



UFOP-SCHRIFTEN | AGRAR

ABSCHLUSSBERICHT

Zusammenspiel von ökonomischer Vorzüglichkeit und Klimaschutzpotenzial der Körnerleguminosen in der deutschen Landwirtschaft mit Hinweisen zur Umsetzung einer Förderung

Autoren

Christian Sponagel, Elisabeth Angenendt, Beate Zimmermann, Enno Bahrs

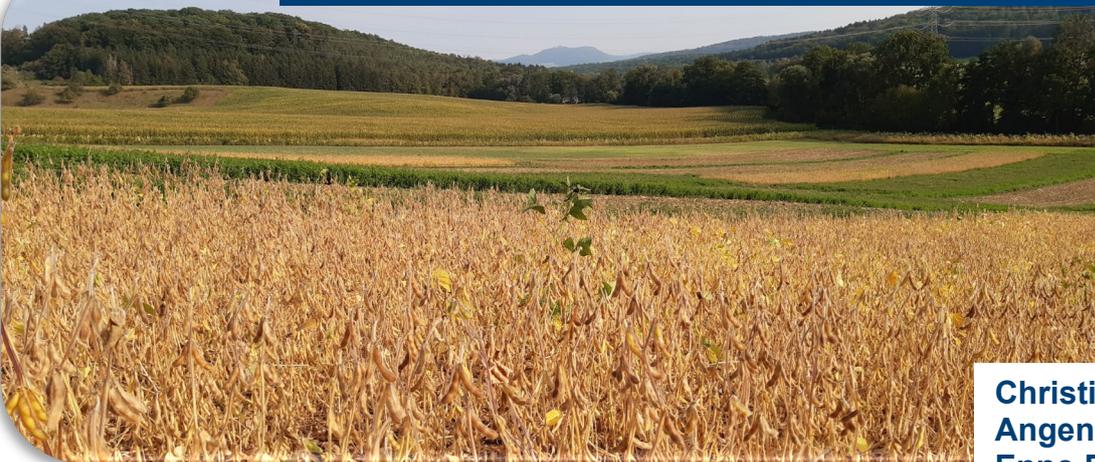
Universität Hohenheim

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

**Zusammenspiel von ökonomischer
Vorzüglichkeit und
Klimaschutzpotenzial der
Körnerleguminosen in der deutschen
Landwirtschaft mit Hinweisen zur
Umsetzung einer Förderung**



**Christian Sponagel, Elisabeth
Angenendt, Beate Zimmermann,
Enno Bahrs**



**Universität Hohenheim
Institut für Landwirtschaftliche
Betriebslehre**

Inhalt

1.	Einleitung	1
1.1.	Rolle der Eiweißpflanzen im Kontext von Klimaschutz und weiteren Umweltwirkungen in der deutschen Agrarwirtschaft	1
1.2.	Förderrechtliche Aspekte und Status Quo des Anbaus von Körnerleguminosen	3
1.3.	Ziele der Studie	5
2.	Material und Methoden	6
2.1.	Überblick über das Modell	6
2.2.	Beschreibung der Landnutzungsdaten für die Modellierung	7
2.3.	Bewertung der ackerbaulichen Nutzung aus ökonomischer Sicht und agronomische Rahmenbedingungen im Modell	7
2.4.	Berücksichtigung der Stickstoffaufwendungen im Modell	8
2.5.	Modellierte Optimierung der Landnutzung im Kontext der Einführung einer Prämie für Körnerleguminosen	10
2.6.	Klimawirkungen des Körnerleguminosenanbaus	12
2.6.1.	Kalkulation der eingesparten Treibhausgasemissionen	12
2.6.2.	Berechnung der THG-Vermeidungskosten	14
2.7.	Berechnung der Proteinproduktion	14
2.8.	Beschreibung der Szenarien	15
3.	Ergebnisse	15
3.1.	Entwicklung der Flächen- und Produktionsumfänge	15
3.2.	Auswirkungen auf die Proteinproduktion	23
3.3.	Auswirkungen der Förderung von Körnerleguminosen auf die THG-Emissionen	24
4.	Diskussion	27
4.1.	Entwicklung der Flächenausdehnung und Proteinproduktion	27
4.2.	Treibhausgasverminderungspotenzial und -kosten	28

4.3. Diskussion zur Umsetzung der Modellierung	29
4.4. Weitere Umwelteffekte der Ausdehnung von Körnerleguminosen	31
4.5. Empfehlungen zur politischen Umsetzung	31
5. Schlussfolgerung	34
6. Zusammenfassung	35
7. Summary	36
Literaturverzeichnis	37
Anhang	43

1. Einleitung

1.1. Rolle der Eiweißpflanzen im Kontext von Klimaschutz und weiteren Umweltwirkungen in der deutschen Agrarwirtschaft

Der Klimawandel stellt eine der größten globalen Herausforderungen unserer Zeit dar (UNESCO 2021). Daher ist der Klimaschutz aus gesellschaftlicher Sicht von zentraler Bedeutung und muss für unser wirtschaftliches Handeln ausreichend berücksichtigt werden. Die nationalen Klimaschutzziele sehen nach § 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65% im Vergleich zu 1990 vor und dazu muss auch die Landwirtschaft einen Beitrag leisten. Denn bis zum Jahr 2030 müssen im Sektor Landwirtschaft die jährlichen Treibhausgasemissionen (THGE) um 14 Mio. t CO₂Äq. im Vergleich zum Jahr 2020 vermindert werden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist es daher relevant, die THGE-Einsparungspotenziale zu ermitteln und auszuschöpfen, die mit möglichst geringen THGE-Vermeidungskosten verbunden sind.

In Kontext der THGE-Vermeidung können auch Körnerleguminosen einen wertvollen Beitrag leisten (Nemecek et al. 2008; Magrini et al. 2016; Jeuffroy et al. 2013). Durch die Fähigkeit von Leguminosen, in Symbiose mit Knöllchenbakterien Stickstoff aus der Luft zu fixieren (Nultsch 1982; Vollmann und Schweiger 2014) und diesen z.T. auch Folgekulturen zur Verfügung zu stellen (Böhm et al. 2020), kann der Einsatz von Stickstoffdüngemitteln reduziert werden, was u.a. eine Hauptquelle von klimawirksamen Lachgasemissionen (N₂O) aus der Landwirtschaft ist (Naudin et al. 2014; Voisin et al. 2014). Stickstoffdüngemittel zählen im Ackerbau generell zu den Hauptquellen der THGE (Feike et al. 2020) und im Vergleich zu anderen Kulturen wie Mais oder Getreide tragen die Körnerleguminosen zur Reduktion der düngungsinduzierten N₂O-Emissionen bei (Dequiedt und Moran 2015). Zur Erreichung des Ziels eines nachhaltigen Agrarsystems kann der Anbau heimischer Körnerleguminosen deshalb eine wichtige Komponente sein.

Der Bedarf an Eiweißfuttermitteln in Deutschland kann zudem derzeit nicht über die heimische Produktion abgedeckt werden. Im Kontext der sogenannten „Eiweißlücke“ müssen etwa 25% der Futtermitteliweiße (verdauliches Eiweiß) importiert werden. Wie die meisten Länder der EU ist Deutschland dabei überwiegend auf Importe aus Drittländern wie Brasilien, Argentinien oder den USA angewiesen (BLE 2020a). Diese Importe sind wiederum mit zahlreichen Umweltproblemen verbunden, die sich zum einen durch die Verlagerung von Nährstoffen in die Importländer sowie induzierte Landnutzungsänderungen in den Erzeugerländern ergeben (Weiher et al. 2018). Erhöhte Nährstoffkonzentrationen in den Importländern führen häufig zu erhöhten Nährstoffeinträgen in Böden und Gewässer sowie klimaschädlichen Emissionen von Ammoniak- und Klimagasen. Durch die Ausdehnung des Sojaanbaus in den

Erzeugerländern kommt es häufig zu einer erheblichen Beeinträchtigung von Ökosystemleistungen und Biodiversität (Voisin et al. 2014). Ein bedeutender Anteil der negativen Externalitäten unserer Ernährungsweise resultiert unter anderem aus den großen Mengen importierter Eiweißfuttermittel (Noleppa und Carlsburg 2015). Ausgehend von den bislang in Deutschland vergleichsweise geringen Anteil von Leguminosen ist ihre Erweiterung im Fruchtartenspektrums mit weiteren positiven agronomischen und umweltökologischen Effekten verbunden (Voisin et al. 2014; Magrini et al. 2016; Reckling et al. 2016). Zu diesen gehören phytosanitäre Effekte wie z.B. die Unterdrückung von Pflanzenkrankheiten wie Halmbruch oder Fusarium, eine positive Wirkung gegen Schädlingsbefall und das Auftreten von Unkräutern, die Verbesserung der Bodenstruktur sowie des Wasser- und Lufthaushalts, eine nährstoffmobilisierende Wirkung, die Bereitstellung von Blütentrachten für Insekten und die Förderung der biologischen Vielfalt (Böhm et al. 2020; DAFA 2012; Kremen und Miles 2012; Voisin et al. 2014; Karpisnki et al. 2020). Diese Ökosystemleistungen von Leguminosen fallen in Abhängigkeit der Boden- und Klimabedingungen sowie des jeweiligen (Referenz-)Anbausystems sehr unterschiedlich aus. In bereits vielfältigen Low-input-Systemen ergeben sich durch die Einführung von Leguminosen kaum ökologische, jedoch z. T. deutliche ökonomische Vorteile. Dagegen führt die Fruchtartendiversifizierung durch die Integration von Leguminosen in intensiven Anbausystemen mit sehr engen Fruchtfolgen häufig zu hohen ökologischen Leistungen mit z. T. betriebswirtschaftlichen Nachteilen (Reckling et al. 2016; Böhm et al. 2020; Karpisnki et al. 2020). Dies gilt zumindest bei kurzfristigen kulturartbezogenen Betrachtungen. Da sich zahlreiche ökologische Leistungen des Leguminosenanbaus erst mittel- bis längerfristig auswirken (Stickstoffnachlieferung, Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität etc.) und sich Effekte auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen ergeben (Anbaufläche, lokale und globale Ökosysteme), erfordert eine umfassende Bewertung der Ökosystemleistungen von Leguminosen eine räumlich und zeitlich erweiterte Systemanalyse. Trotz des nach wie vor hohen Bedarfs an Eiweißfuttermitteln und den positiven ökologischen Aspekten des Anbaus von Körnerleguminosen werden sie in Deutschland derzeit nur auf etwa 1,8% der Ackerfläche kultiviert (BLE 2020b). Dies liegt im Wesentlichen an der im Vergleich zu Konkurrenzfrüchten mangelhaften wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen sind mit Körnerleguminosen in Deutschland nur in wenigen Regionen Deckungsbeiträge oder Grundrenten zu erzielen, die mit den Konkurrenzfrüchten vergleichbar sind (Weiher et al. 2018; Zimmer und Böttcher 2021). Im Vergleich zu Kulturen wie Mais mit ähnlichen Standortansprüchen sind die Deckungsbeiträge für Sojabohnen häufig nicht konkurrenzfähig und unterliegen zudem jährlich stärkeren Schwankungen (Seifried et al. 2015). Bei den vielfach angestellten

kulturartspezifischen Deckungsbeitragsvergleichen werden jedoch mögliche Vorfruchteffekte der Körnerleguminosen häufig nicht berücksichtigt. Diese ergeben sich durch mögliche Stickstoffeinsparungen, Ertragssteigerungen, Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln sowie Bodenbearbeitungsmaßnahmen bei Folgekulturen in der Rotation. Sie variieren jedoch sehr stark in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftungsform (Böhm et al. 2020; Karpisnki et al. 2020). Weitere Hemmfaktoren für den Anbau von Körnerleguminosen sind neben mangelnder Ertragsleistung und Ertragssicherheit zum Teil auch Ernteschwierigkeiten durch mangelnde Standfestigkeit, Unkrautbesatz, Steine etc. sowie mangelnde Verwertungsmöglichkeiten und das günstige Angebot von Stickstoffdüngern und Eiweißfuttermitteln am Markt (Voisin et al. 2014; Magrini et al. 2016). Darüber hinaus besteht insbesondere in viehstarken Betrieben durch den hohen Anfall an organischem Dünger oft kein Spielraum für den Anbau von Körnerleguminosen (Zimmer und Böttcher 2021).

Zur Förderung des Anbaus von Körnerleguminosen sind in den vergangenen Jahren durch die Eiweißpflanzenstrategie des BMEL (2020) sowie einzelner Bundesländer wie Baden-Württemberg zahlreiche Demonstrationsnetzwerke (z.B. sojafoerderring.de, demoneterbo.agrarpraxisforschung.de, lupinen-netzwerk.de) entstanden, die den Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Forschung, Beratung und Praxis fördern sollen. In vielen Bundesländern werden Körnerleguminosen zudem im Rahmen von Agrarumweltprogrammen bzw. im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik gefördert (BMEL 2020), was im folgenden Abschnitt detaillierter beschrieben wird.

1.2. Förderrechtliche Aspekte und Status Quo des Anbaus von Körnerleguminosen

Der Anbau von Leguminosen wird aktuell in den meisten Bundesländern, mit Ausnahme von Berlin/Brandenburg, Niedersachsen/Bremen und dem Saarland, im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen im Kontext einer Fruchtartendiversifizierung gefördert. Die Maßnahmen setzen jeweils einen Mindestanteil von 10% Leguminosen in der Fruchtfolge voraus, wobei die Fördersätze zwischen 65 € und 90 € je ha und Jahr liegen (Tabelle 1). Teilweise gibt es spezielle Ausgestaltungen der vielfältigen Fruchtfolge im Kontext der Körnerleguminosen. So kann der Leguminosenanteil z.B. in Sachsen-Anhalt ganz oder zu 50% durch den Anbau von Körnerleguminosen erbracht werden, wodurch sich der Fördersatz von 90 € auf 110 € bzw. 100 € je ha und Jahr erhöht.

In Baden-Württemberg werden Leguminosen ebenfalls im Rahmen einer Fruchtartendiversifizierung, die einen Anteil von 10 % Leguminosen voraussetzt, gefördert. Mit einer Antragsfläche von 127.139 ha in 2019 hatte diese Maßnahme ihren Zielerreichungsgrad von 120.000 ha in 2020 schon mehr als erreicht (IfLS und ART 2019).

Neben diesen Maßnahmen zur Fruchtartendiversifizierung bietet allein das Bundesland Sachsen eine Maßnahme zur spezifischen Förderung des Leguminosen- bzw. Körnerleguminosenanbaus mit einer Förderhöhe von 244 € je ha und Jahr an.

Tabelle 1: Übersicht über gegenwärtigen Fördermöglichkeiten für den Anbau von Leguminosen bzw. Körnerleguminosen in den einzelnen Bundesländern im Rahmen der 2. Säule der GAP (Vgl. Anhang 1)

Agrarumweltmaßnahmen der 2. Säule			
Bundesland	Beschreibung	Körnerleguminosen speziell berücksichtigt	Jährlicher Fördersatz
Baden-Württemberg	FAKT A1: Fruchtartendiversifizierung mit mind. 10% Leguminosen	Nein	Max. 75 € je ha
Bayern	KULAP: Vielfältige Fruchtfolge mit - mind. 10% Leguminosen - mind. 10% großkörnigen Leguminosen	Ja	- 85 € je ha - 120 € je ha
Brandenburg / Berlin	-	-	-
Hamburg	Fünfgliedrige Fruchtfolge mit mind. 10% Leguminosen	Nein	Max. 90 € je ha
Hessen	HALM C.1: Vielfältige Kulturen im Ackerbau mit - mind. 10% Leguminosen - mind. 10% großkörnigen Leguminosen	Ja	- Max. 90 € je ha - Max. 110 € je ha
Mecklenburg- Vorpommern	Vielfältige Kulturen im Ackerbau mit - Mind. 10% Leguminosen - Mind. 10% großkörnige Leguminosen - Mind. 5% großkörnige Leguminosen	Ja	- Max. 65 € je ha - Max. 85 € je ha - Max. 75 € je ha
Niedersachsen / Bremen	-	-	-
Nordrhein-Westfalen	Vielfältige Kulturen im Ackerbau mit - Mind. 10% Leguminosen - Mind. 10% großkörnige Leguminosen	Ja	- Max. 90 € je ha - Max. 125 € je ha
Rheinland-Pfalz	EULLA: Vielfältige Kulturen im Ackerbau mit mind. 10% Leguminosen	Nein	Max. 90 € je ha
Saarland	-	-	-
Sachsen	AUNaP: Anbau von Leguminosen bzw. Körnerleguminosen auf mind. 10% der Ackerfläche	Ja	Max. 244 € je ha
Sachsen-Anhalt	MSL: Vielfältige Kulturen im Ackerbau - Mind. 10% Leguminosen - Mind. 10% großkörnige Leguminosen - Mind. 5% großkörnige Leguminosen	Ja	- Max. 90 € je ha - Max. 110 € je ha - Max. 100 € je ha
Schleswig-Holstein	MSL: Vielfältige Kulturen im Ackerbau - Mind. 10% Leguminosen - Mind. 10% großkörnige Leguminosen	Ja	- Max. 90 € je ha - Max. 110 € je ha
Thüringen	KULAP: Artenreiche Fruchtfolge mit mind. 10% Leguminosen	Nein	- Max. 90 € je ha

Die Anbaufläche für Hülsenfrüchte bzw. Körnerleguminosen lag im Jahr 2019 in Deutschland bei etwa 196.000 ha, was einem Anteil von etwa 1,7% der gesamten Ackerfläche entspricht. Betrachtet man die Entwicklung des Anbauanteils der Körnerleguminosen (Tabelle 1), so zeigt sich nach dem größeren Anstieg in den Jahren 2014/2015 trotz vorhandener Fördermöglichkeiten seit 2017 eher eine Stagnation der Anbauflächen (BLE 2020b).

