas. Die große Vielfalt könnte aber für den Mischanbau nutzbar gemacht werden, wenn in die Forschungsprogramme sowohl historisch genutzte25 als auch neue Arten mit interessanten Eigenschaften (z.B. bestimmte Inhaltsstoffe, Witterungstoleranz) integriert würden.

#### 3.1.2.1 Vergleich von Anbauverfahren

Mischanbau soll mehrere Ansprüche erfüllen (Produktivität, ökologischer Beitrag, Resilienz gegenüber Umweltschwankungen) und an Standort und Klima angepasst sein. Zur Auswahl standörtlich passender Systeme muss ein Mischanbau parallel mit anderen Anbauformen verglichen werden<sup>26</sup>. Für die vergleichende Bewertung müssen Kriterien, Messverfahren oder Indikatoren gewählt werden, welche für die Wertschöpfungskette wichtige Parameter beschreiben<sup>27</sup> sowie Ökosystemleistungen mit in Betracht ziehen und bewerten. Die Bewertung muss für verschiedene Anbauvarianten, Ernteverfahren, Boden- und Klimatypen erfolgen und so mit einer für eine fundierte Auswertung ausreichenden Anzahl von Umweltbedingungen erhoben werden. Die Ergebnisse sollten für eine standortbezogene ökologische und betriebswirtschaftliche Beratung in Modellen zusammengeführt werden.



#### Variablen für den Mischanbauvergleich

- Gemengepartner
- Anbauvarianten (Streifen-, Staffel-, Untersaaten, Gemenge, Zweitkulturen × Reihen- und zeitliche Abstände, Abfolge)
- Ernteverfahren (gleichzeitig, getrennt)
- Boden- und Klimatypen

<sup>21</sup> Donau Soja (2021): Legume Hub. Europas Wissensplattform für Hülsenfrüchte. Online verfügbar unter https://www.legumehub.eu/de/, zuletzt geprüft am 28.08.2023.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> AgroDiversity Toolbox. Toolbox on Agricultural Diversification. Online verfügbar unter http://www.agrodiversity.eu, zuletzt geprüft am 28.08.2023.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Yu, Jing; Rezaei, Ehsan Eyshi; Thompson, Jennifer B.; Reckling, Moritz; Nendel, Claas (2024): Modelling crop yield in a wheat–soybean relay intercropping system: A simple routine in capturing competition for light. In: European Journal of Agronomy 153, S. 127067. DOI: 10.1016/j.eja.2023.127067.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Fischl, Martin; Dierauer, Hansueli (2020): Anbau von K\u00f6rnerleguminosen in Miswww.fibl.org/fileadmin/documents/de/news/2020/bionet\_mischkulturen\_2020.pdf sen in Mischkultur im Trockengebiet. Hg. v. Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich. Wien. Online verfügbar unter https:// 28 Fruwith, Carl (1921): Handbuch des Hülsenfruchterbaues. 3. Aufl. Berlin: Parey. Online verfügbar unter https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:38m:1-61037.

<sup>28</sup> Bybee-Finley, K.; Ryan, Matthew (2018): Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes. In: Agriculture 8 (6), S. 80

DOI: 10.3390/agriculture8060080.

anal, Uttam; Stott, Kerry J.; Armstrong, Roger; Nuttall, James G.; Henry, Frank; Christy, Brendan P. et al. (2021): Intercropping — Evaluating the Advantages to Broadacre Systems. In: Agriculture 11 (5), S. 453. DOI: 10.3390/agriculture11050453.



#### Kriterien, Messverfahren und Indikatoren

- Aufwand (Technik, Düngebedarf, Pflanzengesundheit)
- Erträge, Ertragsvariabilität
- Vorfruchtwert
- Verwertungsmöglichkeiten (Einzel- und Mehrfachnutzung)
- Wert: Futter, Nahrung, Energie, Rohstoff
- Ökosystemfunktionen und daraus abgeleitete Leistungen (u.a. Bodenfruchtbarkeit, Stoffretention, Einfluss auf das Mikrobiom)
- Beitrag zur Biodiversität

#### 3.1.2.2 Entwicklung angepasster Anbauverfahren

Da die Anzahl möglicher Kombinationen im Anbau sehr groß ist und zusätzlicher Variabilität durch den Einfluss der Witterung unterliegt, ist grundsätzlich eine sehr hohe Anzahl von mehrortigen und wiederholten Versuchen notwendig. Dies erfordert einen partizipativen Forschungsansatz, der Landwirte befähigt, auf den Betrieben mit einfachen Versuchsanordnungen den Mischanbau unter Einbezug der Wechselwirkungen der Gemengepartner zu optimieren (s. Abschnitt 3.1.2.3). Hier bietet sich auch der Rahmen von Reallaboren an. Wichtig ist eine angepasste wissenschaftliche Begleitung der untersuchten Praxisfragestellungen. Für die Erhebung der Daten müssen die Betriebe kostendeckende Aufwandsentschädigungen erhalten, die auch die Verarbeitung der Erzeugnisse umfasst. Diese Praxis-Forschung muss durch

Auftragsforschung ergänzt werden, wenn erkennbar ist, dass wichtige Kombinationen sonst nicht abgedeckt werden.

Erfahrungen mit Mischanbau wurden und werden auch im benachbarten Ausland und in ferneren Regionen mit ähnlichem Klima gemacht. Diese Erfahrungen und eine systematische Auswertung von punktuell bereits in der Praxis in Deutschland erprobten Mischkulturen können den zu untersuchenden Variablenraum eingrenzen. Eine dringliche Forschungsaufgabe ist daher, Erfahrungen der Praxis und wissenschaftliche Studien systematisch auszuwerten und darzustellen. An erster Stelle der Auswertung sollten Varianten des Mischanbaus stehen, die Betriebe mit vorhandenen Sorten, vorhandener Technik und Vermarktungswegen der Hauptfrucht durchführen können (Stufe A). Die Darstellung der Vor- und Nachteile sollte sowohl durch Demonstrationsflächen auf Betrieben, die bereits erfolgreich Misch- oder Gemengeanbau umsetzen, als auch durch fachlichen Austausch ergänzt werden. Gemeinsam mit Praktikern sollten Anleitungen und Modelle entwickelt werden, wie standortspezifisch gute Mischfruchtsysteme entwickelt werden können.

### 3.1.2.3 Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Gemengepartnern

Die ökologischen Wechselbeziehungen in Mischkulturen, die durch Ressourcennutzung, Umweltbeeinflussung, Mikrobiom und weitere Arten im Ökosystem beeinflusst werden und durch Steuerungskreisläufe eng verflochten sind, sind nur wenig bekannt. Es ist deshalb schwer abzuschätzen, wie gut neue Gemengepartner miteinander harmonieren. Dazu ist neben einer Auswertung von Anbauverfahren ein noch tieferes Grundverständnis notwendig, wie zwei oder mehr Arten in einer Mischkultur miteinander wechselwirken und welche Umwelteinflüsse hierfür maßgeblich sind. Darauf aufbauend können Wachstumsmodelle erweitert werden, um mehr Kombinationen unter verschiedenen Standort- und Klimabedingungen zu simulieren. Die Kalibrierung und Validierung der für den Mischanbau angepassten Modelle erfordert, dass zu bestimmten Modellparametern ergänzende Daten zum Wachstumsverlauf in Feldversuchen erhoben werden.