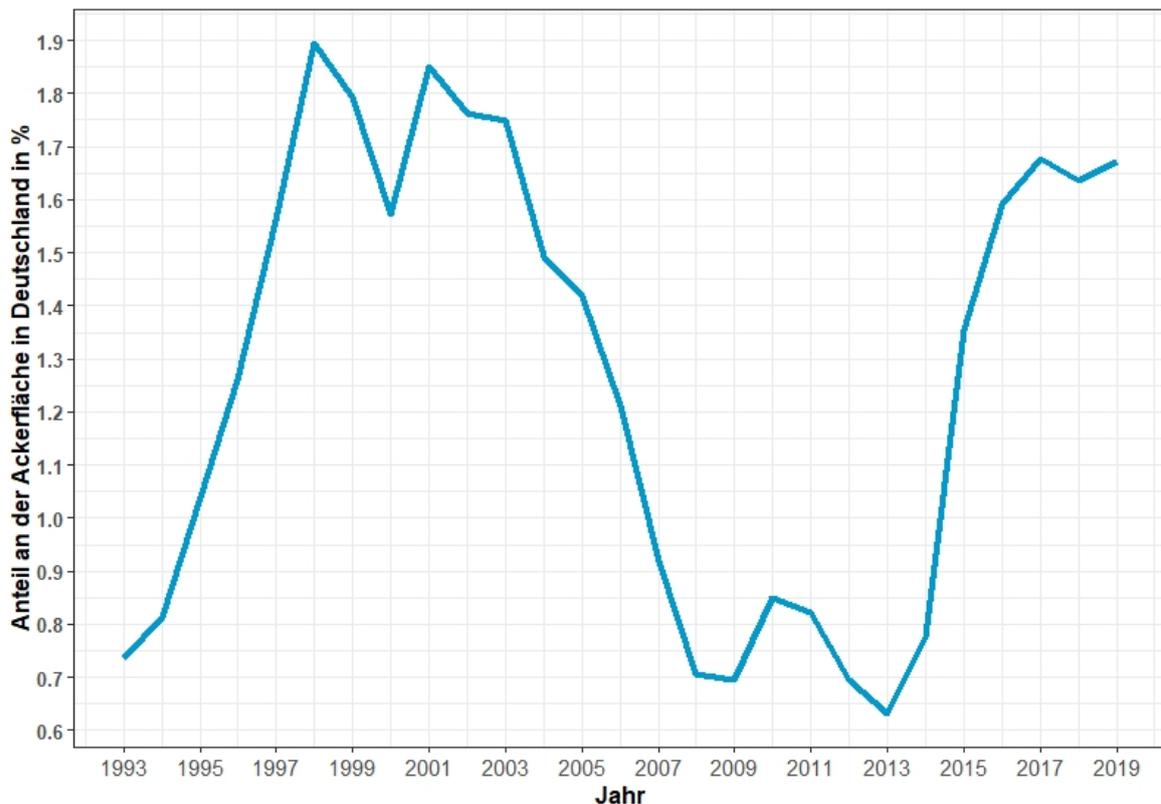


Abbildung 1: Entwicklung des Anteils der Körnerleguminosen an der Ackerfläche in Deutschland zwischen den Jahren 1993 und 2019 (BLE 2020b).

1.3. Ziele der Studie

Unter Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen für den Anbau von Körnerleguminosen soll in dieser Studie analysiert werden, inwiefern eine zusätzliche flächenbezogene Prämie neben den bestehenden Fördermöglichkeiten den Anbau von Körnerleguminosen fördern könnte, um ihre positiven Versorgungs- und Umwelteffekte, aber insbesondere ihre positiven Klimaeffekte zu verstärken, die mit dem Green Deal und der GAP-Reform sowie nationaler Politiken zukünftig verstärkt adressiert werden sollen. Im Rahmen dieser Untersuchung gehen wir zunächst von der Hypothese aus, dass die Anbauflächen durch die Einführung dieser Prämie steigen werden. Zudem nehmen wir an, dass es innerhalb des Bundesgebiets regionale Disparitäten im Hinblick des Potenzials der Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen gibt. Wir vermuten ferner, dass die Vermeidungskosten für THG-Emissionen beim Anbau von Körnerleguminosen unter

Berücksichtigung der modellierten Förderprämien vergleichsweise gering sind und damit, auch aufgrund der vielen anderen zuvor genannten positiven Effekte von Körnerleguminosen, eine privilegierte Positionierung/Förderung bei der zukünftigen GAP erhalten sollten. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen verwenden wir einen Modellierungsansatz der nicht-linearen Programmierung, welcher im nachfolgenden Kapitel 2 beschrieben wird. Dabei wird das räumlich differenzierte Anbaupotenzial von Körnerleguminosen in Abhängigkeit von bundeseinheitlichen Prämienhöhen auf Landkreisebene untersucht. Auf Basis der modellierten Flächenumfänge wird dann das Minderungspotenzial von THG-Emissionen und die damit verbundenen Vermeidungskosten berechnet.

2. Material und Methoden

2.1. Überblick über das Modell

Ausgangspunkt der Analyse ist eine nicht-lineare Modellierung mit Berücksichtigung der Anbaustrukturen auf Landkreisebene in Deutschland, welche in Abbildung 2 schematisch dargestellt ist. Ausgehend vom Status Quo wird eine flächenbezogene Prämie für den Anbau von Körnerleguminosen in das Modell eingeführt und die Auswirkungen auf die Landnutzung betrachtet. Die verschiedenen Modellkomponenten werden nachfolgend erläutert.

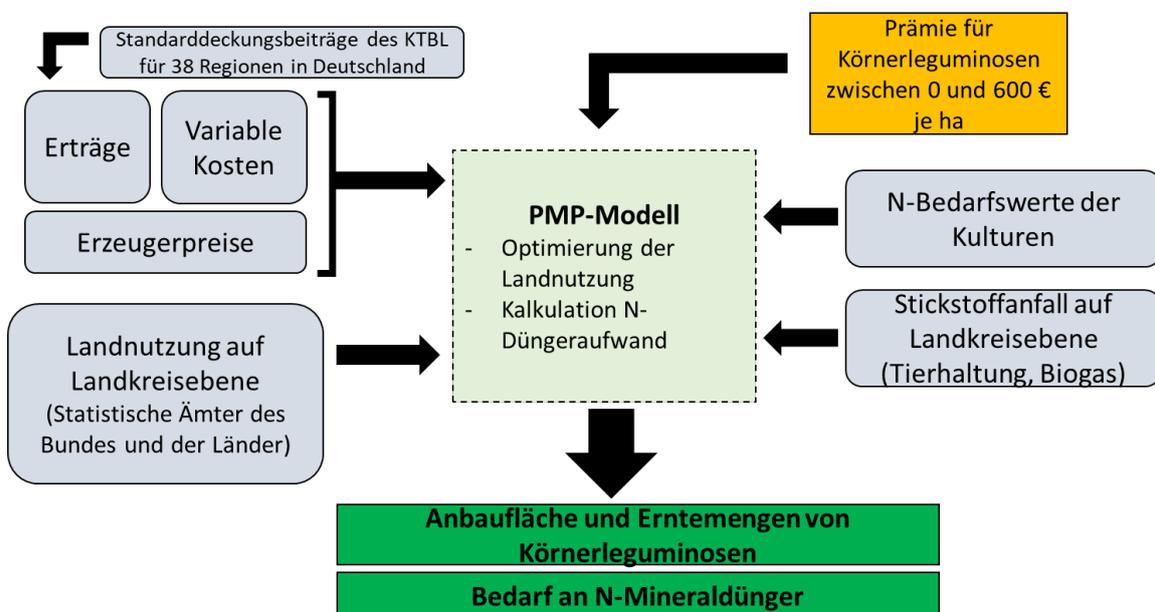


Abbildung 2: Überblick über den Aufbau des Modells

2.2. Beschreibung der Landnutzungsdaten für die Modellierung

Die Nutzung des Ackerlands auf Ebene der Land- bzw. Stadtkreise (NUTS 3 – Regionen) in Deutschland basiert auf Daten der Agrarstrukturerhebung 2016 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2020a). Dabei werden insgesamt 15 Frucht- bzw. aggregierte Kulturartengruppen betrachtet, die im Modell die Summe des Ackerlands je Landkreis ausmachen. Die Körnerleguminosen werden dabei in Sojabohnen sowie sonstige Körnerleguminosen (Futtererbsen, Ackerbohnen und Lupinen) eingeteilt. Die landkreisspezifische Aufteilung der Körnerleguminosen basiert auf zusätzlichen länderübergreifend angefragten Daten der Agrarstrukturerhebung 2016 (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2021; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2017; Thüringer Landesamt für Statistik 2017; Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt 2021; Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern 2017; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2021; Statistisches Amt Saarland 2017). Aufgrund teilweise nicht vorhandener Daten bzw. keinem vorhandenem Ackerland in einigen Landkreisen werden insgesamt 395 von 401 Land- bzw. Stadtkreisen berücksichtigt, wobei die Summe der Ackerfläche bei 11,1 Mio. ha liegt. Demnach sind im Modell etwa 95% der Ackerfläche repräsentiert (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2021). Die Differenz ergibt sich z.B. durch die Nichtberücksichtigung ökologischer Vorrangflächen (ÖVF) oder stillgelegter Flächen. Dadurch wird implizit angenommen, dass deren Anteil konstant bleiben muss. Zusätzlich stehen auf Ebene der Bundesländer die vorläufigen Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2020 zur Verfügung (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Diese werden anhand der Anbauanteile auf die Flächensummen der Bundesländer aus dem Jahr 2016 zur weiteren Verwendung im Modell angepasst. Eine Umwandlung von Grünland in Ackerland ist somit in der Betrachtung nicht möglich.

2.3. Bewertung der ackerbaulichen Nutzung aus ökonomischer Sicht und agronomische Rahmenbedingungen im Modell

Die ökonomische Bewertung der Kulturarten erfolgt auf Basis der Standarddeckungsbeiträge des KTBL (2021), die für 38 Regionen (NUTS 2 - Regionen) vorliegen. Darauf aufbauend werden regionalspezifische Erträge (mit Ausnahme von Sojabohnen), variable Direktkosten und Erzeugerpreise für die einzelnen Kulturarten abgeleitet und den NUTS 3 – Gebietseinheiten zugeordnet. Aus den Erlösen und Kosten werden anschließend im Modell Standarddeckungsbeiträge (SDBs) für die Kulturen abgeleitet.

Zahlungen bzw. Wirkungen aus der ersten und zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik werden nicht berücksichtigt. Aus umsatzsteuerlicher Sicht sind alle Preise und variablen Kosten Nettobeträge.

Die Erzeugerpreise und Direktkosten der KTBL Standarddeckungsbeiträge werden zusätzlich für Sojabohnen nochmals mit Daten des Sojaförderrings validiert und angepasst. Um die spezifischen Standortansprüche der Sojabohne zu berücksichtigen, wird die Deutschlandkarte der Anbaueignung von Sojabohnen von Roßberg und Recknagel (2017) herangezogen. Durch eine Verschneidung der Geodaten mit Corine Land Cover Daten (BKG 2021) und Polygonen der Landkreise (BKG 2018), wird je Landkreis der Anteil an Ackerland mit einer mindestens ausreichenden Standorteignung für den Anbau von Sojabohnen abgeleitet. Ein Anbau von Sojabohnen in nicht geeigneten Regionen wird dadurch im Modell auf etwa 27% der Ackerfläche in Deutschland ausgeschlossen.

Darauf aufbauend wird auf Basis von Ertragsschätzungen für die drei Klassen der Anbaueignungskarte nach Mirsch (2021) je Landkreis ein nach den Anteilen der Klassen gewichteter Ertrag für Sojabohnen je ha für die Modellierung abgeleitet.

Bei der Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen müssen zudem bestimmte agronomische Restriktionen berücksichtigt werden. Daher sind der Gesamtanteil an Körnerleguminosen insgesamt auf 30% sowie der Anteil von Sojabohnen auf 25% und der Anteil von sonstigen Körnerleguminosen auf 20% an der Ackerfläche je Landkreis begrenzt (Böhm et al. 2020). Zudem wird die Annahme getroffen, dass in Landkreisen in denen bisher keine Sojabohnen oder andere Körnerleguminosen angebaut wurden, der Anteil an der Ackerfläche im Modell maximal 3% betragen kann. Dies entspricht etwa den Anbauanteilen von Landkreisen mit einem relativ hohen Anteil im Status Quo.

2.4. Berücksichtigung der Stickstoffaufwendungen im Modell

Neben der ökonomischen Bewertung wird im Modell auch der Bedarf an Stickstoffdünger (N-Dünger) in Abhängigkeit des Ertrags für die Ackerkulturen kalkuliert. Zu diesem Zweck werden gemäß Tabelle 1 der Anlage 7 der Düngeverordnung (DüV) Stickstoffbedarfsfaktoren entsprechend der Nährstoffgehalte (kg N je dt FM) in den Hauptprodukten der Kulturen abgeleitet. Bei Getreide wird davon abweichend zusätzlich der Bedarf der Nebenprodukte zu 60% angerechnet, d.h. in 60% der Fälle wird eine Strohabfuhr angenommen. Bei den Futterpflanzen wird gemäß Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020) eine Mischung aus Ackergras und Leguminosen unterstellt, d.h. der N-Faktor entspricht 60% des Bedarfs von Ackergras. Nach Häußermann et al. (2019) beträgt die durchschnittliche tatsächlich ausgebrachte N-Düngermenge etwa 113% des N-Bedarfs,

was bei den N-Faktoren im Modell ebenfalls berücksichtigt wird. Die maßgeblichen N-Faktoren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten N-Bedarfsfaktoren für die einzelnen Kulturen im Modell.

Kulturart	N-Bedarf in kg je dt FM
Weizen	2,72
Gerste	2,29
Roggen	2,20
Hafer	2,20
Körnermais	2,50
Sonstiges Getreide	2,36
Silomais	0,53
Futterpflanzen	1,79
Zuckerrüben	0,20
Kartoffeln	0,40
Winterraps	3,79
Sonstige Ölfrüchte	3,29
Soja	0
Körnerleguminosen	0
Sonstige	0
Hülsenfrüchte*	

Zur Ableitung des Bedarfs an mineralischem N-Dünger werden im Modell auch die anfallenden Mengen an organischem N-Dünger einbezogen. Dazu gehören die Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung sowie Gärreste aus Biogasanlagen. Die N-Mengen aus der Tierhaltung aus dem Jahr 2016 werden gemäß den anfallenden Mengen aus der Tierhaltung auf Ebene der Bundesländer nach Haenel et al. (2020) auf die einzelnen Landkreise gemäß der jeweiligen Anteile der Großvieheinheiten (GV) im Jahr 2016 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2020b) verteilt. Von diesen anfallenden Mengen auf Landkreisebene wird nun ein anhand der deutschlandweiten mittleren Erträge für Wiesen und Weiden (BLE 2020b) geschätzter N-Bedarf für das Grünland je Landkreis in Höhe von 120 kg N je ha subtrahiert. Dies bezieht sich damit nur auf die organische N-Düngung des Grünlands.

Die anfallenden N-Düngermengen aus Gärresten werden auf Basis der gesamten Bruttostromproduktion der Biogasanlagen in Deutschland im Jahr 2019 (Fachverband Biogas 2020), der installierten Leistung der Biogasanlagen auf Landkreisebene nach Auburger et al. (2016) sowie den nach Bundesländern differenzierten spezifischen Stickstoffeinträgen aus Biogasanlagen in t N pro GWh eingespeister Arbeit nach Häußermann et al. (2019) für die N-Mengen aus Energiepflanzen kalkuliert. Wirtschaftsdünger werden nicht betrachtet, da diese bei den N-Mengen aus der Tierhaltung schon berücksichtigt sind. Zunächst erfolgt die Aufteilung der gesamten Stromproduktion in

GWh auf die Landkreise nach der installierten Leistung. Auf dieser Basis werden dann mit Hilfe der spezifischen Stickstoffeinträge die N-Mengen auf Landkreisebene berechnet.

Nach Häußermann et al. (2019) können etwa 60% der ausgebrachten organischen N-Düngermengen als düngewirksam angesehen werden. Nach § 4 Abs. 1 Nr. 5 DüV sind im Folgejahr grundsätzlich noch einmal 10% der im Vorjahr ausgebrachten N-Menge als wirksam anzurechnen. Zur Ableitung des mineralischen Stickstoffdüngerbedarfs in Deutschland bzw. auf Bundeslandebene werden daher 70% der anfallenden organischen N-Düngermengen auf den gesamten N-Bedarf der Ackerkulturen angerechnet.

2.5. Modellierte Optimierung der Landnutzung im Kontext der Einführung einer Prämie für Körnerleguminosen

Der Ansatz der positiven mathematischen Programmierung (PMP) bildet die Grundlage für die Optimierung der Landnutzung im Modell (Howitt 1995). Das Modell besteht dabei aus einem linearen und einem nicht-linearen Teil. Dadurch können im Vergleich zur linearen Programmierung auch implizite Kosten berücksichtigt werden, die aufgrund fehlender Fakten in der Regel kaum durch Nebenbedingungen erfasst werden können (Röhm und Dabbert 2003). Diese impliziten Kosten sorgen für eine Veränderung der Grenzkosten einer Aktivität mit dem Umfang des Produktionsvolumens (Wälzholz 2003). Da die Landnutzungsdaten für das Jahr 2020 nicht auf Landkreisebene, sondern auf Bundeslandebene vorliegen, erfolgen zwei aufeinanderfolgende Modellkalibrierungen.

In jeder der beiden Kalibrierungen werden für jede Kulturart in jedem Landkreis Schattenpreise abgeleitet. Zu diesem Zweck wird die Landnutzung in der ersten Kalibrierung in jedem Landkreis durch eine entsprechende Nebenbedingung auf den Status Quo des Jahres 2016 fixiert (1) und ein lineares Modell gelöst. Die Schattenpreise werden danach im zweiten Teil des Modells als Parameter in der nicht-linearen Zielfunktion zur Reproduktion des Status Quo genutzt. Im Status Quo sind damit implizit alle vorhandenen Fördermöglichkeiten im Rahmen der ersten und zweiten Säule der GAP in den einzelnen Bundesländern enthalten. Grundsätzlich obliegt dem Modell dadurch die Annahme, dass die Landnutzung im Status Quo unter förderrechtlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten bereits optimiert ist.