Um das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Gemengepartnern zu verbessern, sollten Erhebungen zu folgenden Themen in Feldversuchen durchgeführt werden (Reihung nach Wichtigkeit nach Auffassung der Steuerungsgruppe):

- Wasserbedarf der Pflanzen und Wasserkonkurrenz zwischen den Pflanzen
- Konkurrenz im Bereich des Sprosses (Lichtbedarf/Schattenverträglichkeit)
- 3. Konkurrenz im Wurzelraum
- **4.** Nährstoffbedarf der Arten und Synergien (z.B. Phosphormobilisierung)

- sortenabhängige Stickstoffassimilation in Abhängigkeit von Nährstoffverfügbarkeit und Intensität der Knöllchenausprägung und -leistungsfähigkeit
- biotische Interaktionen im Wurzelraum (zwischen Pflanzen und/oder Mikroorganismen) und oberirdisch (u.a. Insekten und andere Tiere)
- 7. leguminosenspezifische Krankheiten
- 8. Krankheiten, insbesondere Pilzkranheiten bei den nicht-legumen Partnern auf Grund des veränderten Mikroklimas
- Optimierung von Kombinationen mit Rhizobienstämmen und
- 10. Fruchtfolgegestaltung

#### 3.1.3 Etablierung von Mischkulturen

In Stufe A (Abbildung 3) können vorhandene Maschinen durch passende Einstellungen oder Zusatzgeräte an Mischfruchtanbau angepasst werden. Landwirtschaftskammern, Landesämter und Maschinenhersteller haben dafür Empfehlungen oder neue Produkte entwickelt. In Stufen B und C können flexiblere Anbauverfahren mit genauer Datenerfassung bei der Aussaat und entsprechender Steuerung bei der Ernte die Variabilität des Mischanbaus voraussichtlich wirtschaftlich besser nutzbar machen. Dies leisten unter anderem: (1) effizientere Techniken zur gleichzeitigen oder gestaffelten Aussaat unterschiedlicher Korngrößen — auch kleinräumig differenziert28,29, (2) verbesserte Techniken zur Nachsaat im Grünland und zur

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> Ditzler, Lenora; van Apeldoom, Dirk F.; Schulte, Rogier P.O.; Tittonell, Pablo; Rossing, Walter A.H. (2021): Redefining the field to mobilize three-dimensional diversity and ecosystem services on the arable farm. In: European Journal of Agronomy 122, S. 126197. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126197.

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Wegener, Jens Karl; Urso, Lisa-Marie; Hörsten, Dieter von; Hegewald, Hannes; Minßen, Till-Fabian; Schattenberg, Jan et al. (2019): Spot farming – an alternative for future plant production. Themenheft Neue Pflanzenbausysteme. In: Journal of Cultivated Plants 71 (4), S. 70–89. DOI: 10.5073/Jfk.2019.04.02.

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Donat, Marco; Geistert, Jonas; Grahmann, Kathrin; Bloch, Ralf; Bellingrath-Kimura, Sonoko D. (2022): Patch cropping – a new methodological approach to determine new field arrangements that increase the multifunctionality of agricultural landscapes. In: Computers and Electronics in Agriculture 197, S. 106894. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106894.

Einsaat von Leguminosen in bestehende Getreidebestände (z.B. mit Drohnen), (3) autonome Robotiksysteme zum Bewirtschaften auf Einzelpflanzenebene und (4) Techniken, die Agrarflächen nach unterschiedlichen teilflächenspezifischen Eigenschaften bewerten und darauf aufbauend in unterschiedlichen Kleinflächen reorganisieren (spot farming<sup>24,25</sup> oder patch cropping<sup>30</sup>).

Für die Etablierung von Mischkulturen kann es effizient sein, mehrere Arbeitsgänge (Bodenlockerung, Säen, Bodenbedeckung, Mulchen, Düngen) zu vereinen und (bei gleichzeitiger Aussaat) die Gemengepartner nach Keimfähigkeit, Sätiefe und Düngebedarf differenziert zu behandeln. Aber auch die Trennung der Arbeitsgänge kann erfolgversprechend sein, wenn sie automatisiert mit leichten Maschinen und so insgesamt bodenschonender erfolgen. Solche Maschinen könnten den kleinräumig differenzierten Mischfruchtanbau ermöglichen und flexibel für die verschiedenen Fruchtarten die einzelnen Prozessschritte von Saat und Pflege bis zur Ernte übernehmen und z.B. Untersaaten, wie etwa Weißklee, separat beernten.

Die Auswirkungen des Klimawandels erfordern weitere Forschung und Innovation. Es wird erwartet, dass Frühjahrstrockenheit zunimmt und sich auf die Wechselbeziehungen im Mischanbau (s. Abschnitt 3.1.2.3) auswirkt, dem unter anderem anbautechnisch begegnet werden kann (z.B. mit Mulchen, Anhäufeln, Drillrinnen).

#### 3.1.4 Pflanzengesundheit und Ernährung

Im Mischfruchtanbau kann durch eine geeignete Wahl der Gemengepartner der Einsatz von synthetisch-chemischen Pflanzenschutzmitteln im konventionellen Landbau verringert wer-

den<sup>15,31</sup>. Dennoch werden Regulierungsmethoden für Schädlings- und v.a. Unkrautbekämpfung in diesem komplexen System erforderlich sein. Für den konventionellen Anbau vor allem in Stufe A sollten auch Herbizidempfehlungen für Mischanbau mit Leguminosen entwickelt werden, vorzugsweise als Spot-Anwendung oder Bandapplikation in Kombinationen mit physikalischen Techniken. Damit die Auswirkung synthetisch-chemischer Pflanzenschutzmittel auf die Umwelt weiter vermindert werden kann und Sorge vor mangelndem Pflanzenschutz nicht die weitere Ausweitung des Mischanbaus behindert, werden möglichst schnell erprobte biologische und physikalische Techniken zur Schädlings- und Unkrautbekämpfung benötigt. Dafür sollten auch die erfolgreichen Erfahrungen mit Mischanbau und Beikrautkontrolle von Ökobetrieben gesammelt werden und in der Beratung und Wissensvermittlung eine wichtige Rolle spielen. Praxisnahe wissenschaftlich fundierte Erfassung von Erfahrungswissen, systematisierende Zusammenfassungen und Wissensvermittlung dieser Art sollte etabliert werden, denn mit Forschungsergebnissen zu neuen physikalischen und biologischen Techniken vor allem gegen Schaderreger<sup>32</sup> ist erst in 3-5 Jahren zu rechnen. Im weiteren Verlauf der Forschung und zum Erreichen von Stufe B sollte auch die zu erwartende Änderung des Spektrums an Schädlingen und Krankheiten durch den Klimawandel berücksichtigt werden, um Pflanzenschutzmaßnahmen für Gemenge zur Ergänzung der Selbstregulierung zu entwickeln. Auch Risiken der physikalischen und biologischen Techniken sollten untersucht werden.

Für die gesunde Entwicklung von Pflanzen ist ein ausreichendes bis gutes Angebot an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden wichtig.

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> Beillouin, Damien; Ben-Ari, Tamara; Malézieux, Eric; Seufert, Verena; Makowski, David (2021): Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. In: Global Change Biology 27 (19), S. 4697–4710. DOI: 10.1111/gcb.15747.

Stukenbrock, Eva; Gurr, Sarah (2023): Address the growing urgency of fungal disease in crops. In: Nature 617 (7959), S. 31–34. DOI: 10.1038/d41586-023-01465-4

Dieses ist durch eine systemangepasste Düngung sicherzustellen. Mischkulturen können zwar zueinander in ihrem Bedarf komplementär gewählt werden, dennoch gilt auch hier, dass der essentielle Nährstoffbedarf möglichst abgesichert werden sollte. Für diese Situationen sind Techniken zu verbessern, die den Dünger räumlich gezielt und passend dosiert im Aufwuchs von Mischkulturen ausbringen können und wirtschaftlich tragbar sind.

#### 3.1.5 Frntetechnik

Die Ernte stellt je nach Fruchtart und Form der Mischkultur eine mehr oder minder große Herausforderung dar und muss differenziert betrachtet werden. So werden Mischkulturen bereits jetzt gemeinsam als Grüngut geborgen und beispielsweise zu Silage oder Heu verarbeitet. Auch der gemeinsame Drusch von Körnerfrüchten ist in der Praxis üblich; eine nachfolgende *grobe* Trennung der Gemengepartner kann weitgehend mit der bekannten stationären Technik (oft mit wenig zusätzlichem Aufwand)<sup>33</sup> erfolgen.

Eine saubere Ernte und scharfe Trennung der Gemengepartner für die Vermarktung bleibt eine der größten Herausforderungen, den Gemengeanbau in der Praxis auszuweiten³4. Beim Drusch ist einerseits Körnerbruch zu verhindern, andererseits sollten alle Körner aus der Ähre und Hülse ausgedroschen werden. Die Mähdreschereinstellungen wie zum Beispiel Drehzahl und Wind müssen sehr sorgfältig eingestellt und geregelt werden. Für sehr unterschiedliche Gemengepartner müssen voraussichtlich neue Drescheinheiten entwickelt werden. Perspektivisch sind Verfahren für eine Separationsstufe während des Druschs mit getrennten Korntanks zwar denkbar und die phy-

sikalischen Prinzipien und einzelne technische Lösungen sind bekannt, allerdings muss deren Verwendung in einem Mähdrescher für den Einsatz auf landwirtschaftlichen Betrieben noch entwickelt werden

Weitere Erntetechniken, die an die Verhältnisse des Mischanbaus angepasst und zur Marktreife geführt werden müssen, sind Hochschnittverfahren zur separaten Ernte von Gemengepartnern oder Trennverfahren für Blätter und Stängel eines oder beider Gemengepartner, wie sie z.B. bereits für Reinbestände von Luzerne entwickelt werden<sup>35</sup>. Damit könnten Blätter mit höherem Proteingehalt gezielt als Futter für Monogastrier (Schweine, Geflügel) oder als Ausgangsprodukt für Nahrungsmittel verwendet werden. Die Stängel dienen als Strukturheu in der Wiederkäuerfütterung oder für eine Verwertung als nachwachsender Rohstoff.

Eine gleichzeitige getrennte Bergung der Gemengepartner in der Form, dass bereits im Vorsatzgerät (Schneidwerk) getrennt aufgenommen wird, erfordert eine getrennte, parallele Behandlung in den folgenden Prozessschritten. Dies wäre zwar technisch aufwendig, aber so könnten sehr unterschiedliche Gemengepartner, auch Körner und Grüngut, gleichzeitig geborgen werden. Eine Alternative können hier auch Robotiksysteme darstellen (siehe oben, 3.1.3).

#### 3.1.6 Verarbeitung und Verwertung

### 3.1.6.1 Marktwirtschaftlich relevante Größen schaffen

Insgesamt orientieren sich auch verarbeitende Unternehmen an Marktangebot und -nachfrage. Wenn landwirtschaftliche Betriebe in einer Region wenig Mischgut erzeugen – eine

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Bedoussac, Laurent; Deschamps, Elina; Albouy, Lisa; Bourrachot, Patrick; Morrison, Alastair; Justes, Eric (2021): Harvesting and separating crop mixtures: yes we can! Intercropping to boost agroecology in European. Virtual Conference. France. March 2021. Online vertubar unter https://hal.inrae.fr/hal-03342750.

<sup>35</sup> Maxa, Jan; Thurner, Stefan (2023): Luzerne: Wie lassen sich Blätter und Stängel trennen. Hg. v. Baye-risches Landwirtschaftliches Wochenblatt. Online verfügbar unte https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/landtechnik/luzerne-lassen-blaetter-staengel-trennen-571786, zuletzt aktualisiert am 12.01.2023, zuletzt geprüft am 14.06.2023.

Aufgaben im Bereich Anbauverfahren (nach Dringlichkeit)	Forschungsdauer	Ziel-TRL
Festlegen von Bewertungskriterien für Anbauverfahren	3 Jahre	_
Mechanische Bekämpfung von Schädlingen u. Unkräutern	3-5 Jahre	7
Bessere Techniken zur Reinigung des Erntegutes	3-5 Jahre	8
Testen und Bewerten von Anbauverfahren	5-9 Jahre	7
Bessere Techniken zur (zeitlich oder räumlich) separaten Ernte	3(-9) Jahre	7
Bessere Techniken zur Aussaat oder Nachsaat	3-5 Jahre	7
Reduktion von Schaderregern durch Mischkultur	3-5 Jahre	8
Pflanzenschutzempfehlungen für Gemenge	5-9 Jahre	5
Anbautechnische Anpassung an Frühjahrstrockenheit	5(-9) Jahre	6
Bessere Technik zur Düngerausbringung	3(-5) Jahre	6
Bessere Kenntnisse zu Wechselwirkungen zwischen Arten	(5-)9 Jahre	5–6
Techniken zur Blatt-Stängel-Trennung bei Futterleguminosen .	3-9 Jahre	6
Einfluss auf Schaderreger von mehr Leguminosen in der Fruchtfolge durch Mischkultur	10 Jahre	7

Situation, die gerade zu Beginn des Ausbaus des Mischfruchtanbaus zu Stufe C besteht – ist die Verarbeitung dieser kleinen Mengen in der Regel nicht wirtschaftlich darstellbar. Deshalb sollten Möglichkeiten für mobile Verarbeitungseinheiten oder kooperative, überbetriebliche Sammel- und Verarbeitungswege entwickelt und analysiert werden. Agglomerationseffekte sollten untersucht und fördernde Faktoren identifiziert werden. Ob sich der Aufbau eines Sammelsystems lohnen würde, weil ein solches Sammelsystem auch den Anbau und die Verwertung anderer "kleiner" Kulturarten, die zur landschaftlichen Diversität beitragen,

fördern würde, gilt es zu analysieren.

### 3.1.6.2 Bestimmung der Zusammensetzung für bessere Verwertung

Gemenge können nach ihren Bestandteilen getrennt (Stufen A und B, s. Abschnitt 3.1.5) oder perspektivisch (in Stufe C) als Gemisch verwertet werden. Gemische sind grundsätzlich sowohl für die Tier- als auch die Humanernährung nutzbar und mitunter auch erwünscht.