Generell besteht das Modell aus 395 Landkreisen mit $i = \{1, \dots, 395\}$, welche zu 16 Bundesländern aggregiert werden können mit $l = \{1, \dots, 16\}$. Zudem gibt es 15 mögliche Kulturen bzw. Aktivitäten $k = \{1, \dots, 15\}$. Aus mathematischen Gründen wird die Kostenfunktion im Modell in einen nicht-linearen und einen linearen Teil aufgeteilt. Bei Kulturen, die im Status Quo in einem Landkreis nicht vorkommen, wird dadurch eine Division durch Null vermieden. Ein solcher Modellansatz kann nach Feusthuber et al. (2017) wie folgt dargestellt werden. Die Gleichungen (1) – (4) beziehen sich in diesem Fall auf den

nicht-linearen Teil des Modells und die Gleichung (5) auf den linearen Teil im ersten Modelllauf.

$$\max DB = \sum_{i,k} (DB_{i,k} X_{i,k}) - \begin{cases} \sum_i \frac{\rho_{i,k} \tilde{X}_i^\alpha}{\alpha x_i^0 (\alpha-1)}, & x_i^0 > 0 \\ \sum_i \rho_{i,k} \tilde{X}_i, & x_i^0 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_k (X_{i,k} BL_{i,l}) = x_i^0 \quad \forall l \quad (2)$$

$$\sum_k X_{i,k} \leq b_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_k X_{i,k} = \tilde{X}_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_k X_{i,k} = x_i^0 \quad \forall i \quad (5)$$

Auf Basis der Zielfunktion (1) werden die DB auf Basis der gewählten Landnutzung je Landkreis $X_{i,k}$ über alle Landkreise summiert und der Gesamtdeckungsbeitrag maximiert. Die PMP-Kostenfunktion beinhaltet die Schattenpreise aus dem linearen Modellteil $\rho_{i,k}$, die Variable für die Landnutzung \tilde{X} , die Landnutzung im Status Quo 2016 x_i^0 und den PMP-Parameter α unter Annahme des Wertes 2 (Feusthuber et al. 2017). Gleichung 2 ermöglicht dabei, dass die Summen der Kulturen auf Bundeslandebene x_i^0 der Verteilung aus dem Jahr 2020 entsprechen. $BL_{i,l}$ ist dabei eine Binärmatrix mit der Zugehörigkeit der Landkreise zu den Bundesländern. Durch Gleichung (3) wird die Summe der Landnutzung auf die verfügbare Ackerfläche je Landkreis b_i begrenzt. Die Schattenpreise werden mit Hilfe von Gleichung (5) abgeleitet, wobei die modellierte Landnutzung auf den Status Quo 2016 fixiert wird. Außerdem wird im Rahmen der Kalibrierung der Gesamtdeckungsbeitrag ($\sum_{i,k} (DB_{i,k} X_{i,k})$) maximiert. In Bezug auf die Körnerleguminosen müssen dabei die oben genannten agronomischen Fruchtfolgebeschränkungen eingehalten werden. Um eine Konvergenz des Modells zu erreichen, kann sich der Anbauumfang von Körnerleguminosen maximal um das 3,5-fache in einem Landkreis verändern.

Als Ergebnis des ersten Modells ergibt sich nun eine neue landkreisspezifische Landnutzung x_i^n , die die Anbauumfänge des Jahres 2020 widerspiegelt. Nun erfolgt die zweite Kalibrierung des Modells auf die neue generierte Landnutzung. Zu diesem Zweck wird x_i^0 durch x_i^n in den Gleichungen (1) und (5) substituiert.

Im Kontext einer Förderpolitik wird nun eine Prämie P_k für den Anbau von Körnerleguminosen (Sojabohnen und sonstige Körnerleguminosen) ins Modell eingeführt (6). In einem ersten Szenario wird eine bundeseinheitliche Prämie betrachtet, welche in Schritten von 20 € je ha auf bis zu 600 € je ha erhöht wird. Zusätzlich gelten die Gleichungen (3) - (4). Außerdem darf mit Ausnahme der Körnerleguminosen keine Kultur den Anbauumfang im Status Quo im Landkreis übersteigen.

$$\max DB = \sum_{i,k} ((DB_{i,k} + P_k)X_{i,k}) - \begin{cases} \sum_i \frac{\rho_{i,k} \tilde{X}_i^\alpha}{\alpha x_i^{0(\alpha-1)}}, & x_i^0 > 0 \\ \sum_i \rho_{i,k} \tilde{X}_i, & x_i^0 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Im Modell wird endogen der gesamte Stickstoffbedarf $Nges_i$ je Landkreis in Abhängigkeit des Ertrags $yield_{i,k}$ und der N-Bedarfsfaktoren aus Tabelle 2 N_k kalkuliert (7).

$$Nges_i = \sum_k (X_{i,k} yield_{i,k} N_k) \quad (7)$$

Nach Zimmer und Böttcher (2021) stellt der Anbau von Körnerleguminosen gerade in Veredlungsregionen aus Sicht der DüV ein Problem dar. Daher wird angenommen, dass das Verhältnis aus N-Gesamtbedarf und dem anfallenden organischen Dünger auf Ebene der Regierungspräsidien (NUTS-2 Regionen) nicht kleiner werden darf als es das Minimum im Status Quo. Dies entspricht dem Wert im ehemaligen RP Weser-Ems (Bremen wurde als Stadtstaat von dieser Restriktion ausgenommen). Der Bedarf an mineralischem N-Dünger in Deutschland ergibt sich dann aus Gleichung (8) nach Abzug von 70% des anfallenden organischen Düngers aus der Tierhaltung und Biogasanlagen $Norg_i$.

$$N_{min} = \sum_i (Nges_i - 0.7 Norg_i) \quad (8)$$

2.6. Klimawirkungen des Körnerleguminosenanbaus

Wie bereits in Kapitel 1.1 beschrieben, sind mit dem Anbau von Leguminosen zahlreiche positive Umwelt- und Klimaeffekte verbunden. Im Rahmen dieser Studie soll Letzteres als Beitrag zur Senkung landwirtschaftlicher THG-Emissionen aufgezeigt werden.

2.6.1. Kalkulation der eingesparten Treibhausgasemissionen

Für die Berechnung der eingesparten THG-Emissionen fließt zum einen die eingesparte Menge an Stickstoffdünger des Körnerleguminosenanbaus im Vergleich zum Bedarf sonstiger konventioneller üblicher Ackerbaukulturen mit ein. Diese Menge ergibt sich anhand der in Kapitel 2.5 beschriebenen Vorgehensweise zur Ermittlung der

Stickstoffaufwendung. Des Weiteren werden verschiedene Vorfruchteffekte berücksichtigt. Zur deren Ableitung wird die von Böhm et al. (2020) veröffentlichte Metastudie zu Vorfruchtwerten von Leguminosen genutzt. In dieser Übersichtsarbeit zur Rolle von Leguminosen in Fruchtfolgen wurden zahlreiche Veröffentlichungen zum Vorfruchtwert von Leguminosen analysiert. Die Zahlen in Tabelle 3 verdeutlichen, dass die Aussagen zum Vorfruchtwert sehr unterschiedlich ausfallen. Vergleichsweise einheitlich sind die Ergebnisse im Bereich der Einsparung von Stickstoff bei der nachfolgenden Kultur. Beim Mehrertrag, der i.d.R. im Vergleich zu Weizen als Folgefrucht ausgewiesen wird, weisen die verschiedenen Autoren deutliche Spannen auf, die von nahezu keinem Mehrertrag bis zu 25 dt/ha der Folgekultur, meist Wintergerste oder Winterweizen, reichen. Angaben zur Einsparung im Bereich von Pflanzenschutzmitteln oder bei der Bodenbearbeitung werden nur von wenigen der analysierten Studien ausgewiesen. Die Spanne des monetären Vorfruchtwertes von Leguminosen liegt zwischen knapp 100 und 470 €/ha. Er fließt im Rahmen unserer Studie aber nicht in die weiteren Berechnungen ein.

Zur Berechnung des THG-Reduktionspotenzials durch die Leguminosen wird nachfolgend zum einen der eingesparte N-Bedarf der Folgekultur angerechnet. Für diesen Wert werden 30 kg N je ha Körnerleguminosenfläche angesetzt. Vereinfacht wird angenommen, dass es sich hierbei um Mineraldünger handelt. Zum anderen wird für den Mehrertrag der Folgekultur gemäß der Analyse von Böhm et al. (2020) ein mittlerer Wert von 9 dt Winterweizen angenommen und mit den zur Produktion dieser Menge verursachten THG-Emissionen berücksichtigt. Hierfür wurde ein Standardwert aus dem Ökobilanzierungsprogramm Ecoinvent für durchschnittliche Produktionsbedingungen in Deutschland verwendet.

Tabelle 3: Untersuchungen zum Vorfruchtwert von Körnerleguminosen

	Mehrertrag 1. Folgekultur	Einsparung Stickstoff	Einsparung Pflanzen- schutzmittel	Einsparung Bodenbearbeitung	Vorfruchtwert
Studie	(dt ha ⁻¹)	(kg N ha ⁻¹)	(€ ha ⁻¹)	(€ ha ⁻¹)	(€ ha ⁻¹)
ALBRECHT & GUDDAT (2004)	9,2	5-24	k.A.	k.A.	118-138
LOTKE-ENTRUP et al. (2005)	0,5 -25	0-20	5-24	k.A.	98-380
von RICHTHOFEN et al. (2006a)	0,5-1	30	35	k.A.	152-204
ALPMANN et al. (2013)	6,3	27	k.A.	35	> 244
ALPMANN und SCHÄFER (2014)	5-15	5-35	0-50	20-60	127-471
PREISSEL et al. (2017)	5-15	23-31	< 50	70 -125	160-300
ZERHUSEN-BLECHER et al. (2018)	6,6 -7,5 ^a	28-32	k.A.	23 -42	155 -188

Quelle: Böhm et al. (2020)

In Tabelle 4 sind die bei den nachfolgenden Modellberechnungen verwendeten Minderungspotenziale durch den Körnerleguminosenanbau noch mal zusammenfassend dargestellt. Im Anbaujahr werden zum einen anhand der eingesparten Mineraldüngeremenge die reduzierten düngungsinduzierten direkten und indirekten Lachgasemissionen berechnet. Und zum anderem die THG-Emissionen, die bei der Mineraldüngerproduktion eingespart werden könnten. Dies erfolgt nach dem Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (Arbeitsgruppe BEK 2016).

Eine differenzierte Ausweisung der beiden Emissionsbereiche ist notwendig, weil nur die bodenbürtigen Lachgasemissionen dem Sektor Landwirtschaft im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung angerechnet werden würden (Haenel et al. 2020).

Das THG-Minderungspotenzial im Folgejahr wird dann in Bezug der in den Szenarien berechneten Körnerleguminosenfläche berechnet. Da das Minderungspotenzial durch die Einsparung des Mineraldüngers nicht mehr in die Sektorbilanz einfließen würde, wird auf eine differenzierte Ausweisung der Einsparungseffekte von Lachgasemissionen aus den Böden und der Mineraldüngerproduktion verzichtet.

Tabelle 4: Minderungspotenzial an THG-Emissionen durch den Anbau von Körnerleguminosen

	Minderungspotenzial
Im Anbaujahr	kg CO₂-Äq./kg eingesparten N
N ₂ O aus dem Boden (direkt+indirekt)	6,3
Produktion N-Dünger	7,9
Im Folgejahr	kg CO₂-Äq./ha KL-Fläche
Einsparung Mineraldünger (30 kg)	427,3
Mehrertrag Winterweizen (9 dt)	380,4

2.6.2. Berechnung der THG-Vermeidungskosten

Die Berechnungen der THG-Vermeidungskosten ergeben sich anhand der im Rahmen der Modellszenarien betrachteten Prämienhöhen mal dem Anbauumfang der Körnerleguminosen und dem errechneten THG-Minderungspotenzial. Dabei werden zwei verschiedene Niveaus ausgewiesen. Zum einen wird die Emissionsmenge berücksichtigt, die wie zuvor beschrieben, im Rahmen der nationalen Berichterstattung auch dem Sektor Landwirtschaft angerechnet werden würde. Und zum anderen werden auch die Emissionen bewertet, die dann bei einem anderen Sektor angerechnet werden würden, wie z.B. der Mineraldüngerindustrie. Die Vermeidungskosten, die sich aus dem gesamten THG-Minderungspotenzial ergeben würden, spiegeln eine umfassendere Betrachtung und Bewertung wider.

2.7. Berechnung der Proteinproduktion

Die Berechnung der erzeugten Proteinmengen erfolgt auf Basis der Erträge und durchschnittlichen Proteingehalte der Ernteprodukte nach LfL (2015). Demnach wird für

Sojabohnen ein Gehalt von 33% bzw. für sonstige Körnerleguminosen ein nach den Anbauanteilen im Status Quo gewichteter Gehalt von 24,4% im Erntegut unterstellt.

2.8. Beschreibung der Szenarien

Im Rahmen der Studie werden vier unterschiedliche Szenarien (1, 1b, 1c und 2) berechnet und mit dem Status Quo verglichen. In Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass grundsätzlich alle Ackerkulturen substituierbar sind. Dieses Szenario entspricht in den nachfolgenden Modellrechnungen dem „Business as usual“ Szenario. Dementgegen muss in Szenario 2 die Fläche an Ackerfutterpflanzen zur Grünernte inkl. Silomais konstant bleiben, um dem Fütterungsbedarf der Tierhaltung bzw. Substratbedarf der Biogasanlagen Rechnung zu tragen. In Szenario 1, 1c und 2 gilt die in Kapitel 2.3 beschriebene Annahme, dass in Landkreisen in denen bisher keine Sojabohnen oder andere Körnerleguminosen zu beobachten waren, auf max. 3 % der für den Sojaanbau geeigneten Ackerfläche Sojabohnen angebaut werden können. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse zu Szenario 1, wird in Szenario 1b alternativ die restriktive Annahme getroffen, dass Sojabohnen und Körnerleguminosen im Modell nur in denen Landkreisen als Option zur Verfügung stehen, wo im Status Quo bereits ein Anbau erfolgt. Im Gegensatz hierzu gehen wir in Szenario 1c davon aus, dass in näherer Zukunft züchterische Fortschritte erzielt werden können. Im Rahmen der Modellrechnungen wird das durch einen Ertragsanstieg von 20% umgesetzt (Tabelle 5), bei dem jedoch alle anderen Kulturen aus Vereinfachungsgründen stabil bleiben. D.h., es wird letztlich ein entsprechend höherer Züchtungsfortschritt (oder indirekt eine vergleichsweise höhere Inwertsetzung) der Körnerleguminosen unterstellt.

Tabelle 5: Überblick über die Annahmen in den einzelnen Szenarien

Szenario	Substitution von Ackerfutter und Silomais möglich	Anbaurestriktion auf Landkreise wo schon bisher Anbau stattfindet	Züchterischer Fortschritt bei Körnerleguminosen
1	Ja	Nein	Nein
1b	Ja	Ja	Nein
1c	Ja	Nein	+ 20% Mehrertrag
2	Nein	Nein	Nein

3. Ergebnisse

3.1. Entwicklung der Flächen- und Produktionsumfänge

Abbildung 3 gibt einen Überblick über den Verlauf der Angebotskurven für die Anbauflächen von Körnerleguminosen in Abhängigkeit einer Prämie zwischen 0 und 600 € je ha in Deutschland. Im Vergleich zu Szenario 1 ist die Anbaufläche in Szenario 2 jeweils nur unwesentlich geringer. Das heißt, auch bei unveränderter Ackerfutterfläche kommt es nicht

zu einem erheblich geringeren Angebotspotential von Körnerleguminosen. Deutliche Differenzen gibt es allerdings im Vergleich zu Szenario 1b. Die Annahme eines begrenzten Ausdehnungspotentials von Körnerleguminosen in Regionen ohne Anbau im Status Quo (Szenario 1b) führt zu einem geringeren Anbaupotential bzw. höheren Förderbedarf. Bis zu einer Prämie von 100 € je ha verläuft die Angebotskurve insbesondere in den Szenarien 1 und 2 vergleichsweise flach. In Szenario 1c ist auch unabhängig einer Prämie, ein Anstieg der Flächen im Vergleich zum Status Quo zu beobachten. Je nach Szenario werden zwischen rund 270.000 ha (2,4% der AF) in Szenario 1 b und 470.000 ha (4,2% der AF) in Szenario 1c Körnerleguminosen angebaut. Bei einer Prämie von 600 € je ha kann auf Bundesebene je nach Szenario eine Anbaufläche zwischen etwa 600.000 und 810.000 ha bzw. ein Anteil zwischen 5,4% und 7,3% in der Fruchtfolge erreicht werden. Bei einer Prämienhöhe von 300 € je ha liegt dieser Anteil zwischen 3,6% und 5,5%.