Für die Gemischverarbeitung fehlen kostengünstige, automatisierte Verfahren zur Feststellung der Anteile in der Mischung, falls die Anteilsbestimmung nicht bereits bei der Ernte erfolgt ist. Kritisch ist auch hier der Anteil von Bruchkorn, der auch durch Züchtung (Abschnitt 3.1.1) und technische Verbesserungen bei der Ernte und Körnertrennung (Abschnitt 3.1.5) vermindert werden könnte. Wenn die Zusammensetzung einer Mischung bekannt ist, können durch Beimengungen standardisierte Mischungsverhältnisse erzielt oder Rezepturen angepasst werden. Insbesondere die Bestimmung von Proteinen und Proteinfraktionen von Leguminosen muss für Mischungen angepasst, praktikabler und preiswerter werden, damit deren Proteingualität und -zusammensetzung für Lebens- und für Futtermittel (Silage, Trockengut) optimiert werden kann. Ebenso muss der Inhalt unerwünschter Inhaltsstoffe in Gemischen schnell ermittelbar sein. Es ist auch zu untersuchen, durch was sich verarbeitende Betriebe, die besser mit veränderlichen Gemengeanteilen umgehen können, auszeichnen (z.B. Betriebsgröße).

#### 3.1.6.3 Lagerung und Konservierung

Mischkulturen können zum einen nicht immer optimal geerntet werden, da einer der Gemengepartner noch weniger ausgereift (feuchter) sein kann als der andere, zum zweiten können durch Anbau und Ernte größere Heterogenität im Erntegut entstehen. Bei der Lagerung ist eine gute Durchlüftung und Temperaturführung wichtig, damit das Erntegut nicht verdirbt und vor Lagerschädlingen besser geschützt ist. Der Feuchtegehalt der Körner sollte wie beim Getreide 14 % oder weniger betragen. Deshalb müssen auch die Techniken zur Lagerung und Konservierung an die Art des Gemisches und

dessen Verwendung angepasst werden. Am wichtigsten sind hier bessere Methoden zur Erkennung von Zonen mit hoher Feuchtigkeit und zur Steuerung der Belüftung von Lagereinheiten

Bei der Verwendung von (Ganzpflanzen-)Gemischen als Tierfutter ergeben sich für die zwei Hauptkonservierungsmethoden, und Silierung, unterschiedliche Herausforderungen und daher unterschiedlicher Bedarf für Forschung. Bei der Trocknung kommt es darauf an, (1) Bröckelverluste und eine unerwünschte Selektion der einzelnen Gemengepartner oder von Pflanzenteilen bei der Ernte und weiteren Behandlung zu vermeiden, (2) die Feuchte schnell zu reduzieren sowie (3) Trockenschäden, insbesondere durch Bräunungsreaktionen (Maillard-Reaktionen), auf ein Minimum zu begrenzen. Die Vortrocknung auf dem Feld (Anwelken) sollte auf ein Minimum begrenzt werden. Das nur leicht vorgetrocknete Bergegut erfordert wiederum entweder einen erheblichen Aufwand an Trocknungsenergie oder hohe Trocknungszeiten. Die Trocknungswärme sollte deshalb aus regenerativer Energie stammen. Zu geringe Temperaturen und diskontinuierliche Energiebereitstellung (z.B. Direktnutzung von Sonnenenergie) hemmen die Durchsatzleistungen, um sich wirtschaftlich, mit Ausnahme hochpreisiger Sonderkulturen, wirklich durchzusetzen. Dazu kommt, dass die am Markt verfügbaren technischen Trocknungsverfahren bislang hinsichtlich Beeinflussung der Nährstoffqualitäten wenig standardisiert und definiert sind. Lösungen sind gesucht für schnelle, energieeffiziente Anlagen, die relativ feuchte Trockengüter bei Nutzung regenerativer Energiequellen wirtschaftlich, d.h. mit ausreichendem Durchsatz, trocknen, ohne die Nährstoffqualität nachteilig zu beeinträchtigen.

Silierung ist zwar kostengünstig, aber gerade bei unterschiedlichen Gemengepartnern auch schwierig und unsicher im Erfolg. Da Leguminosen in der Regel schwer silieren (hohe Pufferwirkung gegenüber Milchsäure), sollten Gemengepartner sich insbesondere in der Silierbarkeit (geringe Pufferkapazität, ausreichend vergärbare Kohlenhydrate) ergänzen. Dies ist sowohl für die optimale Einstellung der Vortrocknung (Anwelken) als auch für die gegebenenfalls notwendige Ergänzung mit Siliermitteln notwendig. Praktikable, auf dem Betrieb anwendbare und schnellverfügbare Kontrollmethoden zur Feststellung der Silierbarkeit und in Folge des Silierverlaufes bzw. -erfolges, sind gerade bei Gemischen entscheidend zur Steuerung biologischer Gärprozesse. Insbesondere zur Minimierung des Protein- bzw. Aminosäureabbaus während der Silierung sind innovative Lösungen gefragt. Dies kann durch spezielle Zusätze, gezielt eingesetzte Gemengepartner mit spezifischen sekundären Inhaltsstoffen (z.B. kondensierte Tannine) oder auch mit der sogenannten Trockensilierung, die Trocknung und Silierung kombiniert ("Heulage"), erfolgen. Hier gilt es für die verschiedenen Gemische Empfehlungen für optimale Verfahren zu erarbeiten und Maschinen für die effiziente Vortrocknung und Trockensilierung zu entwickeln.

### 3.1.6.4 Verarbeitung von Gemengen als Gemisch

Für die Herstellung von Lebensmitteln unter Nutzung von Gemischen, die für dezentrale und zentrale Verarbeitung geeignet sind, müssen Verfahren entwickelt werden (s. Abschnitt 3.1.6.2). Wenn jedoch Gemische mit Leguminosen nicht wirtschaftlich als Mischung verarbeitet werden können, können sie eventuell nachträglich getrennt werden. Dazu müssen

- Trenn-, Schäl- und Sortiertechnologien weiterentwickelt werden, um die Verarbeitung von Gemischen unterschiedlicher Zusammensetzung zu ermöglichen, und
- nass- und trockentechnische Fraktionierungsverfahren, die auf die Verarbeitung von Gemischen ausgerichtet sind, entwickelt werden.

Aufgaben im Bereich Verarbeitung (nach Dringlichkeit)	Forschungsdauer	Ziel-TRL
Verbesserung der Proteinbestimmung im Misch-Erntegut	3-5 Jahre	5
Techniken zur Separierung der Gemengepartner im Erntegut	3-5 Jahre	7
Analyse sekundärer Inhaltsstoffe im Erntegut	3–5 Jahre	4–6
Automatisierte Analyse der Zusammensetzung des Erntegutes für die Aufbereitung	3–5 Jahre	5
Umgang mit veränderlichen Mischverhältnissen im Betrieb und bei der Verarbeitung	3–5 Jahre	7
Anpassung von Konservierung und Lagerung	3-5 Jahre	6
Mobile Verarbeitungseinheiten oder überbetriebliche Verarbeitungswege entwickeln	3–5 Jahre	7

# 3.2 Nachfrage nach Produkten aus Mischanbau mit Leguminosen unterstützen

Eine hohe Verbrauchernachfrage nach Produkten aus Mischfruchtanbau ist ein entscheidender Anreiz sowohl für landwirtschaftliche Betriebe. mit Mischanbau anzufangen und hier zu investieren, als auch für Verarbeitungs-, Handelsund Vermarktungsunternehmen, Produkte aus Mischanbau in ihr Portfolio aufzunehmen. Neben technischen Fragen in Verarbeitung, Lagerung und Verwertung sind institutionelle Fragen entlang der Wertschöpfungskette zu bearbeiten und dabei in Stufe C die spezifischen Herausforderungen von Gemischen zu adressieren, um eine hohe Verfügbarkeit zu attraktiven Preisen auf der Verbraucherebene zu gewährleisten. Dazu gehören auch die ungelösten Fragen der einfachen Qualitätsbestimmung von Gemischen unter Marktbedingungen. Vereinfachte Methoden der Qualitätsbestimmung eröffnen Optionen in der Konditionen- und Preisgestaltung entlang der Wertschöpfungskette, die es zu entwickeln und zu untersuchen gilt (s. Abschnitt 3.1.6.2).

### 3.2.1 Verwendungsmöglichkeiten für die Tier- und Humanernährung entwickeln

Produkte aus Mischanbau mit Leguminosen, z.B. Mais-Bohnen-Silage oder Luzerne-Klee-Gräser-Heu, werden bisher für die Fütterung verwendet. Viehlos wirtschaftende Betriebe können diese Mischungen als Teil der Fruchtfolge anbauen und in Futter-Mist-Kooperationen mit viehhaltenden Betrieben einbringen oder zwischenbetrieblich vermarkten.

Die Unterstützung der Nachfrage und Forschung zu deren Umsetzung sollte sich zunächst auf die Tierernährung und der direkten Verwertung von Produkten aus dem Mischanbau auf dem Betrieb und möglicherweise auch über die Futtermittelindustrie ausrichten, da (1) der Verbrauch an eiweißreichem Tierfutter (und nötigen Anbauflächen) gegenüber dem Verbrauch in der Humanernährung bislang hoch ist, (2) das Kraftfutter für Nutztiere meist Mischfutter ist (stärke- und eiweißreiche Komponenten aus Getreide, Soja und/oder Raps), das auch aus Mischkulturen stammen könnte, (3) die Anforderungen an Reinheit von Produkten (aus Mischkulturen) für die Tierernährung vermutlich geringer sind als für die Humanernährung.

Die notwendigen Anbauflächen für Tierfutter werden vermutlich auch in der Übergangszeit zu stärker pflanzenbetonter Ernährung auf einem relevanten Niveau verbleiben. In der Einleitung wurde die Problematik des Sojaimportes aus Südamerika angesprochen, der vorwiegend in die tierische Ernährung fließt. In Deutschland hat sich die Sojanbaufläche zwar von 1000 ha im Jahr 2008 auf 51 000 ha (128 000 t Sojabohnen) im Jahr 2022 vervielfacht. Gemessen am Futterverbrauch (2,8 Millionen t) fällt die heimische Erntemenge jedoch kaum ins Gewicht, sie entspricht lediglich 4,6 Prozent der verbrauchten Menge<sup>36</sup>.

Anbauspezifische Erfahrungen mit Mischkulturen für die Futtermittelproduktion können parallel auch bei der Produktion für die Humanernährung genutzt werden und stehen damit bereits in größerem Maßstab zur Verfügung. Produkte für die Humanernährung erfordern allerdings in der Regel größere Reinheit, das heißt eine stärkere Differenzierung des Ernteguts als es für die tierische Verwertung nötig wäre und unterliegen oft speziellen Qualitätskriterien, die für die technische Verwertung des Rohstoffes nötig sind (z.B. Mehl).

<sup>36</sup> Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2023): Soja - Nahrungsmittel für Tier und Mensch. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Online verfügbar unter https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/soja-nahrungsmittel-fuer-tier-und-mensch, zuletzt aktualisiert am 01.07.2023, zuletzt geprüft am 22.05.2024.

Allerdings sollte die Förderung des Mischanbaus für Futtermittel nicht dazu führen, dass die Produktion von Tierfutter in Konkurrenz zur Produktion für die Humanernährung gerät. Forschung zur Unterstützung der Nachfrage sollte deshalb langfristig auf die Humanernährung ausgerichtet sein und mögliche Konkurrenz- oder Synergieeffekte mit der Tierhaltung explizit berücksichtigen. Zum Beispiel könnten Möglichkeiten zur direkten Nutzung von Grünanteilen aus Mischanbau für die Humanernährung über innovative Fermentationsverfahren in Bioreaktoren oder andere Verfahren entwickelt werden, die die speziellen Potenziale und Anforderungen von Erntegut aus Mischanbau berücksichtigen. Ebenfalls können und werden Mischungen aus Getreide und Leguminosen bereits zu Brot verbacken. In diesem Fall müssen lediglich die prozentualen Anteile angepasst werden.

#### 3.2.2 Ernährungsumgebungen gestalten

In der Verbraucherforschung sind insbesondere Möglichkeiten zu betrachten, an bestehende Präferenzen anzuknüpfen bzw. diese Präferenzen weiter zu entwickeln. Vor allem für die Verwendung von Produkten aus dem Mischanbau oder von Mischungen in der Humanernährung bestehen grundsätzliche Wissenslücken, wie beispielsweise die Wirkung von Kombinationsmöglichkeiten bei der konkreten Gestaltung von Mahlzeiten. Forschung zur Gestaltung von Umgebungen, in denen Nahrungsmittel erworben oder verzehrt werden (Ernährungsumgebungen)37, sind von zentraler Bedeutung, um die Nachfrage nach Produkten aus Mischanbau zu fördern. Auch hier sollte vorhandenes Erfahrungswissen erfasst, systematisiert und wissenschaftlich durchdrungen werden. Es bedarf transformationsorientierter Forschung, die

System-, Ziel- und Transformationswissen generiert, um Veränderungen der Ernährungsumgebungen zu erreichen. Für die Entwicklung grundsätzlich neuer Vermarktungsstrategien ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Teildisziplinen der Verbraucherwissenschaften notwendig.

Zum Aufbau neuer Absatzwege ist ein vertieftes Verständnis zur Wirkung von Kommunikationsinhalten und -instrumenten bezüglich Produkten aus Mischfruchtanbau notwendig. Es bedarf entsprechender Forschung, um diese Wissenslücken zu schließen. Ergänzt werden sollten diese Forschungsansätze durch praxisnahe Forschung im Bereich der kommunikativen Gestaltungsmöglichkeiten von Ernährungsumgebungen. Forschung in diesem Bereich sollte sich an den jeweiligen Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung orientieren und insbesondere auf spezifische Anforderungen vulnerabler Bevölkerungsgruppen abgestellt sein. Grundsätzlich neue Gestaltungsoptionen von Ernährungsumgebungen sollten auch in transdisziplinären Forschungsansätzen mit Praxispartnern aus der Außer-Haus-Verpflegung und des Lebensmitteleinzelhandels erforscht werden.