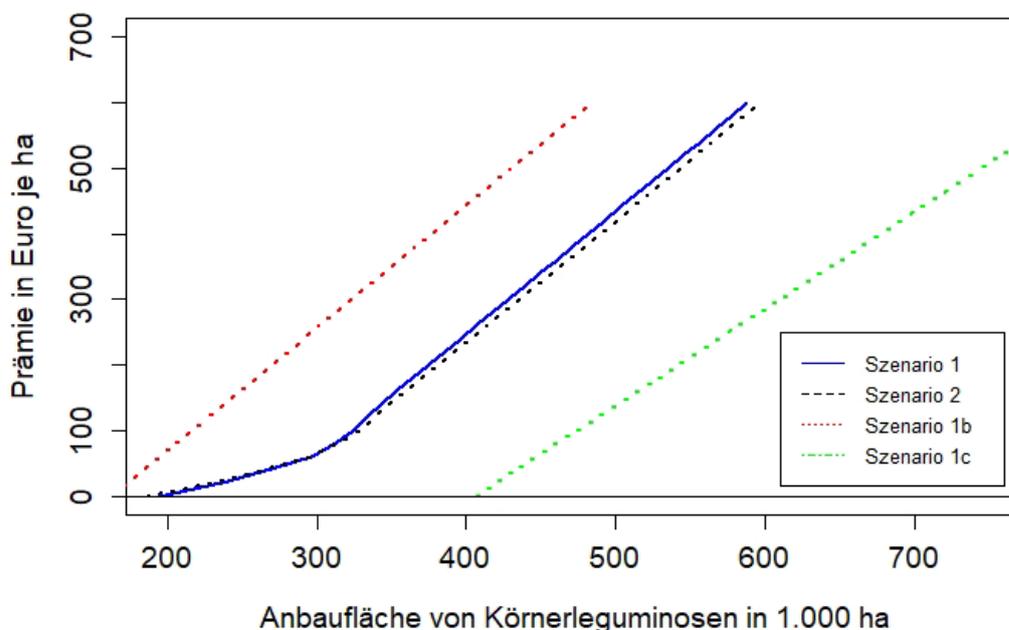


Abbildung 3: Anbauflächen für Körnerleguminosen in Deutschland in Abhängigkeit der Prämie in Szenario 1, 1b, 1c und 2-

Ausgehend von einem Körnerleguminosenanbau von 1,8 % im modellierten Status Quo zeigen sich innerhalb Deutschlands regionale Anbauswerpunkte (Tabelle 6). Die größten Anbaugebiete liegen in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Brandenburg. Dabei spielen in den einzelnen Regionen die einzelnen Körnerleguminosen in Abhängigkeit der natürlichen Bedingungen eine unterschiedliche Rolle. Während die Sojabohne insbesondere in Bayern und Baden-Württemberg von großer Bedeutung ist, steht in den west- und nordwestdeutschen Bundesländern der Anbau von Ackerbohnen im Vordergrund. In den ostdeutschen Bundesländern spielt dagegen der Anbau von Körnererbsen und Lupinen eine bedeutende Rolle.

Tabelle 6: Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland nach Bundesländern im modellierten Status Quo

	Körnerleguminosen		Soja		Hülsenfrüchte		Soja an KL
	ha	%	ha	%	ha	%	%
Baden-Württemberg	15.641	2,0	7.516	1,0	8.125	1,0	48,1
Bayern	40.689	2,1	18.233	0,9	22.456	1,1	44,8
Brandenburg	18.565	1,9	724	0,1	17.841	1,9	3,9
Hessen	11.627	2,6	1.789	0,4	9.838	2,2	15,4
Meckl.-Vorpommern	23.968	2,3	303	0,0	23.665	2,3	1,3
Niedersachsen	9.785	0,5	920	0,1	8.864	0,5	9,4
Nordrhein- Westfalen	17.015	1,7	211	0,0	16.804	1,7	1,2
Rheinland-Pfalz	4.870	1,4	592	0,2	4.277	1,2	12,2
Saarland	315	0,9	0	0,0	315	0,9	0,0
Sachsen	9.982	1,5	1.019	0,2	8.963	1,3	10,2
Schleswig-Holstein	12.128	1,9	2	0,0	12.126	1,9	0,0
Sachsen-Anhalt	20.396	2,1	1.319	0,1	19.077	2,0	6,5
Thüringen	12.809	2,2	494	0,1	12.315	2,1	3,9
Deutschland	197.964	1,8	33.122	0,3	164.841	1,5	16,7

Durch eine Körnerleguminosenprämie in Höhe von 100 €/ha kann der Anbau je nach Szenario auf 2,4 bis 4,2 % der Ackerfläche gesteigert werden (Tabellen 7 und 8). Bei einer Prämienhöhe von 300 € je ha wächst der Anbau auf 3,6 bis 5,5%. Eine Förderung des Körnerleguminosenanbaus führt vor allem in den östlichen Bundesländern wie Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und Sachsen-Anhalt zu einer starken Anbauausdehnung sowohl in Szenario 1b als auch in Szenario 1. Dagegen fällt der Anbauwuchs in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen insbesondere in Szenario 1 (Tabelle 7) unterdurchschnittlich aus. Gründe dafür sind u. a. die hohe Wettbewerbsfähigkeit von Konkurrenzfrüchten bzw. ein hoher Viehbesatz. Bei Unterstellung gleichbleibender Anbauanteile von Ackerbohnen, Körnererbsen und Lupinen in den einzelnen Bundesländern würden in Szenario 1 bei Prämien von 300 € je ha die Anbauflächen von Ackerbohnen um 161%, Körnererbsen um 161% und Lupinen um 140% zunehmen. In Szenario 1b würden diese um 160%, 136% und 126% steigen. Eine Förderung der Körnerleguminosen führt vor allem zu einem deutlichen Anstieg des Sojabohnenanbaus in Deutschland, der in Szenario 1 auf ein Drittel des gesamten Anbaus von Körnerleguminosen wächst (Tabelle 7) und sich damit etwa verdoppelt.

Tabelle 7: Anbau von Körnerleguminosen bei unterschiedlicher Förderhöhe in Deutschland nach Bundesländern (Szenario 1)

	Prämie: 100 € je ha			Prämie: 300 € je ha		
	Körnerleguminosen		Soja an KL	Körnerleguminosen		Soja an KL
	ha	%	%	ha	%	%
Baden-Württemberg	20.173	2,6	46,9	28.092	3,6	43,6
Bayern	58.112	3,0	38,8	89.289	4,6	32,9
Brandenburg	48.376	5,0	43,6	67.948	7,1	31,5
Hessen	16.974	3,9	22,3	24.432	5,5	18,2
Meckl.-Vorpommern	45.429	4,4	30,6	62.320	6,1	22,6
Niedersachsen	41.229	2,3	70,7	45.600	2,5	65,6
Nordrhein-Westfalen	31.078	3,2	30,9	40.583	4,1	24,0
Rheinland-Pfalz	12.860	3,7	50,9	16.062	4,6	42,4
Saarland	1.746	5,1	58,9	2.086	6,1	49,3
Sachsen	20.082	3,0	39,4	26.689	4,0	31,3
Schleswig-Holstein	33.305	5,3	57,1	38.511	6,1	49,3
Sachsen-Anhalt	33.635	3,5	19,5	49.974	5,2	14,3
Thüringen	27.549	4,8	44,1	34.679	6,0	35,6
Deutschland	390.835	3,5	41,6	526.632	4,7	33,4

Tabelle 8: Anbau von Körnerleguminosen bei unterschiedlicher Förderhöhe in Deutschland nach Bundesländern (Szenario 1b)

	Prämie: 100 € je ha			Prämie: 300 € je ha		
	Körnerleguminosen		Soja an KL	Körnerleguminosen		Soja an KL
	ha	%	%	ha	%	%
Baden-Württemberg	19.600	2,5	45,4	27.519	3,5	42,5
Bayern	56.277	2,9	38,4	87.454	4,5	32,5
Brandenburg	28.349	3,0	3,1	47.920	5,0	2,4
Hessen	15.356	3,5	13,8	22.815	5,2	12,2
Meckl.-Vorpommern	32.408	3,2	1,2	49.290	4,8	1,0
Niedersachsen	11.901	0,7	9,5	15.983	0,9	9,8
Nordrhein-Westfalen	21.758	2,2	1,2	31.245	3,2	1,1
Rheinland-Pfalz	6.470	1,8	11,2	9.672	2,8	10,2
Saarland	485	1,4	0,0	824	2,4	0,0
Sachsen	13.285	2,0	9,3	19.892	3,0	8,3
Schleswig-Holstein	14.729	2,3	0,0	19.935	3,1	0,0
Sachsen-Anhalt	28.565	3,0	5,6	44.904	4,7	4,9
Thüringen	16.373	2,8	3,6	23.503	4,1	3,4
Deutschland	265.770	2,4	14,8	401.252	3,6	13,0

Unter der Annahme züchterischer Fortschritte erhöht sich die Effizienz einer Prämie für Körnerleguminosen. In Szenario 1c zeigen sich die höchsten absoluten Flächenzuwächse in Abhängigkeit einer Prämie. Insgesamt verschiebt sich die Wettbewerbsfähigkeit leicht zugunsten von Ackerbohnen, Körnererbsen und Lupinen, während der Sojaanteil abnimmt. Vor allem in den nördlichen Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-

Holstein geht der Sojaanteil etwas zurück, während er in Bayern und Baden-Württemberg bei Prämien von 300 € je ha leicht ansteigt (Tabelle 9).

Tabelle 9 Anbau von Körnerleguminosen bei unterschiedlicher Förderhöhe in Deutschland nach Bundesländern (Szenario 1c)

	Prämie: 100 € je ha			Prämie: 300 € je ha		
	Körnerleguminosen		Soja an KL	Körnerleguminosen		Soja an KL
	ha	%	%	ha	%	%
Baden-Württemberg	26.313	3,4	46,8	34.232	4,4	44,1
Bayern	77.166	3,9	38,2	108.343	5,5	33,5
Brandenburg	57.589	6,0	37,1	77.160	8,0	28,1
Hessen	21.705	4,9	20,4	28.980	6,6	16,9
Meckl.-Vorpommern	55.164	5,4	25,5	72.050	7,0	19,7
Niedersachsen	44.653	2,5	67,1	48.770	2,7	62,6
Nordrhein-Westfalen	37.740	3,8	25,8	47.233	4,8	20,8
Rheinland-Pfalz	14.964	4,3	45,4	18.166	5,2	38,8
Saarland	1.916	5,6	53,7	2.256	6,6	45,6
Sachsen	24.180	3,6	34,5	30.786	4,6	28,5
Schleswig-Holstein	37.386	5,9	50,8	42.592	6,7	44,6
Sachsen-Anhalt	42.820	4,5	16,6	59.158	6,2	13,0
Thüringen	32.363	5,6	38,1	39.493	6,9	31,8
Deutschland	474.305	4,2	37,1	609.648	5,5	30,9

Tabelle 10 gibt eine Übersicht, inwiefern welche Ackerkulturen durch die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen substituiert werden. In Szenario 1 nimmt vor allem der Anbau von Futterpflanzen, Weizen und extensiverem Getreide (Roggen und Gerste) erheblich ab. Dementgegen ist die Futter- und Silomaisfläche in Szenario 2 konstant, dafür geht der Getreideanbau noch stärker zurück als in Szenario 1, absolut vor allem der Anbau von Gerste und Roggen, aber auch der Anbau von Weizen und Raps. Der Anbau von Hackfrüchten nimmt hingegen nur in sehr geringem Maße ab. Zudem zeigt sich der Anbau von Weizen und Körnermais relativ kompetitiv gegenüber der Ausweitung des Körnerleguminosenanbaus. Dies trifft auch auf den Anbau von Silomais zu, welcher in Szenario 1 nur leicht abnimmt. Der Anbau von sonstigen Hülsenfrüchten wie z.B. Getreide-Leguminosen-Gemenge würden absolut leicht abnehmen, da für diese keine Prämienzahlung angenommen wurde. Dieser Effekt ist damit insgesamt vernachlässigbar.

Tabelle 10: Übersicht über die Veränderung der Anbauumfänge der einzelnen Ackerkulturen bei Prämien von 100 und 300 € je ha für Körnerleguminosen in Szenario 1 bzw. 2.

Kulturarten	Flächenumfang im Status Quo in 1.000 ha	Veränderung in % in			
		Szenario 1 bei Prämien von 100 € je ha		Szenario 2 bei Prämien von 100 € je ha	
Weizen	2.860,8	-1,3	-2,4	-2,0	-3,5
Gerste	1.694,2	-1,6	-2,9	-2,5	-4,3
Roggen	644,5	-3,3	-5,4	-5,5	-8,9
Hafer	157,7	-2,7	-4,5	-4,4	-7,2
Körnermais	428,5	-1,0	-1,8	-1,5	-2,6
Sonstiges Getreide	364,1	-1,9	-3,3	-3,0	-5,2
Silomais	2.326,2	-1,7	-2,7	0,0	0,0
Futterpflanzen	802,6	-3,8	-6,5	0,0	0,0
Zuckerrüben	389,7	-0,7	-1,2	-1,1	-1,7
Kartoffeln	278,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4
Winterraps	962,8	-1,5	-2,6	-2,3	-3,9
Sonstige Ölfrüchte	44,2	-1,8	-2,7	-2,6	-4,0
Soja	33,1	391,6	430,9	390,4	429,2
Körnerleguminosen**	164,9	38,3	112,8	35,8	109,0
Sonstige Hülsenfrüchte*	27,2	-4,5	-7,2	-6,6	-10,3

* v.a. Gemenge aus Getreide und Leguminosen

** exkl. Soja

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über die Entwicklung der Anbauanteile von Körnerleguminosen insgesamt bei Prämien zwischen 100 € und 300 € je ha in Szenario 1. Generell zeigen sich deutliche regionale Disparitäten zwischen den Landkreisen und Bundesländern. Demnach werden die höchsten Anbauanteile in den östlichen Bundesländern Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen sowie Nord-Bayern, Süd-Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz erreicht. So liegen die Anbauanteile in den Landkreisen Amberg-Sulzbach oder Neustadt a. d. Waldnaab in der Oberpfalz bei knapp 10% bei einer Prämienhöhe von 300 € je ha.

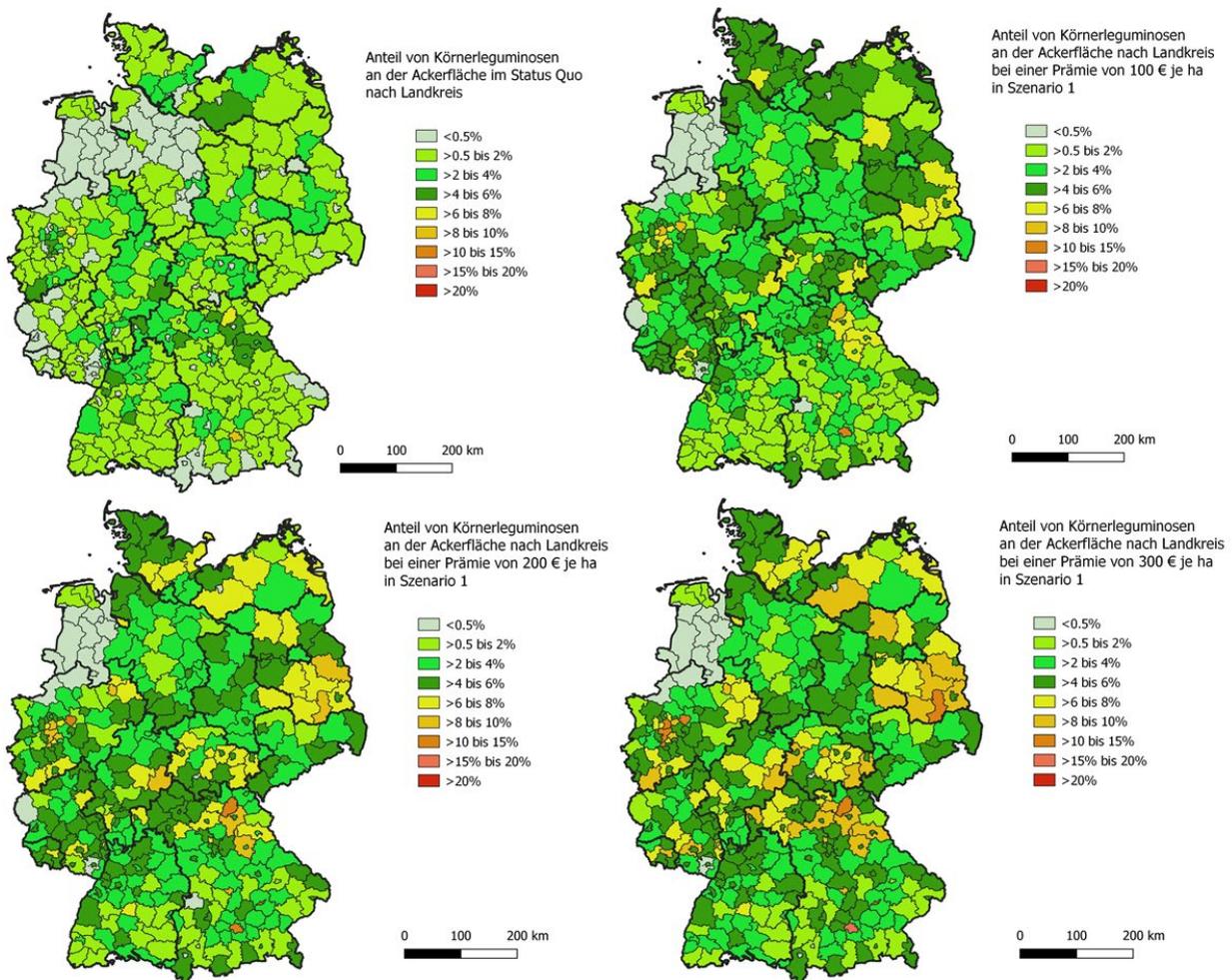


Abbildung 4: Übersicht über die Entwicklung der Anbauanteile von Körnerleguminosen nach Landkreis in Szenario 1 bei Prämienhöhen von 100, 200 und 300 € je ha im Vergleich zum Status Quo (BKG 2018)

Abbildung 5 zeigt die durchschnittlichen N-Aufwandmengen in kg je ha Ackerfläche auf Landkreisebene in Szenario 1. Insbesondere in Brandenburg sind die mittleren N-Aufwandmengen im Status Quo im Vergleich zum restlichen Bundesgebiet relativ niedrig. Eine Erhöhung des Anteils an Körnerleguminosen wirkt sich dennoch auch dort reduzierend auf die mittleren N-Mengen aus. In Landkreisen mit sehr hohen N-Bilanzen über 200 kg je ha findet hingegen mit Ausnahme einzelner Landkreise im Alpenvorland kaum eine Reduktion statt. Regionen mit hohem Viehbesatz bzw. einem hohen Anteil an Intensivkulturen weisen häufig hohe N-Bilanz-Überschüsse auf. Gleichzeitig ist dort das Potential für den Anbau von Körnerleguminosen oft gering.