Sensorische Forschung durch geschulte Panels sowie subjektive Beurteilungen durch Konsumenten (affektive und hedonische Prüfungen) sind wichtig, um die Vermarktung von verarbeiteten Produkten aus Mischanbau und Mischungen mit Leguminosenanteil zu fördern. Neben der ernährungsphysiologischen Wirkung sollte ein stärkerer Fokus auf die ernährungsmedizinische Wirkung von Produkten aus Leguminosenmischungen gelegt werden.

<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020): Politik für eine nachhaltigere Ernährung. Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/mbae-gutachten-nachhaltige-ernaehrung.pdf?\_blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.06.2023. Siehe auch die Zusammenfassung dazu in: Spiller, Achim: Politik für eine nachhaltigere Ernährung. Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten. Online verfügbar unter https://outlachtenwbae.org/blog/die-ernahrungsumgebung-als-entscheidender-aber-unterschatzter-einflussfaktor/, zuletzt geprüft am 31.05.2023.

Aufgaben im Bereich <i>Nachfrage</i> (nach Dringlichkeit)	Forschungsdauer	Ziel-TRL
Auswertung von Erfahrungswissen in der Verarbeitung	3-6 Jahre	6
Auswertung von Erfahrungswissen zu Ernährungsumgebungen	3-6 Jahre	6
Transformationsforschung zu Ernährungsumgebungen	3-9 Jahre	7
Verbraucherforschung zu Präferenzen	3-6 Jahre	5
Kommunikationsinhalte und –instrumente	3-6 Jahre	5
Ernährungsmedizinische Wirkung	3-9 Jahre	4

Insbesondere der Beitrag von auf einheimischen Leguminosen basierten Lebensmitteln zur Reduktion von Mangelernährung mit Mikronährstoffen sowie zur stärker pflanzenbetonten Ernährung sollte hier berücksichtigt werden. Interaktionseffekte mit Allergenen oder antinutritiven sekundären Pflanzeninhaltsstoffen sind in Forschungsprogrammen zu berücksichtigen.

3.3 Unterstützung der Politikgestaltung

Die Umsetzung gesellschaftlicher Ziele wird von der Bevölkerung eher mitgetragen, wenn die zugehörige Politik Zielgruppen einbindet und die Erwartungen von Zielgruppen aufgreift. Kontinuierliche Forschung an und mit Zielgruppen kann daher beitragen, eine Politik mit wirtschaftlichen Anreizen sowie steuer- und ordnungsrechtlichen Regelungen voranzubringen. Forschung, die die Wirkung von durchgeführten Politikmaßnahmen analysiert, kann beitragen, zukünftige Politik besser zu gestalten<sup>38</sup>. Die Forschungsstrategie der DAFA zur ökologischen Lebensmittelwirtschaft<sup>39</sup> hat

leistungsfähige Strukturen für Forschung und Forschungsförderung vorgeschlagen. Deren Aufbau und Nutzung würde auch die Ausweitung des Mischanbaus sinnvoll unterstützen.

#### 3.3.1 Bewertungsindikatorik

Zur Förderung von leguminosenbasierten Wertschöpfungsketten sollten politische Steuerungsinstrumente auf naturwissenschaftlich fundierten Indikatoren wie Ökobilanzen bzw. Lebenszyklusanalysen aufbauen (z.B. Saget et al.40). Da die vorhandenen Ansätze zur quantitativen Erfassung und Bewertung von Ökosystemleistungen noch nicht völlig überzeugen, sollten vorhandene Methoden und Indikatoren insbesondere für die Berücksichtigung des Anbaus von Leguminosen und deren Gemenge angepasst werden. Hier sind nach Ansicht der DAFA erweiterte und differenziertere Formate für eine umfassende Beteiligung der relevanten Stakeholder notwendig, die umgehend entwickelt werden müssen. Als erster Schritt ist ein

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Strand, Roger (2022): Indicator dashboards in governance of evidence informed policymaking: Thoughts on rationale and design criteria. Hg. v. Kristian Krieger und Lorenzo Melchor. European Commission. Joint Research Centre. DOI: 10.2760/328204

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Hamm, Ulrich; Häring, Anna Maria; Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Isermeyer, Folkhard; Lange, Stefan; Niggli, Urs et al. (2017): Fachforum Ökologische Lebensmittelwirtschaft : Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. DOI: 10.3220/DAFA1502798149000

<sup>4</sup>º Saget, Sophie; Porto Costa, Marcela; Black, Kirsty; Iannetta, Pietro P.M.; Reckling, Moritz; Styles, David; Williams, Michael (2022): Environmental impacts of Scottish faba bean-based beer in an integrated beer and animal feed value chain. In: Sustainable Production and Consumption 34, S. 330–341. DOI: 10.1016/j.spc.2022.09.019.

an Interpreted Deer and animal red value criam. In: Sustainable 1 roduction and consumption 44, 31, 30–341. To Not follow, 2022. 19:3019.

"Projekt "Entwicklung eines Nachhaltigen Lebensmittelgesetzes (NLG) als Analogie zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) der Energiewirtschaft" (FKZ 01UT2107A/BMBF). Online verfügbar unter https://www.feda.bio/de/blaupause-lws/, zuletzt geprüft am 15.06.2023.

bewertender Vergleich der verschiedenen vorhandenen Methoden von Ökobilanzen bzw. Lebenszyklusanalysen hinsichtlich einer spezifischen Anwendung für Mischanbau und Verwertung notwendig. Insbesondere bei Trennung von Erntegütern sind kritische Zurechnungsfragen und deren Implikationen zu klären. Darauf aufbauend können unterschiedliche Anwendungen in der Politik entwickelt, validiert und getestet werden. Dies sollte andere interessante Ansätze, wie die Übertragung der Prinzipien des Erneuerbare-Energien-Gesetzes der Energiewirtschaft auf die agrarische Wertschöpfungskette<sup>41</sup> einschließen.

Für umfassende Nachhaltigkeitsbewertungen muss die Bewertungsindikatorik um Methoden zur Messung sozialer und wirtschaftlicher Wirkungen des Mischanbaus ergänzt werden. Dazu bedarf es entsprechender sozialwissenschaftlicher Forschung. Die Beeinflussungsmöglichkeiten durch staatliche oder privatwirtschaftliche Maßnahmen und Instrumente in Produktion, Verwertung, Verwendung und des Kaufverhaltens sollten in ihrer Wirkung mittels einer umfassenden Bewertungsindikatorik erforscht werden. Dazu wird eine stärkere Zusammenarbeit von pflanzenbaulicher und agrarökonomischer Forschung notwendig sein.

#### 3.3.2 Politische Steuerung

Bei der Politikgestaltung ist die europäische Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) ein wichtiges Mittel. Viele betriebliche Entscheidungen orientieren sich an den Maßnahmen, die in nationalen GAP-Strategieplänen, in Programmen der Bundesländer und in Zusammenwirkung mit anderen europäischen Regelungen gründen. Agrarpolitische Wirkungsforschung sollte des-

halb ermitteln, wie in Deutschland eingeführte Maßnahmen den Mischfruchtanbau gefördert oder gehemmt haben und wie (agrar-)politische Strategiepläne und Maßnahmen gestaltet werden können, um den Mischanbau zu fördern. Dabei ist erforderlich, dass die Wirkung politischer Steuerungsinstrumente im Hinblick auf den Mischanbau in den verschiedensten Ausprägungen (Streifen-, Staffel-, Gemischanbau, Untersaaten) in bestehenden und zukünftigen Regelungen der Landwirtschaft auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene untersucht wird. Insbesondere ist zu klären, ob und gegebenenfalls wie spezifische Vorschriften den Mischanbau einschränken (z.B. feste Anteile von Leguminosen im Gemenge unabhängig vom Gemengetyp, Obergrenzen für Leguminosengemenge) oder der Mischanbau durch das Raster der Ausführungsbestimmungen fällt.



Mischanbau wird auch von anderen Politikfeldern beeinflusst. So wirkt sich Forschungspolitik im Bereich der Züchtung und des Prebreedings auf die Verfügbarkeit von Sorten aus. Handels- und Wettbewerbspolitik beeinflussen die Verarbeitung von Mischanbauprodukten. Verbraucherpolitik und Handel schließlich können die Verbrauchernachfrage nach Produkten aus Mischanbau erhöhen. Es bedarf der Forschung zur Wirksamkeit von bisherigen und zukünftigen Politikinstrumenten, die neben dem klassischen Instrumentarium der Agrarpolitik auch die Ernährungspolitik sowie die Handels- und Wettbewerbspolitik und nicht zuletzt die Wissenschaftspolitik in den Blick nimmt, um die Lage insgesamt zu betrachten. Agrarökonomische und agrarpolitische Forschung sollten hier stärker interdisziplinär mit anderen Bereichen der Politikwissenschaft zusammenarbeiten

3.3.3 Transdisziplinarität und Multiakteursansätze

Um die vorhandenen Erfahrungen und durch Forschung erzielten Erkenntnisse in der Praxis zu verbreiten, empfiehlt die DAFA<sup>42</sup>, landwirtschaftliche Betriebe in die Forschungsplanung und -durchführung einzubeziehen und die Ergebnisse adressatengerecht zu veröffentlichen. Für dieses gemeinsame Experimentieren haben sich inzwischen vielfältige Formate und Bezeichnungen entwickelt (living labs, on-farm-research, multi-actor approach, Reallabore). Die im Rahmen der "Eiweißpflanzenstrategie" aufgebauten "modellhaften Demonstrationsnetzwerke" haben nach Ansicht der Autoren deutlich zur Steigerung des Leguminosenanbaus in Deutschland beigetragen. Die Multiakteursnetzwerke des EU-Projektes ReMix<sup>43</sup> lieferten wertvolle Einblicke in die Funktionalität und Erfolgsfaktoren für den Aufbau partizipativer Prozesse.

Für einen nachhaltigen Wissenstransfer in die praktische Politikgestaltung zur Förderung des Mischanbaus sollten auch politische Akteure (Politik, Verwaltung, Verbände) in transdisziplinären Forschungsansätzen eingebunden werden. Reallabore bieten Möglichkeiten, die Ausweitung des Mischanbaus inter- und transdisziplinär zu erforschen. Es ist dabei entscheidend, dass die Ausweitung des Mischanbaus mit Formen des gemeinsamen Experimentierens fortgesetzt und die Akteure auf allen Stufen der Wertschöpfungskette von der Züchtung bis zu den Verbrauchern eingebunden werden44. Da Planung und Durchführung der Beteiligung längere Zeit in Anspruch nehmen, müssen Projektlaufzeiten entsprechend auf mindestens 5 Jahre verlängert werden.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> Hamm, Ulrich; Häring, Anna Maria; Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Isermeyer, Folkhard; Lange, Stefan; Niggli, Urs et al. (2017): Fachforum Ökologische Lebensmittelwirtschaft: Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Online verfügbar unter http://d-nb.info/1126272124/.

<sup>43</sup> Salembier, Chloé; Aare, Ane Kirstine; Bedoussac, Laurent; Chongtham, Iman Raj; de Buck, Abco; Dhamala, Nawa Raj et al. (2023): Exploring the inner workings of design-support experiments Lessons from 11 multi-actor experimental networks for intercrop design. In: European Journal of Agronomy 144, S. 126729. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126729.

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Dühn, Theresa (2020): Erkenntnisse aus der Öko-Forschung - Wie es gelingt, sie im ostdeutschen Raum an die Praxis zu kommunizieren. Master of Science. Hochschule für nachhaltige Entwicklung, Eberswalde, Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz, Studiengang: Öko-Agrarmanagement, zuletzt geprüft am 05.04.2023.

Aufgaben im Bereich <i>Politik</i> (nach Dringlichkeit)	Forschungsdauer	Ziel-TRL
Vorschläge zur Aktualisierung der nationalen GAP-Strategie	1-5 Jahre	5
Politikfelduntersuchung	2-6 Jahre	7
Ergänzung von Indikatoren für Nachhaltigkeit um Mischanbau	5–7 Jahre	5
Erweiterung von Lebenszyklusanalysen um Mischanbau	3-6 Jahre	5
Konzepte für die Gestaltung von Ernährungsumgebungen	3–6 Jahre	5





## 4 Konzeptionelle Empfehlungen







Die Menge von Importen von Eiweißfutter (vor allem Soja) aus Südamerika sollte zum Schutz der Naturräume und des Klimas und zur Verbesserung der dortigen Produktionsbedingungen reduziert und durch einheimische Tierproduktion auf Dauergrünland und durch Futterbau auf Mineralböden ersetzt werden, um organische Böden (als potenzielle Treibhausgasquelle) und Biodiversität zu schützen<sup>31</sup>. Dies ist möglich, wenn der Bedarf an Futter abnimmt, also weniger Fleisch und Milchprodukte konsumiert und exportiert werden. Obwohl der Futterbedarf auch einer reduzierten tierischen Produktion vermutlich noch längere Zeit bedeutsam bleiben wird, sollte die Förderung von Mischkulturen mit Leguminosen auf längere Sicht und unter Berücksichtigung von Klimaschutz vor allem auf Mischkulturen für die menschliche Ernährung ausgerichtet sein und politisch mit der Umsetzung von Ernährungsstrategien koordiniert werden.

Rechtliche Regelungen können den Mischanbau unterstützen oder hemmen (s. Abschnitt 3.3.2). Eine politische Strategie zur Förderung des Mischfruchtanbaus sollte deshalb sowohl eine eventuell notwendige Anpassung der Rechtslage umfassen als auch auf alle föderalen Stufen einladend wirken.

Die vorliegende Forschungsstrategie zum Mischfruchtanbau mit Leguminosen ergänzt die vorhandene Forschungsstrategie der DAFA zum Leguminosenanbau in Deutschland¹. Dies gilt sowohl für die inhaltlichen Empfehlungen zum Leguminosenanbau insgesamt als auch für die übergreifenden konzeptionellen Empfehlungen, die so zusammengefasst wurden: "Erkenntnisgewinn durch langfristige

und transdisziplinäre, an Wertschöpfungsketten ausgerichtete Forschung, die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis mit Unterstützung durch regionale Anbauzentren sowie Schaffung geeigneter politischer Rahmenbedingungen bilden das Gerüst für eine erfolgreiche Strategie zur Förderung des Leguminosenanbaus." Mit den im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL geförderten modellhaften Demonstrationsnetzwerken wurde offenbar ein guter Ansatz zur Förderung des Leguminosenanbaus und Verwertung gefunden, der durch die Entwicklung langfristiger Reallabore im Rahmen von Wertschöpfungsnetzwerken45 ergänzt und erweitert werden sollte. Für die Entwicklung von regionalen Wertschöpfungsketten müssen deutlich mehr Ressourcen bereitgestellt werden, vor allem wenn ein Absatz für Produkte aus Mischfruchtanbau entstehen soll.