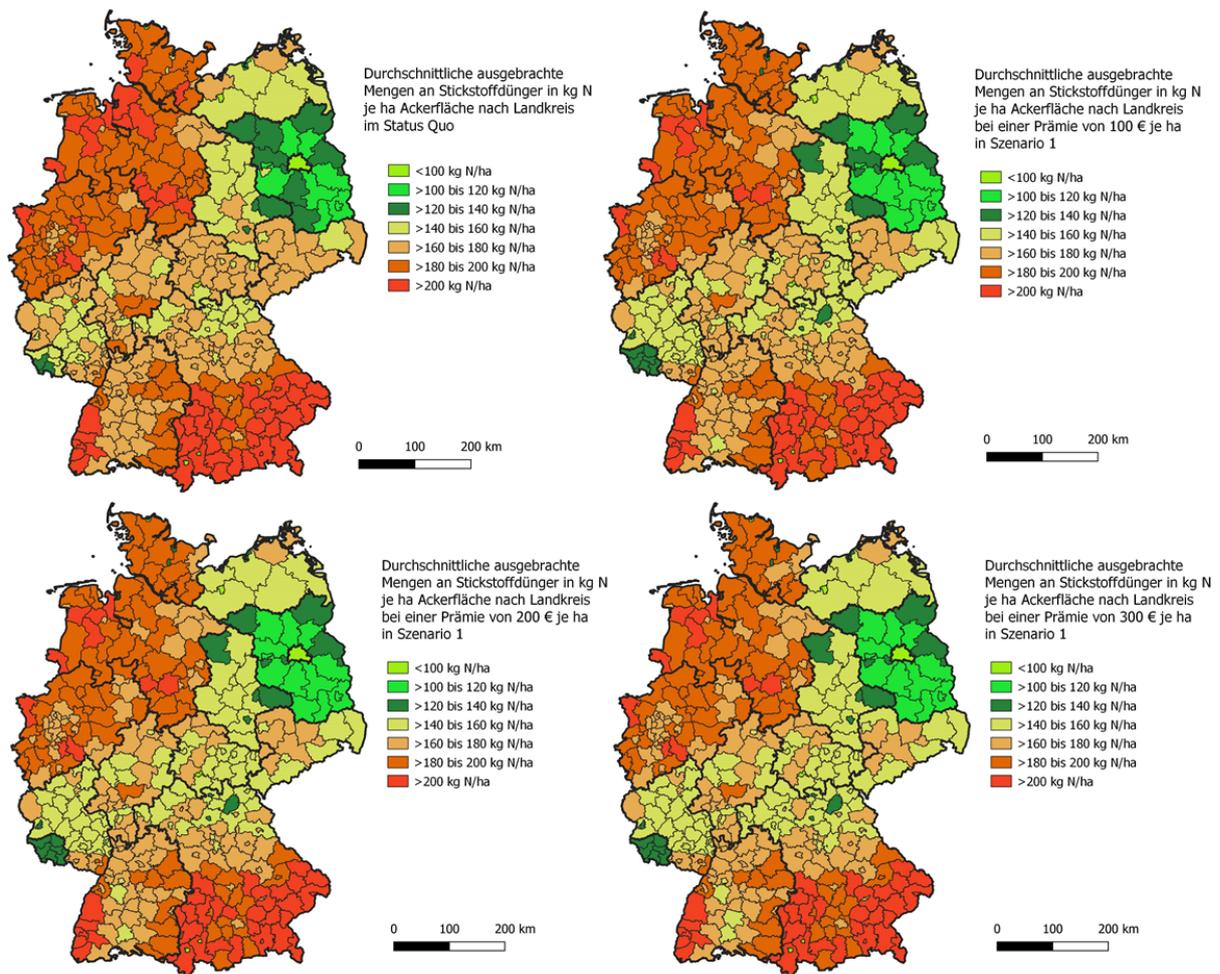


Abbildung 5: Übersicht über die Entwicklung der mittleren ausgebrachten Stickstoffdüngermengen in kg je ha Ackerfläche nach Landkreis in Szenario 1 bei Prämienhöhen von 100, 200 und 300 € je ha im Vergleich zum Status Quo (BKG 2018)

In Szenario 2 zeigt sich im Kontext der Entwicklung der landkreisspezifischen Anbauanteile von Körnerleguminosen grundsätzlich ein ähnliches Bild. Es kommt hauptsächlich in einzelnen Teilen von Bayern, Nordrhein-Westfalen und Brandenburg zu sichtbaren Rückgängen der Anbauanteile im Vergleich zu Szenario 1. In Bezug auf die mittleren N-Aufwandmengen in Szenario gibt es im Vergleich zu Szenario 1 keine größeren Unterschiede. Lediglich in einzelnen Landkreisen wie z.B. Celle in Niedersachsen oder Miesbach am Alpenrand in Bayern liegen die N-Aufwandmengen sichtbar höher. Dazu gehören z.B. die Landkreise Lippe und Prignitz.

Im Folgenden wird daher das Szenario 2 aufgrund der vergleichbaren Auswirkungen zu Szenario 1 nicht weiter explizit betrachtet.

Abbildung 6 gibt einen Gesamtüberblick über die N-Aufwandmengen in kg je ha Ackerfläche getrennt nach Bundesländern in den Szenarien bei einer Prämienhöhe von 300 € je ha. Die Boxplots zeigen dabei die Verteilung zwischen den Landkreisen in einem Bundesland mit Median und dem 25%- bzw. 75%-Quantil. Die Szenarien 1 und 2 unterscheiden sich in dieser Hinsicht nur geringfügig. In Szenario 1b liegen die N-Aufwandmengen jeweils über denen der anderen Szenarien. Jedoch gibt es hinsichtlich des Medians in Baden-Württemberg, Bayern und Hessen nur leichte Differenzen. Bei Szenario 1c können die mittleren N-Aufwendungen am stärksten reduziert werden. Im Vergleich zum Status Quo kann der N-Aufwand in Szenario 1 und 1c bis zu einer Prämie von 600 € je ha auf Bundesebene durchschnittlich um maximal 8 bzw. 9 kg je ha Ackerfläche reduziert werden.

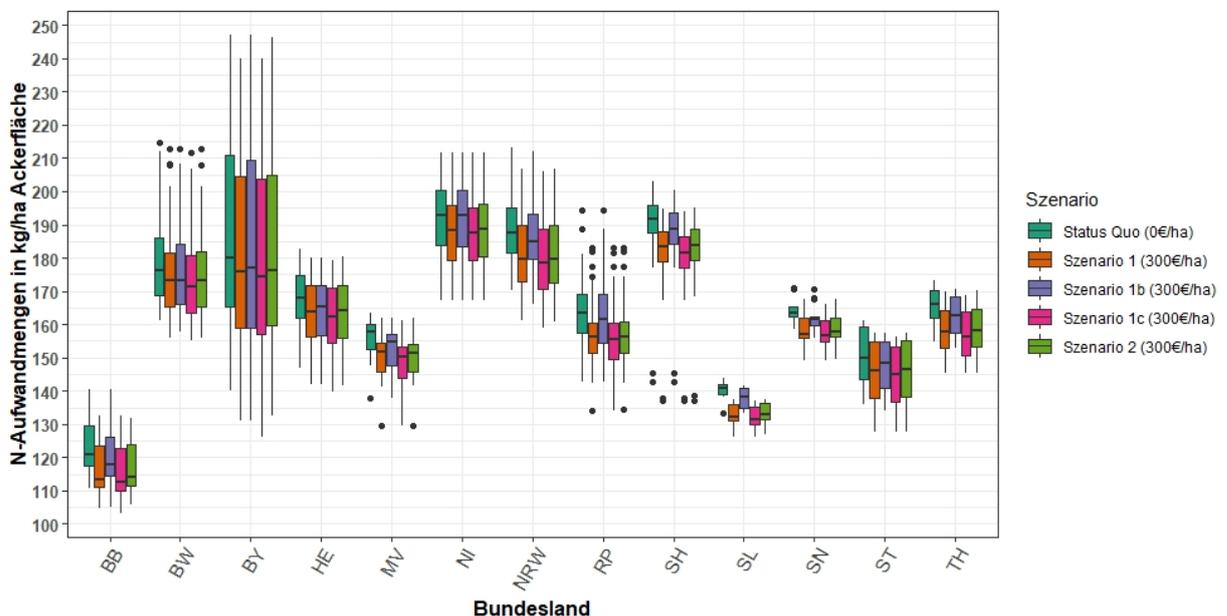


Abbildung 6: Boxplots der durchschnittlichen N-Aufwandmengen in kg je ha Ackerland auf Ebene der Landkreise nach Bundesländern in den Szenarien 1, 1b, 1c und 2 bei einer Prämienhöhe von 300 € je ha im Vergleich zum Status Quo.

3.2. Auswirkungen auf die Proteinproduktion

Die Proteinproduktion im Rahmen des Anbaus von Körnerleguminosen erhöht sich bei einer Förderung in Höhe von 600 € je ha entsprechend der Flächenausdehnung bei den einzelnen Szenarien um das 3- bis 3,6-fache. (Tabelle 11).

Tabelle 11: Proteinproduktion in 1.000 t in Abhängigkeit der Prämienhöhen in den Szenarien 1,2 und 1b.

Prämie in € je ha	Proteinproduktion in 1.000 t		
	Szenario 1	Szenario 1b	Szenario 1c
0 €	163,1	163,1	163,1
100 €	321,1	216,5	466,3
300 €	428,1	323,3	530,4
600 €	587,7	483,0	594,3

3.3. Auswirkungen der Förderung von Körnerleguminosen auf die THG-Emissionen

In Abbildung 9 sind die Vermeidungskosten und das Minderungspotenzial in Abhängigkeit der Ausdehnung des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland dargestellt. Der Verlauf der Kosten- und Minderungsfunktionen verdeutlicht, dass ab einer bestimmten Anbaufläche die Vermeidungskosten überproportional ansteigen. Dieser Anbauumfang liegt bei Szenario 1 bei etwa 570.000 ha und damit bei einem Anbauanteil von etwa 5% in Deutschland. Die Vermeidungskosten je t CO₂-Äquivalenten (CO₂Äq). würden dann je nach Szenario etwa zwischen 80 € und 180 € liegen. Bis zu einer Prämie von 160 € je ha würden die Vermeidungskosten jeweils unter 50 € liegen bzw. bis zu 220 € je ha unter 70 € je t CO₂Äq. In Szenario 1 könnte bei dieser Prämie ein Anbauanteil von 4,2% und im restriktiven Szenario 1b ein Anbauanteil von 3,1% Körnerleguminosen realisiert werden. Hingegen könnte im Szenario 1c sogar ein Anteil von knapp 5% realisiert werden.

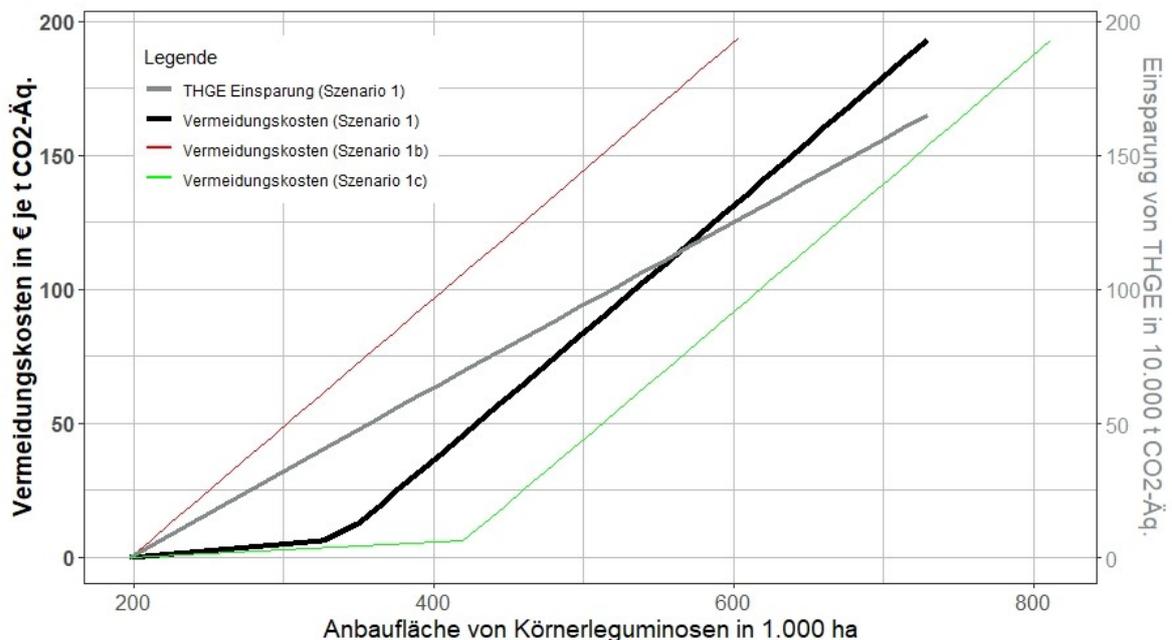


Abbildung 7: Darstellung der Vermeidungskosten (THGE gesamt) in € je t CO₂Äq. und die absolute Einsparung in t CO₂Äq. in Abhängigkeit der Anbaufläche von Körnerleguminosen in Deutschland in den Szenarien 1, 1b und 1c

Während Abbildung 7 die Vermeidungskosten in Abhängigkeit der Anbaufläche der Körnerleguminosen auf Bundesebene aufzeigt, werden sie in Abbildung 8 differenziert nach den einzelnen Bundesländern für die Prämienhöhen von 100 € und 200 € je Hektar Körnerleguminosen für das Szenario 1 dargestellt. Dabei markiert die rote Gerade den Bundesdurchschnitt. Es zeigt sich, dass die Vermeidungskosten in Brandenburg knapp 30 % über dem Bundesdurchschnitt liegen. Mit mehr als 10 % höheren Vermeidungskosten liegen auch das Saarland und Sachsen-Anhalt deutlich über dem Bundesdurchschnitt.

Diese höheren Kosten entstehen dadurch, dass in diesen Bundesländern die N-Flächenbilanz im Status Quo vergleichsweise niedrig ist und somit durch den Körnerleguminosenanbau nicht so viel Stickstoffdünger eingespart wird (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6). Demgegenüber liegen die Vermeidungskosten in Bundesländern mit einer hohen N-Flächenbilanz im Status Quo, wie z.B. Niedersachsen und Schleswig-Holstein deutlich unter dem Bundesdurchschnitt. In diesen Bundesländern werden somit Kulturen mit einem vergleichsweise hohen N-Bedarf substituiert, was sich dann stark auf die vermiedenen Lachgasemissionen und die geringeren Emissionen bei der Mineraldüngerproduktion auswirkt. Bei einer Flächenprämie von 100 € je ha KL-Fläche liegen die Vermeidungskosten in Brandenburg bei 41,0 €/t CO₂Äq. und in Niedersachsen bei 28,6 €/t CO₂Äq.

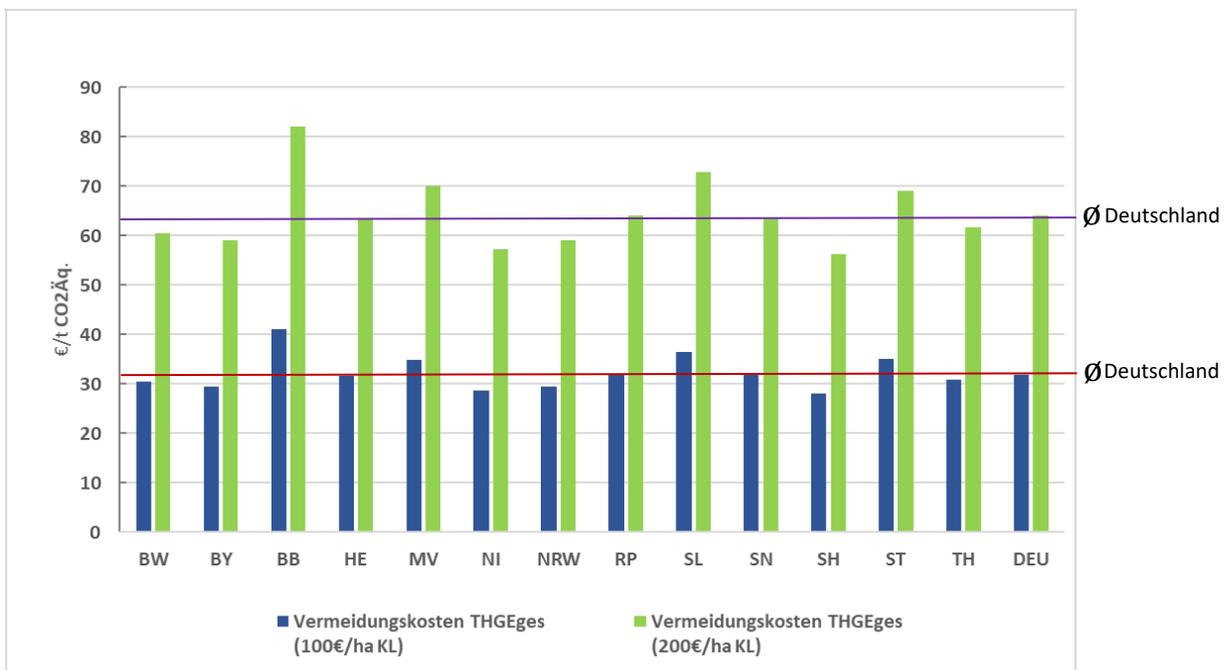


Abbildung 8: Darstellung der Vermeidungskosten in € je t CO₂Äq. für Anbauprämien für Körnerleguminosen von 100 €/ha und 200 €/ha auf Ebene der Bundesländer und im Bundesdurchschnitt

Neben den Vermeidungskosten spielt insbesondere die Menge der eingesparten THG-Emissionen in Anhängigkeit der Prämienhöhe eine wichtige Rolle. In Tabelle 12 ist die für die Flächenprämien von 100 € und 200 € je ha KL-Fläche und für die verschiedenen Anbauszenarien maßgebliche Reduktion der THGE dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das Minderungspotenzial in den Bundesländern sehr unterschiedlich ausfällt. So liegt in Szenario 1 bei einer Flächenprämie von 100 € das höchste Vermeidungspotenzial in Niedersachsen. Trotz dem zuvor beschriebenen vergleichsweise geringeren Einsparungspotenzial je ha KL-Fläche in Brandenburg, verfügt dieses Bundesland durch die hohe Flächenausdehnung unter den getroffenen Annahmen in Szenario 1 über ein hohes Minderungspotenzial sowohl bei Prämien von 100 € als auch von 200 € je ha KL-

Fläche. Während in Niedersachsen bereits bei 100 € das Anbau- und Minderungspotenzial ausgeschöpft ist, steigt es in Bayern bei der Prämienhöhung noch deutlich an. Die Zahlen verdeutlichen auch, wie stark sich die getroffenen Annahmen im Rahmen der Modellszenarien auf die Anbauausdehnung und somit auch auf das THG-Minderungspotenzial auswirken. So gäbe es unter den restriktiven Anbaukriterien in Szenario 1b bei einer Flächenprämie von 100 € lediglich in Bayern ein nennenswertes und stabiles THG-Minderungspotenzial. Bei einer Flächenprämie von 200 € gäbe es auch in den Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt mit knapp 50.000 t CO₂Äq. vergleichsweise hohe Einsparungspotenziale.

Tabelle 12: Auswirkungen der verschiedenen Anbauszenarien auf die Ausweitung der KL-Anbauflächen und dem damit verbundenen THG-Minderungspotenzial (t CO₂Äq.) für Anbauprämien für Körnerleguminosen von 100 €/ha und 200 €/ha auf Ebene der Bundesländer und im Bundesdurchschnitt

Bundesland	Ausweitung der KL-Anbaufläche (ha)			THG-Minderungspotenzial gesamt (t CO ₂ Äq.)		
	Szenario 1	Szenario 1b	Szenario 1c	Szenario 1	Szenario 1b	Szenario 1c
Prämie: 100 € je ha						
Baden-Württemberg	4.532	3.959	10.672	14.915	13.130	35.347
Bayern	17.423	15.588	36.477	59.043	52.538	123.588
Brandenburg	29.811	9.786	39.023	72.677	23.873	95.166
Hessen	5.347	3.729	10.078	16.843	11.733	31.722
Meckl.-Vorpommern	21.461	8.441	31.196	61.486	23.947	89.103
Niedersachsen	31.445	2.120	34.868	109.827	7.226	121.417
Nordrhein-Westfalen	14.063	4.744	20.725	47.593	16.149	70.285
Rheinland-Pfalz	7.990	1.601	10.095	25.008	4.960	31.528
Saarland	1.431	170	1.601	3.913	473	4.388
Sachsen	10.100	3.303	14.197	31.738	10.433	44.686
Schleswig-Holstein	21.177	2.603	25.258	75.345	9.266	89.873
Sachsen-Anhalt	13.239	8.169	22.423	37.833	24.066	64.905
Thüringen	14.740	3.565	19.554	47.675	11.588	63.327
Deutschland	192.871	67.818	276.341	604.255	209.524	865.903
Prämie: 200 € je ha						
Baden-Württemberg	8.492	7.919	14.632	28.046	26.260	48.478
Bayern	33.012	31.177	52.066	111.583	105.079	176.128
Brandenburg	39.597	19.571	48.809	96.552	47.749	119.041
Hessen	9.076	7.458	13.807	28.576	23.466	43.455
Meckl.-Vorpommern	29.907	16.882	39.641	85.444	47.893	113.059
Niedersachsen	33.637	4.164	36.987	117.291	14.237	128.614
Nordrhein-Westfalen	18.817	9.488	25.474	63.782	32.299	86.454
Rheinland-Pfalz	9.591	3.202	11.696	29.969	9.921	36.488
Saarland	1.601	340	1.771	4.386	946	4.861
Sachsen	13.403	6.607	17.501	42.170	20.865	55.119
Schleswig-Holstein	23.780	5.206	27.861	84.611	18.532	99.138
Sachsen-Anhalt	21.408	16.339	30.593	61.899	48.132	88.971
Thüringen	18.305	7.130	23.119	59.264	23.177	74.916
Deutschland	260.778	135.562	344.169	814.072	418.837	1.075.431

Im Vergleich hierzu käme es durch Szenario 1c, dass auf Annahmen hinsichtlich zukünftiger züchterischer Fortschritte beruht, bereits bei einer Flächenprämie von 100 €/ha zu einer großen Ausweitung der Anbaufläche und damit zu hohen THG-Minderungspotenzialen. So könnte dies im Vergleich zum Business as usual Szenario 1 bspw. in Baden-Württemberg und Bayern mehr als verdoppelt werden. Für ganz

Deutschland läge das THG-Minderungspotenzial von Szenario 1c bei 200 €/ha 31 % über dem von Szenario 1 und mehr als 2,6fach über dem von Szenario 1b.

Eine detaillierte Beschreibung hinsichtlich der verschiedenen in Tabelle 4 beschriebenen THG-Minderungsquellen für das Anbaujahr selbst und dem Folgejahr ist in Anhang 2 für Szenario 1 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass bei einer reinen Betrachtung der THG-Minderungen, die im Rahmen der nationalen Berichterstattung dem Sektor angerechnet werden würden, die Vermeidungskosten rechnerisch dreimal so hoch ausfallen würden. So lägen die THG-Vermeidungskosten bei einer Flächenprämie von 100 € und einer ausschließlichen Betrachtung der bei der Landwirtschaft anrechenbaren direkten und indirekten düngungsinduzierten Lachgasemissionen im Bundesdurchschnitt bei fast 100 €/t CO₂Äq. Während sie bei einem Einbezug aller durch den Anbau geminderten THG-Emissionen bei 32 €/t CO₂Äq. liegen.

4. Diskussion

4.1. Entwicklung der Flächenausdehnung und Proteinproduktion

Mit Hilfe eines PMP-Modellierungsansatzes auf Ebene der Landkreise in Deutschland kann die Wirkung einer zusätzlichen Prämie für den Anbau von Körnerleguminosen aufgezeigt werden. Zusätzliche Prämien wirken sich signifikant auf den Anbauumfang von Körnerleguminosen aus. Bereits bei einer Prämie von 100 € je ha werden je nach Szenario zwischen rund 270.000 ha (2,4 % der AF) und 470.000 ha (4,2 % der AF) Körnerleguminosen angebaut. Durch eine Prämienhöhe von 244 € je ha werden je nach Szenario Anbauanteile der Körnerleguminosen zwischen 3,3% und 5,1% auf Bundesebene erreicht. Dies wäre im restriktiven Szenario 1b fast eine Verdopplung des Anbauanteils im Vergleich zum Status Quo (BLE 2020b).

Dabei existieren starke räumliche Disparitäten zwischen den Landkreisen und Bundesländern in Deutschland hinsichtlich der Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen. Ein großes Potenzial zeigt sich in den östlichen Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern sowie Thüringen, Nord-Bayern und Süd-Hessen. Je nach Szenario könnte ein Anbauumfang an Körnerleguminosen von bis zu 600.000 ha bzw. 810.000 ha bei vergleichsweise hohen Prämien von 600 € je ha erreicht werden. Diese regionalen Disparitäten zeigen sich auch in der Entwicklung der durchschnittlichen N-Düngeraufwendungen je Landkreis. Allerdings findet eine Reduzierung der N-Mengen kaum in Regionen mit sehr hohen Bilanzen im Status Quo statt, sodass der Anbau von Körnerleguminosen vor diesem Hintergrund eine weitere Polarisierung bedingen könnte, bei den Leguminosen ihre Fruchtfolgerestriktionen ausreizen. Vor diesem Hintergrund

können die vorab aufgestellten Hypothesen zur Ausdehnung der Anbauflächen von Körnerleguminosen in Folge einer Prämie sowie vorhandenen regionalen Disparitäten innerhalb des Bundesgebietes hinsichtlich des Potenzials bestätigt werden.

Zur Schließung der deutschen Eiweißlücke ist eine zusätzliche Fläche von etwa 1,8 Mio. ha an Eiweißpflanzen erforderlich (Deutscher Bundestag 2019). In Bezug auf den Sojaanbau ist das Anbaupotential durch die natürlichen Bedingungen in Deutschland mit max. rund 790.000 ha begrenzt (Mirsch 2021; Roßberg und Recknagel 2017), wovon im Status Quo gerade etwa 33.000 ha ausgeschöpft werden. Das entspricht einem weiteren Potenzial von rund 42 % der sog. „Eiweißlücke“. Von dieser Fläche eignen sich 8,7% sehr gut für den Sojaanbau, rund 53 % sind gut geeignet und ca. 38% ausreichend geeignet (Sojaförderring 2021). Bei einer Prämie von 300 € je ha würde der Sojaanbau in Deutschland auf 52.000 ha (Szenario 1b) bzw. 175.000 ha (Szenario 1) steigen. Insgesamt könnte die Körnerleguminosenfläche in Deutschland durch eine Prämie in Höhe von 300 € je ha nach dem Modell auf rund 530.000 ha (Szenario 1) ausgedehnt werden und damit die Eiweißlücke um 20 % gemindert werden.

Bei der Betrachtung der gesamten inländischen Proteinproduktion müssen natürlich auch Substitutionseffekte betrachtet werden, wodurch die tatsächliche Zunahme der Proteinproduktion geringer ausfallen kann. Die Proteinerzeugung durch Körnerleguminosen trägt jedoch zur Verminderung der Eiweißlücke in Bezug auf Futterimporte bei.

4.2. Treibhausgasverminderungspotenzial und -kosten

Durch die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen ergibt sich ein erhebliches Einsparungspotenzial für THG-Emissionen in der Landwirtschaft. Demnach könnten nach den Modellrechnungen bis zu etwa 1,9 Mio. t CO₂Äq jährlich eingespart werden. Dabei sind jedoch nicht nur die dem Sektor Landwirtschaft direkt anrechenbaren THG-Emissionen berücksichtigt, sondern z.B. auch die, die bei der Mineraldüngerherstellung reduziert werden könnten. Insgesamt verursachte die deutsche Landwirtschaft im Jahr 2019 etwa 61,8 Mio. t CO₂Äq. (Rösemann et al. 2021), sodass durch den Anbau von Körnerleguminosen etwa 3% der THG-Emissionen der Landwirtschaft vermieden werden könnten. Im Vergleich dazu lagen die THG-Emissionen im Bereich der zivilen Inlandsflüge im Jahr 2017 in Deutschland mit 2,1 Mio. t CO₂Äq. in einer ähnlichen Größenordnung (Bopst et al. 2019).

Nach UBA (2012) betragen die Klimakosten je t CO₂Äq. mittelfristig bis 2030 etwa 70 € bei Annahme eines unteren Schätzwertes. Langfristig können THG-Emissionen bis zum Jahr 2050 sogar einen volkswirtschaftlichen Schaden bis zu 260 € je t CO₂Äq. nach einem

mittleren Schätzwert verursachen. Insofern scheinen aus gemeinwohlorientierter Sicht THG-Emissionen Vermeidungskosten bis zu 70 € je t CO₂Äq. gerechtfertigt. Aus dieser Perspektive können daher Prämien für Körnerleguminosen bis zu 220 € je ha sinnvoll erscheinen. Nach den Empfehlungen der High-Level Commission on Carbon Prices (2017) ist ein Preisansatz von bis zu etwa 80 € je t CO₂Äq. zur Erreichung der Pariser Klimaziele erforderlich. Dies würde eine Prämie bis zu 250 € je ha rechtfertigen. Damit können Körnerleguminosen einen Beitrag zur Reduzierung von THG-Emissionen in Höhe zwischen 0,5 und 1 Mio. t CO₂Äq. in der Landwirtschaft leisten.

Die THG-Vermeidungskosten können damit beim Anbau von Körnerleguminosen in Relation zu anderen Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft vergleichsweise niedrig sein (WBAE und WBW 2016). So weisen Osterburg et al. (2019) für Maßnahmen zum Schutz landwirtschaftlich genutzter Moore Vermeidungskosten von 27 bis 107 €/t CO₂Äq. aus. Für die Optionen zur Vergärung und gasdichte Lagerung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft geben sie THG-Minderungskosten zwischen 50 und 75 €/t CO₂Äq. an. Für die gasdichte Abdeckung vorhandener Gärrestelager werden Vermeidungskosten von 2-100 € je t CO₂Äq. angegeben (WBAE und WBW 2016). Neben den Vermeidungskosten muss natürlich auch die Akzeptanz der Maßnahmen betrachtet werden, wodurch sich beim dauerhaften Moorschutz in Verbindung mit Grunddienstbarkeiten zusätzliche Herausforderungen bei der Implementierung ergeben können (Latacz-Lohmann et al. 2019). Damit ergibt sich auch ein Verlust der Flexibilität im Vergleich zum jährlichen Anbau von Körnerleguminosen. Außerdem werden beim Anbau von Körnerleguminosen im Vergleich zum Moorschutz weiterhin Nahrungs- und Futtermittel produziert.

Die Berücksichtigung zusätzlicher betriebswirtschaftlicher Aspekte wie Einsparungspotenziale beim Pflanzenschutz oder der Bodenbearbeitung durch den Vorfruchtwert (Alpmann und Schäfer 2014) würden die Vermeidungskosten zusätzlich reduzieren. Aufgrund der unsicheren Datengrundlage konnten diese Aspekte allerdings nicht berücksichtigt werden. Dies steht im Einklang mit unserer Hypothese, dass die Vermeidungskosten für THG-Emissionen im Hinblick auf Förderprämien für Körnerleguminosen vergleichsweise niedrig sein können.

4.3. Diskussion zur Umsetzung der Modellierung

In den Szenarien wurde der Anbau von Sojabohnen und anderen Körnerleguminosen in bestimmten Landkreisen teilweise (Szenario 1, 1c und 2) bzw. ganz (1b) eingeschränkt, wenn im Status Quo kein Anbau vorhanden war. Die Gründe für den aktuell nicht vorhandenen Anbau können vielfältig sein. Dabei spielen neben wettbewerbsstarken Konkurrenzfrüchten fehlende Wertschöpfungsketten ebenso eine Rolle wie natürliche Begrenzungen. Da diese Gründe nicht ausreichend bekannt sind, wurde der Anbau von

Soja oder anderen Körnerleguminosen in Regionen ohne Anbau im Status Quo auf einen Anteil von maximal 3% an der Ackerfläche begrenzt. Damit sollte eine Überschätzung des Potenzials vermieden werden. Dies trifft vor allem auf den Sojaanbau in Schleswig-Holstein zu, der bereits bei vergleichsweise geringen Prämien in den Gebieten mit ausreichender natürlicher Eignung (Roßberg und Recknagel 2017) zunehmen würde. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nach Experteneinschätzung die Abreife von Sojabohnen in weiten Teilen Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns nur in wenigen Jahren gegeben ist und das Anbaupotential bei den gegebenen Sorten in diesen Regionen minimal ist. In diesem Kontext müssen auch eventuelle Einstiegskosten betrachtet werden, da z.B. notwendige maschinelle Ressourcen oder Logistikketten nicht vorhanden sind. Um diese natürlichen, institutionellen und organisatorischen Begrenzungen adäquat abzubilden, wird die Anbauentwicklung von Körnerleguminosen ergänzend zu den Szenarien 1, 1c und 2 in Szenario 1b betrachtet, in dem die Anbauausdehnung in den Regionen, in denen es bisher keinen Anbau gibt, entsprechend ausgeschlossen ist. Zudem ist das Abbilden von neuen, d.h. bisher unbeobachteten Aktivitäten in PMP-Modellen aus mathematischer Sicht komplex und es können Verzerrungen auftreten (Röhm und Dabbert 2003). Wir nutzen daher eine lineare Kostenfunktion für Kulturen, die im Status Quo nicht beobachtet wurden in Verbindung mit der Anbaubeschränkung für die unbeobachteten Kulturen.

Ähnlich wie Nikolić et al. (2015) betrachten wir im Kontext des Anbaupotenzials für Körnerleguminosen Landkreise, die jeweils einen Regionshof darstellen. Dabei werden bestimmte Fruchtfolgerestriktionen im Sinne von Anbauanteilen berücksichtigt, jedoch kann das Modell künftig durch ein Modell zur expliziten Abbildung von Fruchtfolgen innerhalb der Landkreise erweitert werden (Schönhart et al. 2011).

Künftig könnte der gewählte Modellansatz noch um weitere natur- und umweltrelevante Faktoren wie z.B. die Biodiversität ergänzt werden, um die ökologischen Auswirkungen des Anbaus von Körnerleguminosen noch besser abzubilden. Zu diesem Zweck könnten z.B. Parameter für die Diversität unter Berücksichtigung der taxonomischen Differenz einzelner Kulturen kalkuliert werden (Weikard et al. 2006).

Neue förderrechtliche Rahmenbedingungen innerhalb der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) können sich allgemein auf die Vorzüglichkeit des Anbaus von Körnerleguminosen auswirken. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Im Zusammenhang der Förderung von Körnerleguminosen und den Vorgaben des Greenings bzw. der erweiterten Konditionalität und Eco-Schemes im Zuge der „neuen grünen Architektur“ der GAP besteht daher weiterer Forschungsbedarf.

4.4. Weitere Umwelteffekte der Ausdehnung von Körnerleguminosen

Neben dem Klimaschutz, der aus gemeinwohlorientierter Sicht eine Prämie für Körnerleguminosen rechtfertigen kann, sind mit einem verstärkten Anbau von Körnerleguminosen noch weitere Ökosystemdienstleistungen verbunden (DAFA 2012). Diese Effekte sind künftig noch stärker zu betrachten bzw. zu quantifizieren.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen einer Ausdehnung des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland sind die damit verbundenen Substitutionseffekte zu beachten. Werden Kulturarten wie z.B. Getreide durch Körnerleguminosen substituiert, müssen eventuelle Verlagerungen der Produktion, d.h. erhöhte Importbedarfe bei diesen Produkten berücksichtigt werden. Diese Verlagerung in andere Regionen kann mit sogenannten Leakage-Effekten einhergehen (Röder et al. 2021). Wie die Ergebnisse zeigen, würde die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen vor allem zu Lasten von Getreidearten wie Weizen, Roggen oder Hafer gehen, was vergleichbar mit ähnlichen Studien in Österreich ist (Mitter et al. 2015).