Die in dieser Strategie geschätzten Zeiträume für die Forschung beziehen sich auf optimale Rahmenbedingungen. Eine züchterische Anpassung von Arten für den Mischanbau in nur 5–10 Jahren (⇒ 3.1.1 Züchtung) wäre beispielsweise sehr ambitioniert und in der Praxis nicht umsetzbar. Denn die mit der Durchführung von Wertprüfungen und Landessortenprüfungen betrauten öffentlichen Einrichtungen sind bereits aktuell stark ausgelastet. Deren Finanzierung müsste, um im Beispiel zu bleiben, in einer politischen Strategie zur Förderung des Mischanbaus berücksichtigt und zeitlich priorisiert werden.

Auch beim Mischfruchtanbau muss die Forschungsförderung das gesamte Wertschöpfungssystem betrachten und dabei nach

<sup>45</sup> Wertschöpfungsnetzwerk: "Netzwerk/System aus Wertschöpfungsketten/Wertketten, das sowohl Querverbindungen als auch Abhängigkeiten zwischen diesen beinhalten kann." (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik [2017]: Industrie 4.0 - Begriffe/Terms. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/industrie-40-begriffeterms.)

Dringlichkeit vorgehen. Hierzu geben die nach Dringlichkeit geordneten Tabellen in Kapitel 3 einen Orientierungsrahmen. Die zeitliche Abfolge (Tabelle 1) muss ebenfalls berücksichtigt werden. Die notwendigen systemischen Untersuchungen – insbesondere zur Fruchtfolge und Anbaupausen – erfordern die Einbettung in Anbausysteme und damit langfristige Programme unter Beteiligung der landwirtschaftlichen Praxis und nachgelagerter Unternehmen. Die Rückkopplung der Forschungsergebnisse an die Politikgestaltung sollte strukturiert und transparent erfolgen und politische Akteure in einem transdisziplinären Verständnis in den Forschungsprozess einbeziehen.

Erkenntnisse aus der Forschung zum Mischanbau mit Leguminosen können landwirtschaftlichen Betrieben den Einstieg in den Leguminosenanbau erleichtern. Die Forschung zu Züchtung, Anbau und Verwertung von Leguminosengemengen wird, wenn sie gezielt und

koordiniert von der Politik gefördert wird, die Ausweitung des Mischanbaus beschleunigen. Dadurch kann die zeitliche, strukturelle und biologische Diversität der Landschaft erhöht und der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln verringert werden.

Die DAFA hofft, dass die Forschungsstrategie zu Leguminosen und deren Erweiterung zum Mischanbau die Politik und Forschung weiterhin erfolgreich unterstützen kann.





Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

## Beiträge zum Inhalt

#### Verantwortlich für den Inhalt

Prof. Dr. Maria R. Finckh, Universität Kassel, Sprecherin des Fachforums Leguminosen

Brigitte Köhler, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen

Prof. Dr. Marcus Mergenthaler, Fachhochschule Südwestfalen

Dr. Moritz Reckling, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Prof. Dr. Knut Schmidtke, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Dr. Martin Köchy, Geschäftsstelle der Deutschen Agrarforschungsallianz

Die vorliegende Strategie wurde von den DAFA-Mitgliedern einstimmig verabschiedet.

#### Danke!

Die DAFA dankt besonders den folgenden Personen für die Kommentierung der Entwürfe:

Dr. Annegret Groß-Spangenberg (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung); Prof. Dr. Gunter Backes (Universität Kassel); Dr. Herwart Böhm, Dr. Henning Storz (Thünen Institut); Fred Eickmeyer (ESKUSA); Prof. Dr. Ludger Frerichs (Technische Universität Braunschweig); Dr. Maendy Fritz (Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe); Prof. Dr. Kay-Uwe Götz, Dr. Robert Schätzl (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft); Dr. Susanne Gola (Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung); Prof. Dr. Barbara Sturm, Dr. Thomas Hoffmann (Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie); Jörg Messner (Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei); Andreas Sandhäger (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen); Prof. Dr. Tanja Schäfer (Fachhochschule Südwestfalen); Dr. Vanessa Schulz (LTZ Augustenberg); Andreas Steffen, Dr. Peter Sanftleben (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern); Prof. Dr. Olaf Steinhöfel (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie); Dr. Stefan Storcksdieck genannt Bonsmann, Dr. Eva Hummel, Dr. Bertrand Matthäus (Max Rubner-Institut).

Wir danken ebenso allen, die am Online-Workshop im März 2022 teilgenommen haben, für deren Beiträge und die lebendigen Diskussionen.





# Mitglieder der DAFA







#### Universitäten



Freie Universität Berlin, Veterinärmedizinische Fakultät



Humboldt-Universität zu Berlin. Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften



Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Landwirtschaftliche Fakultät



Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge



Technische Universität Chemnitz



Justus-Liebig Universität Gießen, Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement



Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften



Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften



Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover



Universität Hohenheim, Fakultät Agrarwissenschaften



Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät



Universität Rostock. Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät



Technische Universität München, Hans-Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften

#### Hochschulen



Hochschule Anhalt. Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung



Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz



Hochschule Geisenheim University, Landwirtschaftliche Fakultäten



Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Institut für Angewandte Agrarforschung (IAAF)



Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur



Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft



Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

#### Außeruniversitäre Institute



Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft (DITSL)



Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke (DIfE)



FiBL Deutschland e. V. -Forschungsinstitut für biologischen Landbau



Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN)



Fraunhofer-Institut für Grenz-Fraunhofer flächen- und Bioverfahrenstechnik (FhG-IGB)



Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (FhG-IVV)



Institut für ländliche Strukturforschung (IfLS)



Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung (ILU)



Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft



Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien (IAMO)



Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB)



Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)



Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)



Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK)



Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)



Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)



ZB MED – Informationszentrum Lebenswissenschaften

### Bundesressortforschung



Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)



Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF)



Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit



Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei



Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen



Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel



Umweltbundesamt (UBA)

## Einrichtungen der Länder



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)



Bildungs- und Wissenzentrum Boxberg (LSZ) - Schweinehaltung, Schweinezucht, Baden-Württemberg



Hofgut Neumühle, Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hessen



Institut für Binnenfischerei (IFB)



Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Abt. Landwirtschaft und Gartenbau, Brandenburg



Landesanstalt für Landwirtschaft. Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG)



Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)



Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA), Mecklenburg-Vorpommern



Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Baden-Württemberg



Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)



Landwirtschaftskammer Niedersachsen



Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen



Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Institut für Bienenkunde Celle



Agro cience RLP AgroScience



Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)



Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg, Baden-Württemberg



Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Bayern



Thüringer Landesamt für Thorngen 🖁 🚞 Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)







## **Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA)**

c/o Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Telefon: +49 (0) 531 596-1017/-1019

E-Mail: info@dafa.de Web: www.dafa.de