Vor diesem Hintergrund führt der Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland nur dann zu einer Minderung von THG-Emissionen, wenn es dadurch nicht zu einer Erhöhung der THG-Emissionen aufgrund von Produktionsverschiebungen in anderen Regionen der Welt kommt. Ohne derartige Leakage-Effekte kann die Ausdehnung des Anbaus von Körnerleguminosen in Deutschland jedoch einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft leisten, zur Verminderung der sog. Eiweißlücke bei Futtermitteln beitragen und neben zahlreichen agronomischen Vorteilen zu weiteren ökologischen Leistungen insbesondere im Bereich der Biodiversität führen.

4.5. Empfehlungen zur politischen Umsetzung

Züchterische Fortschritte sowie die Etablierung leistungsfähiger Wertschöpfungsketten können den Anbau von Körnerleguminosen in Zukunft stark beeinflussen und den Förderbedarf entsprechend vermindern, was z.B. im Rahmen des Szenario 1c deutlich wird. Verbesserte Logistikketten oder die Etablierung regionaler Wertschöpfungsketten bzw. dezentraler Verarbeitungsmöglichkeiten könnten zudem insbesondere die Profitabilität des Anbaus von Sojabohnen verbessern (Zimmer und Böttcher 2021). Dies gilt sowohl für den Nahrungsmittel- als auch für den Futtermittelbereich. Die verstärkte Förderung könnte somit nicht nur dazu beitragen, einen vergleichsweise günstigen Klimaschutz zu realisieren, sondern auch einen katalytischen Effekt zur Entwicklung der Logistik- und Wertschöpfungsketten auszulösen (weil die kritischen regionalen Mengen bislang zu klein waren), der insgesamt die wirtschaftlichen Bedingungen des Leguminosenanbaus erhöht und damit mittelfristig einen noch stärkeren Klimaschutzeffekt auslöst. Allerdings sollten die

vergleichsweise stärker volatilen Erträge von Leguminosen im Kontext der Produzentenakzeptanz stärker ins Kalkül gezogen werden. Risikoaverse Entscheider könnten deutlich höhere als die hier dargestellten Prämien fordern (Seifried et al. 2015).

Die Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland kann im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU in der kommenden Förderperiode ab 2023 auf verschiedenen Ebenen implementiert und entsprechend in den nationalen Strategieplan aufgenommen werden. In der sog. 1. Säule wäre eine Förderung des Leguminosenanbaus i) in Form einer gekoppelten Prämie oder ii) als Maßnahme im Rahmen der Öko-Regelungen (Eco-Schemes) möglich. Obwohl Deutschland produktgekoppelte Prämien grundsätzlich aufgrund potentieller Wettbewerbsverzerrungen ablehnt, sind im Entwurf eines Gesetzes zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik finanzierten Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Gesetz - GAPDZG) vom 16.4.2021 gekoppelte Prämien für Mutterschafe und -ziegen sowie Mutterkühe ausnahmsweise vorgesehen. Das Fördervolumen dafür beträgt 2 % des Betrags, der für die Direktzahlungen nach der Übertragung von Mitteln in den ELER zur Verfügung steht, d.h. 88 Mio. € in 2023 bzw. 84 Mio. € in 2026. Dies soll die einzige Ausnahme vom fortbestehenden Grundsatz sein, Direktzahlungen von der Produktion zu entkoppeln. Auch wenn mehrere Mitgliedstaaten gekoppelte Zahlungen auch für andere Sektoren gewähren, ist mit der hier nun vorgenommenen begrenzten Einführung gekoppelter Zahlungen ausdrücklich nicht verbunden, dass gekoppelte Zahlungen in Deutschland in Zukunft auch in anderen Bereichen eingeführt würden. Vielmehr sind die geschilderten besonderen Aspekte dieser traditionellen Wirtschaftsformen ausschlaggebend (GAP-Direktzahlungen-Gesetz – GAPDZG). Trotz dieser ablehnenden Haltung Deutschlands ist es prinzipiell möglich, im nationalen Strategieplan (weitere) gekoppelte Zahlungen einzuplanen. Insbesondere zur Förderung von Körnerleguminosen, mit deren Anbau ein vergleichsweise kostengünstiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden kann und die darüber hinaus vielfältige weitere Ökosystemleistungen hervorbringen, wären gekoppelte Flächenprämien ein geeignetes Instrument. Derartige Hektarprämien für Körnerleguminosen kommen in mehr als der Hälfte der EU-Mitgliedstaaten bereits in der gegenwärtigen Förderperiode der EU-GAP zur Anwendung (Anhang 3). Diese Flächenprämien reichen im Jahr 2020 von 31 €/ha in Finnland bis 409 €/ha in Slowenien. In Frankreich betragen sie z.B. für Soja und Eiweißpflanzen rund 120 €/ha, in Spanien und Italien rund 50 €/ha, in Polen 186 €/ha und speziell für Sojabohnen in Ungarn 197 €/ha und in Rumänien 370 €/ha.

Vor diesem Hintergrund könnte in Deutschland in erster Linie zum Klimaschutz eine Prämie für den Anbau von Körnerleguminosen eingeführt werden. Bei einer Prämie von 250 € je ha lägen die THG-Vermeidungskosten unter den angenommenen Klimakosten von

80 €/t CO₂Äq. und wären vergleichbar mit THG-Vermeidungskosten alternativer Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft. Bei dieser Prämie könnte der Anbau von Körnerleguminosen in Deutschland um etwa 300.000 ha auf rund 500.000 ha (ca. 4,5%) ausgedehnt und THG-Emissionen in Höhe von rund zusätzlich 1 Mio. t CO₂Äq. vermieden werden. Bei einem Prämienvolumen von 75 Mio. € für die Flächenausdehnung bzw. 125 Mio. € für die Körnerleguminosenfläche insgesamt, ergäbe sich ein Fördervolumen von 1,7 bzw. 2,8 % des Betrags, der für die Direktzahlungen nach der Übertragung von Mitteln in den ELER zur Verfügung steht.

Alternativ könnte diese Förderung als Maßnahme im Rahmen der Öko-Regelungen implementiert werden. Folgende Aspekte, die zusätzlich zur Wirksamkeit für die verfolgten spezifischen Ziele gefordert werden, treffen hier für die Förderung von Körnerleguminosen zu: a) Umweltnutzen bereits bei einjähriger Anwendung, b) hohe Wirksamkeit für Biodiversität, Boden-, Gewässer- und / oder Klimaschutz, c) einfache Administrierbarkeit, d) einfache Anwendbarkeit für den Landwirt oder die Landwirtin e) geringe Fehleranfälligkeit f) potentiell flächendeckende und einheitlich ausgestaltete Angebote, die deutschlandweit angeboten werden können. Als eine von sieben Maßnahmen im Rahmen der Öko-Regelungen ist folgende Maßnahme festgelegt: ein Anbau vielfältiger Kulturen mit mindestens fünf Hauptfruchtarten im Ackerbau einschließlich des Anbaus von Leguminosen mit einem Mindestanteil von 10 Prozent. Diesbezüglich könnte zur Einstiegserleichterung bzw. Akzeptanzsteigerung eine ergänzende Maßnahmenvariante angeboten werden, die bereits eine Teilnahme mit 5 % Leguminosenanteil bzw. ein stufenweises Modell bei einer etwas reduzierten Flächenprämie ermöglicht.

Schließlich könnte die Förderung des Anbaus von Körnerleguminosen über eine nationale Grundförderung hinaus im Rahmen der Agrar- Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen im Rahmen der zweiten Säule der EU-GAP aus ELER-Mitteln gefördert werden und dabei bundeslandspezifisch regionale Potentiale adressieren. Dabei könnten Körnerleguminosen insbesondere in Regionen mit geringen THG-Vermeidungskosten zusätzlich gefördert werden.

Trotz der bedeutenden Wirkung von Flächenprämien hat das Zukunftsszenario 1c eindrücklich gezeigt, welches Flächenpotential z.B. durch züchterische Fortschritte ermöglicht wird. Dies gilt entsprechend für alle Entwicklungen, die zu Kostensenkungen bzw. Erlössteigerungen und damit zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Körnerleguminosenanbaus führen. Auch um derartige Entwicklungen zu unterstützen, gibt es im Rahmen der zweiten Säule zahlreiche Ansatzpunkte. Im Bereich des Agrarinvestitionsförderungsprogramms (AFP) könnte die Förderung folgender Investitionen aufgenommen werden: technische Zusätze für Erntemaschinen (Flex-Schneidwerk),

Maschinen und Geräte zur Reinigung, Sortierung, Trocknung, Lagerung, Toastung von Körnerleguminosen, etc. Im Rahmen der Marktstrukturverbesserung könnten innovative Unternehmen gefördert werden, die neue Produkte, Märkte und Wertschöpfungsketten auf der Basis von Körnerleguminosen im Nahrungs- und Futtermittelbereich entwickeln. Als zentrales Element sind Züchtungsaktivitäten zu unterstützen. Und schließlich ist der Transfer neuer Erkenntnisse durch Bildung, Qualifikation und Beratung sicher zu stellen.

5. Schlussfolgerung

Mit Hilfe eines nicht-linearen Modellierungsansatzes auf Ebene der Landkreise in Deutschland konnten wir eine Potenzialerhebung für die Ausweitung von Körnerleguminosen unter Berücksichtigung einer zusätzlichen Prämie durchführen und daraus bundesweit maßgebliche Klimaschutzwirkungen in Form von verminderten THG-Emissionen sowie dazugehörigen THG-Vermeidungskosten ableiten.

Im Sinne einer gemeinwohlorientierten Förderpolitik kann der Klimaschutzeffekt der Körnerleguminosen im Vergleich zu den gesellschaftlich negativen Folgen von THG-Emissionen eine Prämie bis zu etwa 250 € je ha in Bezug auf die marginalen THG-Vermeidungskosten rechtfertigen. Dies würde einer ähnlichen Größenordnung von Prämien entsprechen, die gegenwärtig bereits in den EU-Mitgliedsstaaten Polen oder Ungarn als gekoppelte Flächenprämien gezahlt werden. In diesem Kontext kann die Förderung von Körnerleguminosen bei vergleichsweise geringen Vermeidungskosten einen Beitrag für den Klimaschutz leisten. Der Erhalt der Prämien sollte außerdem an weitere Bedingungen gebunden sein. Zur Vermeidung von Stickstoffauswaschungen über den Winter und damit höheren erforderlichen Düngermengen im Folgejahr, sollte eine Begrünung der Flächen über die Wintermonate obligatorisch sein.

Je nach Prämienhöhe und betrachtetem Szenario erscheint ein Anbauanteil von 5% Körnerleguminosen in der Fruchtfolge auf Bundesebene realistisch bzw. sinnvoll. Bei der Ausweitung des Anbaus in Regionen, in denen bisher kein Anbau von Sojabohnen oder anderen Körnerleguminosen stattgefunden hat, wären durchaus auch höhere Anteile realisierbar und im Sinne des Klimaschutzes im Kontext seiner Förderung sinnvoll.

Prämien können daher ein wichtiger Baustein hin zu einer breiteren Etablierung von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge sein. Neben Prämien als primärer Anreiz sind allerdings auch weitere Faktoren wie züchterische Fortschritte oder höhere Markterlöse durch verbesserte Logistik- und Wertschöpfungsketten relevant, die zu Erlössteigerungen führen können. Faisal et al. (2017) schlussfolgern ebenfalls, dass Prämien ein Treiber für

den Anbau von Körnerleguminosen in der EU sein können, jedoch kann durch eine Kombination von Fördermaßnahmen und verbesserten Rahmenbedingungen in Produktion und Absatz insgesamt die größte Effektivität erzielt werden. Flächenprämien können daher als An Schub für die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen gesehen werden. Für die Förderung von Körnerleguminosen gibt es zahlreiche Ansatzstellen in der neuen Förderperiode ab 2023 im Rahmen der GAP der EU und entsprechende Möglichkeiten einer Implementierung im nationalen Strategieplan Deutschlands. Sowohl in der ersten als auch in der zweiten Säule der GAP spielt das Klimaschutzziel neben der Biodiversitätsförderung eine zentrale Rolle. Langfristig kann der Anbau nur durch entsprechende attraktive Marktbedingungen nachhaltig etabliert werden.

6. Zusammenfassung

Klimaschutz ist eine der relevantesten Herausforderung unserer Zeit. Auch die Landwirtschaft muss gemäß dem Bundes-Klimaschutzgesetz ihren Beitrag leisten. In diesem Kontext kann auch der Anbau von Körnerleguminosen ein Potenzial zur Vermeidung von Treibhausgas (THG)-Emissionen eine Rolle spielen. Obwohl der Anbau von Körnerleguminosen neben dem Klimaschutzpotenzial mit vielen weiteren agronomischen und ökologischen Vorteilen im Kontext des Boden- und Grundwasserschutzes verbunden sein kann, liegt der Anteil am Ackerland aus wirtschaftlichen Gründen gegenwärtig bei unter 2% in Deutschland. Der Anbau soll daher auch z.B. durch die Eiweißpflanzenstrategie des BMEL gestärkt werden, wobei sich bisher dennoch eher eine Stagnation der Anbauflächen zeigt. In dieser Studie soll daher der mögliche Einfluss einer potenziellen zusätzlichen Prämie für Körnerleguminosen in Deutschland untersucht werden. In diesem Zusammenhang wird das THG-Einsparungspotenzial und damit das Klimaschutzpotenzial der Körnerleguminosen betrachtet. Im Hinblick des Potenzials für die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen und den damit verbundenen Vermeidungskosten für THG-Emissionen zeigen sich räumliche Disparitäten. Im Kontext der marginalen THG-Emissionen und damit verbundenen Vermeidungskosten könnte eine optimale Prämie bei bis zu 250 € je ha liegen. Dadurch könnten bis zu 1 Mio t CO₂Äq. jährlich durch die deutsche Landwirtschaft eingespart werden, dabei sind jedoch nicht nur die dem Sektor Landwirtschaft direkt anrechenbaren THG-Emissionen berücksichtigt, sondern z.B. auch die, die bei der Mineraldüngerherstellung reduziert werden könnten. Bei dieser Prämie liegen die Vermeidungskosten je t CO₂Äq. z.B. in Bayern mit etwa 50 € unter dem Bundesdurchschnitt von 80 €. Dementgegen liegen sie in Brandenburg bei etwa 100 €. Aber in beiden Bundesländern liegt das absolute THG-Einsparungspotenzial im Vergleich zum restlichen

Bundesgebiet relativ hoch. Körnerleguminosen können damit bei vergleichsweise niedrigen THG-Vermeidungskosten einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, abseits ihrer weiteren vielfältigen Ökosystemleistungen. Hinsichtlich der Anbauumfänge gibt es ebenfalls regionale Disparitäten. Größere Potenziale zeigen sich z.B. in den östlichen Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern sowie Thüringen, Nord-Bayern und Süd-Hessen. Bis zu einer Prämienhöhe von 600 € je ha könnten Anbauumfänge zwischen 600.000 ha und 810.000 ha, d.h. ein Anteil von 5,4% bzw. 7,3% in der Fruchtfolge auf Bundesebene erreicht werden., wobei abseits von Prämien weiterer Forschungsbedarf zur Akzeptanzförderungen sowie dem züchterischen Fortschritt und der Etablierung von Wertschöpfungsketten besteht. Neben dem direkten Klimaschutzeffekt des Anbaus von Körnerleguminosen in Deutschland besteht durch die Verringerung von Importen von Eiweißfuttermittel auch auf globaler Ebene ein weiteres Klimaschutzpotenzial, sofern keine Leakage-Effekte induziert werden. Zudem sind weitere relevante Ökosystemleistungen wie die Auswirkungen auf die Biodiversität oder Gewässerschutzeffekte im Zusammenhang mit einer gemeinwohlorientierten Förderung zu quantifizieren. Die Ergebnisse der Studie können wichtige Hinweise für Entscheidungsträger, im Sinne einer besseren Abwägung von potenziellen Klimaschutzeffekten und Förderungen für Körnerleguminosen, liefern. Eine Implementierung einer Flächenprämie in der vorgeschlagenen Größenordnung wäre in der GAP sowohl in der ersten als auch in der zweiten Säule möglich und entspräche damit den in anderen EU-Mitgliedsstaaten bereits gewährten gekoppelten Prämien für Körnerleguminosen.

7. Summary

Climate protection is one of the most relevant challenges of our time. Agriculture must also make its contribution in accordance with the Federal Climate Protection Act (KSG). In this context, the cultivation of grain legumes can also play a potential role in avoiding greenhouse gas (GHG) emissions. Although the cultivation of grain legumes can be associated with many other agronomic and ecological benefits in the context of soil and groundwater protection in addition to the climate protection potential, the share of arable land is currently below 2% in Germany for economic reasons. Cultivation should therefore also be strengthened, for example, by the protein crop strategy of the BMEL, although so far there has nevertheless been rather a stagnation of cultivated areas. In this study, the possible influence of a potential additional premium for grain legumes in Germany will therefore be investigated. In this context, the GHG saving potential and thus the climate protection potential of grain legumes will be considered. With regard to the potential for expanding grain legume cultivation and the associated GHG emission abatement costs,

spatial disparities emerge. In the context of marginal GHG emissions and associated abatement costs, an optimal premium could be up to 250 € per ha. This could save up to 1 million t CO₂eq. per year in German agriculture. However, this includes not only the GHG emissions directly attributable to the agricultural sector, but also, for example, those that could be reduced in mineral fertilizer production. With this premium, the abatement costs per t CO₂eq. in Bavaria, for example, are about 50 €, below the national average of 80 €. In contrast, they are around 100 € in Brandenburg. In both federal states, the absolute GHG saving potential is relatively high compared to the rest of Germany. Grain legumes can thus make an important contribution to climate protection at comparatively low GHG abatement costs. There are also regional disparities with regard to the extent of cultivation. Larger potentials can be found, for example, in the eastern states of Brandenburg and Mecklenburg-Vorpommern as well as Thuringia, northern Bavaria and southern Hessen. Up to a premium level of 600 € per ha, cultivation volumes of between 600,000 ha and 810,000 ha, i.e. a share of 5.4% or 7.3% in the crop rotation at the federal level, could be achieved. Apart from premiums, there is a need for further research on the promotion of acceptance as well as breeding progress and the establishment of value chains. In addition to the direct climate protection effect of the cultivation of grain legumes in Germany, there is also further climate protection potential on a global level through the reduction of imports of protein animal feed, provided that no leakage effects are induced. In addition, further relevant ecosystem services such as the effects on biodiversity or water protection effects in the context of public welfare-oriented promotion are to be quantified. The results of the study can provide important information for decision makers, in terms of a better balancing of potential climate protection effects and subsidies for grain legumes. An implementation of an area payment on the scale proposed would be possible in the CAP in both the first and second pillar and would thus correspond to the coupled premiums for grain legumes already granted in other EU member states.

Literaturverzeichnis

Alpmann, D.; Schäfer, B. (2014): Der Wert von Körnerleguminosen im Betriebssystem, UFOP-Praxisinformation. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. Online verfügbar unter https://www.ufop.de/files/9013/9593/2050/RZ_UFOP_1157_Praxis_Koernerleguminosen_wei_b.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2021.

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2017): Bodennutzung der landwirtschaftlichen Betriebe im Land Brandenburg 2016. Online verfügbar unter https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/Stat_Berichte/2017/SB_C01-01-00_2016j01_BB.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2021.

Arbeitsgruppe BEK (2016): Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Online verfügbar unter ktbl.de, zuletzt geprüft am 18.02.2021.

- Auburger, S.; Jacobs, A.; Märländer, B.; Bahrs, E. (2016): Economic optimization of feedstock mix for energy production with biogas technology in Germany with a special focus on sugar beets – Effects on greenhouse gas emissions and energy balances. In: *Renewable Energy* 89, S. 1–11. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.042>.
- BKG (2018): NUTS regions. Online verfügbar unter <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data.html?p=2>, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- BKG (2021): CORINE Land Cover 5 ha (CLC5 2018). Online verfügbar unter https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/catalog/product/view/id/1071/s/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018/category/8/?__store=default, zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- BLE (2020a): Bericht zur Markt- und Versorgungslage Futtermittel 2020. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Bonn. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Futter/2020BerichtFuttermittel.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- BLE (2020b): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2020. Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Jahrbuch/Agrarstatistisches-Jahrbuch-2020.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- BMEL (2020): Ackerbohne, Erbse & Co. Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Böhm, H.; Dauber, J.; Dehler, M.; Amthauer Gallardo, D. A.; Witte, T. de; Fuß, R. et al. (2020): Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. In: *Journal für Kulturpflanzen* 72 (10-11), S. 489–509. Online verfügbar unter doi.org/10.5073/JfK.2020.10-11.01.
- Bopst, J.; Herbener, R.; Hölzer-Schopohl, O.; Lindmaier, J.; Myck, T.; Weiß, J. (2019): Umweltschonender Luftverkehr lokal – national – international. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-06_texte-130-2019_umweltschonender_luftverkehr_0.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2021.
- DAFA (2012): Fachforum Leguminosen: Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen, Hrsg. v. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn050580.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Dequiedt, B.; Moran, D. (2015): The cost of emission mitigation by legume crops in French agriculture. In: *Ecological Economics* 110, S. 51–60. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.12.006>.
- Fachverband Biogas (2020): Branchenzahlen 2019 und Prognose der Branchenentwicklung 2020 Stand:07/2020. Online verfügbar unter [https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/20-07-23_Biogas_Branchenzahlen-2019_Prognose-2020.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/20-07-23_Biogas_Branchenzahlen-2019_Prognose-2020.pdf), zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- Faisal, M.; Belhouchette, H.; Nasim, W.; Shahzada, T.; Hussain, A.; Therond, E. et al. (2017): Economic and environmental impacts of introducing grain legumes in farming systems of Midi-Pyrenees region (France): a simulation approach. In: *International Journal of Plant*

Production 11 (1), S. 65–87. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.22069/ijpp.2017.3310>.

- Feike, T.; Freiherr zu Eisenberg, L. R.; Lieb, R.; Gabriel, D.; Sabboura, D.; Shawon, A. R. et al. (2020): Einfluss von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung auf den CO₂-Fußabdruck von Weizen. In: *Journal für Kulturpflanzen* 72 (7), S. 311–326. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.5073/JfK.2020.07.08>.
- Feusthuber, Elisabeth; Mitter, Hermine; Schönhart, Martin; Schmid, Erwin (2017): Integrated modelling of efficient crop management strategies in response to economic damage potentials of the Western Corn Rootworm in Austria. In: *Agricultural Systems* 157, S. 93–106. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.011>.
- Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B. et al. (2020): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2018: Report on methods and data (RMD) Submission 2020. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen Institut, 448 p, Thünen Rep 77 and Database,. Online verfügbar unter DOI:10.3220/REP1584363708000.
- Häußermann, U.; Bach, M.; Klement, L.; Breuer, L. (2019): Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3714_43_20_2_luftqualitaet_stickstoffbilanz_bf.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- High-Level Commission on Carbon Prices (2017): Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. Online verfügbar unter https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf, zuletzt geprüft am 23.04.2021.
- Howitt, Richard E. (1995): Positive Mathematical Programming. In: *American Journal of Agricultural Economics* 77 (2), S. 329–342. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2307/1243543>.
- IfLS; ART (2019): Bewertung des Maßnahmen- und Entwicklungsplans Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014-2020 (MEPL III). Frankfurt am Main, Weidenbach-Triesdorf 2019. Institut für Ländliche Strukturforschung (IfLS) und Forschungsgruppe Agrar- und Regionalentwicklung.
- Jeuffroy, M.-H.; Baranger, E.; Carrouée, B.; de Chezelles, E.; Gosme, M.; Hénault, C. et al. (2013): Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas. In: *Biogeosciences* 10 (3), S. 1787–1797. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.5194/bg-10-1787-2013>.
- Karpisnki, Isabella; Ridder, Rebecka; Rajmis, Sandra; Schwarz, Jürgen; Klocke, Bettina; Kehlenbeck, Hella (2020): Fruchtfolge versus Monokultur: Betriebswirtschaftliche Betrachtung eines Dauerfeldversuches im Roggenanbau über 18 Jahre. In: *Journal für Kulturpflanzen* 72 (7), S. 298–310. Online verfügbar unter DOI: 10.5073/JfK.2020.07.07.
- Kremen, C.; Miles, A. (2012): Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. In: *Ecology and Society* 17 (4). Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/26269237>.
- KTBL (2021): Standarddeckungsbeiträge. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL),. Online verfügbar unter <https://daten.ktbl.de/sdb/welcome.do>, zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- Latacz-Lohmann, U.; Breustedt, G.; Herrmann, C.-C.; Schreiner, J. (2019): Präferenzen betroffener Landwirte für freiwilligen Moorschutz. In: *German Association of Agricultural Economists (GEWISOLA), 59th Annual Conference, Braunschweig, Germany, September 25-27, 2019*. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.22004/ag.econ.292276>.

- LfL (2015): Großkörnige Leguminosen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/grosskoernige-leguminosen_lfl-information.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2021.
- Magrini, M.-B.; Anton, M.; Cholez, C.; Corre-Hellou, G.; Duc, G.; Jeffroy, M.-H. et al. (2016): Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. In: *Ecological Economics* 126, S. 152–162. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>.
- Mirsch, Martin (2021): Anbaueignung der Regionen in Deutschland. Deutscher Sojafördererring. Online verfügbar unter <https://www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/sojaklima-in-deutschland/karte-anbaueignung-deutschland/>, zuletzt geprüft am 01.04.2021.
- Mitter, Hermine; Schmid, E.; Sinabell, F. (2015): Integrated modelling of protein crop production responses to climate change and agricultural policy scenarios in Austria. In: *Climate Research* 65, S. 205–220. Online verfügbar unter DOI: <https://doi.org/10.3354/cr01335>.
- Naudin, C.; van der Wert, H. M. G.; Jeuffroy, M.-H.; Corre-Hellou, G. (2014): Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: A new method for handling the impacts of co-products. In: *Journal of a Cleaner Production* 73, S. 80–87. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.029>.
- Nemecek, T.; Richthofen, J.-S. von; Dubois, G.; Casta, P.; Charles, R.; Pahl, H. (2008): Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. In: *European Journal of Agronomy* 28 (3), S. 380–393. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.004>.
- Nikolić, U.; Sinabell, F.; Mitter, Hermine; Schmid, E. (2015): Soy bean production in Serbia - current state and future perspectives. In: *OGA Jahrbuch - Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics* 24, S. 49–58. Online verfügbar unter https://oega.boku.ac.at/fileadmin/user_upload/Tagung/2014/JP_14/04_26_Nikolic_OEGA_JB14.pdf, zuletzt geprüft am 21.04.2021.
- Noleppa, S.; Carlsburg, M. (2015): Nahrungsmittelverbrauch und Fußabdrücke des Konsums in Deutschland- Eine Neubewertung unserer Ressourcennutzung. Berlin. WWF Deutschland. Online verfügbar unter https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Studie_Nahrungsmittelverbrauch_und_Fussabdruck_des_Konsums_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Nultsch, W. (1982): Allgemeine Botanik: kurzes Lehrbuch für Mediziner und Naturwissenschaftler. 7. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Osterburg, B.; Heidecke, C.; Bolte, A.; Braun, J.; Dieter, M.; Dunger, K.; Elsasser, P. et al. (2019): Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Thünen Working Paper 137. Online verfügbar unter https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00055316, zuletzt geprüft am 23.04.2021.
- Reckling, M.; Bergkvist, G.; Watson, C. A.; Stoddard, F. L.; Zander, P. M.; Walker, R. L. et al. (2016): Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. In: *Frontiers in plant science* 7, S. 669. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669>.
- Röder, N.; Laggner, B.; Reiter, K.; Offermann, F. (2021): Ist das DVL-Modell „Gemeinwohlprämie“ als potenzielle Ökoregelung der GAP nach 2020 geeignet? Thünen Working Paper 166. Online verfügbar unter <https://bit.ly/2ZSsQb8>, zuletzt geprüft am 20.04.2021.
- Röhm, Ottmar; Dabbert, Stephan (2003): Integrating Agri-Environmental Programs into Regional Production Models: An Extension of Positive Mathematical Programming. In:

American Journal of Agricultural Economics 85 (1), S. 254–265. Online verfügbar unter <https://www.jstor.org/stable/1244941>.

- Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Vos, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S. et al. (2021): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019 Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2021. Thünen Report 84. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3220/REP1616572444000>.
- Roßberg, D.; Recknagel, J. (2017): Untersuchungen zur Anbaueignung von Sojabohnen in Deutschland. In: *Journal für Kulturpflanzen* 69 (4), S. 137–145. Online verfügbar unter DOI: 10.1399/JFK.2017.04.02.
- Schönhart, M.; Schmid, E.; Schneider, U. A. (2011): CropRota – A crop rotation model to support integrated land use assessments. In: *European Journal of Agronomy* 34 (4), S. 263–277. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.004>.
- Seifried, Adele; Mitter, Hermine; Schmid, Erwin (2015): Stochastische Dominanzanalyse von Deckungsbeiträgen im österreichischen Sojabohnen- und Körnermaisbau. In: *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* 24, S. 59–68. Online verfügbar unter https://oega.boku.ac.at/fileadmin/user_upload/Tagung/2014/JB_14/OEGA-Jahrbuch_2014_end.pdf#page=69, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020a): Anbau auf dem Ackerland in landwirtschaftlichen Betrieben nach Fruchtarten - Jahr - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte. Online verfügbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis/>, zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020b): Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung und Zahl der Tiere - Stichtag - regionale Ebenen. Online verfügbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1618831446563&code=41141#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021): Landwirtschaftliche Betriebe und deren landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) nach Kulturarten - Jahr - regionale Ebenen. Online verfügbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis/>, zuletzt geprüft am 30.03.2021.
- Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern (2017): Struktur der Bodennutzung in Mecklenburg-Vorpommern 2016. Online verfügbar unter <https://www.laiv-mv.de/static/LAIV/Statistik/Dateien/Publikationen/C%20IV%20Agrarstruktur/C%204935/C4935%202016%2001.pdf>, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- Statistisches Amt Saarland (2017): Statistische Berichte. Bodennutzung 2017. Online verfügbar unter https://www.saarland.de/stat/DE/_downloads/aktuelleBerichte/C/CI1.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020): Landwirtschaftliche Bodennutzung - Anbau auf dem Ackerland - Fachserie 3 Reihe 3.1.2 - Vorbericht 2020. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Publikationen/Bodennutzung/anbau-ackerland-vorbericht-2030312208004.html>, zuletzt aktualisiert am 05.04.2021.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021): Zentraler Auskunftsdienst, Koordinierungsstelle, Vertieb. Anbau auf dem Ackerland nach Fruchtarten 2016 auf Kreisebene - speziell Hülsenfrüchte. Statistikamt Nord, Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW) Geschäftsbereich Statistik, Bayerisches Landesamt für Statistik (2017), Hessisches Statistisches Landesamt, Landesamt für Statistik Niedersachsen, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz.
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2021): Anbau von Hülsenfrüchten in den landwirtschaftlichen Betrieben im Freistaat Sachsen nach Kreisfreien Städten und Landkreisen 2016 (Auszug Tab 0102.1 T). Kamenz.

- Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2021): Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt 2016 nach jeweiligen Flächen und Anbaukulturen. Halle (Saale).
- Thüringer Landesamt für Statistik (2017): Bodennutzung in Thüringen 2016. Online verfügbar unter https://statistik.thueringen.de/webshop/pdf/2016/03103_2016_00.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2021.
- UBA (2012): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten. Mit Anhängen A und B. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekonomische-bewertung-von-umweltschaeden-0>, zuletzt geprüft am 23.04.2021.
- UNESCO (2021): The World in 2030: public survey report. Online verfügbar unter <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375950.locale=en>, zuletzt geprüft am 25.04.2021.
- Voisin, A.-S.; Guéguen, J.; Huyghe, C.; Jeuffroy, M.-H.; Magrini, M.-B.; Meynard, J.-M. et al. (2014): Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. In: *Agronomy for Sustainable Development* 34, S. 361–380. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0189-y>.
- Vollmann, J.; Schweiger, P. (2014): Effekte der symbiontischen Stickstoff-Fixierung der Sojabohne. In: 4. *Umweltökologisches Symposium*, S. 105–108. Online verfügbar unter http://plantbreeding.boku.ac.at/jv/jv_pdf/Vollmann_Schweiger_2014_N_fix_Soja_Gumpenstein.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Wälzholz, Andrea (2003): Effekte des Beitritts Polens zur EU auf das Angebotsverhalten polnischer Molkereien. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar unter <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-AB5F-A/waelzholz.pdf?sequence=1>, zuletzt geprüft am 26.01.2021.
- WBAE; WBW (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL. Berlin.
- Weißer, Nina; Tschigg, S.; Schätzl, R.; Wolf, L.; Gain, A.; Pfeiffer, T. et al. (2018): Schlussbericht zum Thema "Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Sojabohnen in Deutschland". FKZ: 2814EPS001; 2814EPS002; 2814EPS003; 2814EPS004. Online verfügbar unter <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2020/08/Abschlussbericht-Projekt-Sojanetzwerk-2013-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 19.02.2021.
- Weikard, H.-P.; Punt, M.; Wesseler, J. (2006): Diversity measurement combining relative abundances and taxonomic distinctiveness of species. In: *Diversity and Distributions* 12 (2). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00234.x>.
- Zimmer, Y.; Böttcher, T. (2021): Mit Sojaanbau profitabel Fruchtfolgen erweitern? Thünen Working Paper 169. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_169.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2021.

Anhang

Anhang 1: Links zu den in Tabelle 1 genannten Agrarumweltmaßnahmen der Bundesländer

- **Baden-Württemberg:** https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/A_Betriebsmanagement (Abruf am 31.03.2021)
- **Bayern:** https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/massnahme_nuebersicht_kulap.pdf (Abruf am 31.03.2021)
- **Brandenburg/Berlin:**
<https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/service/foerderung/landwirtschaft/foerderung-kulturlandschaftsprogramm/> (Abruf am 31.03.2021)
- **Hamburg:**
<https://www.hamburg.de/contentblob/4445194/517706c4a5eb271c9e07f8e695f840b1/data/agrafoerderprogramm-2015-2020.pdf> (Abruf am 31.03.2021)
- **Hessen:** https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/das_wichtigste_im_ueberblick_12.05.2020.pdf (Abruf am 31.03.2021)
- **Mecklenburg-Vorpommern:** https://www.service.m-v.de/foerderfibel/?sa.fofioerderung.foerderung_id=142&sa.fofi.kategorie_id=1 (Abruf am 31.03.2021)
- **Niedersachsen/Bremen:**
https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agraforforderung/agra_rumweltmassnahmen_aum/aum_details_zu_den_massnahmen/wichtige-hinweise-zum-antragsverfahren-145542.html (Abruf am 31.03.2021)
- **Nordrhein-Westfalen:** <https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/laendlicherraum/aum/index.htm> (Abruf am 31.03.2021)
- **Rheinland-Pfalz:** https://www.agrarumwelt.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=74YIPD31AI&p1=6C0576O6UP&p3=B0M2ASUNS3&p4=V3T2DV1CT7 (Abruf am 31.03.2021)
- **Saarland:**
https://www.saarland.de/muv/DE/portale/landwirtschaft/informationen/agrarumwelt-klimamassnahmen/agrarumwelt-klimamassnahmen_node.html (Abruf am 31.03.2021)

- **Sachsen:** <https://www.smul.sachsen.de/foerderung/richtlinie-agrarumwelt-und-klimamassnahmen-auk-2015-4493.html#a-4498> (Abruf am 31.03.2021)
- **Sachsen-Anhalt:** <https://europa.sachsen-anhalt.de/esi-fonds-in-sachsen-anhalt/ueber-die-europaeischen-struktur-und-investitionsfonds/eler/eplr/eler-massnahmen-im-ueberblick/tier-und-flaechenbezogene-massnahmen/msl/> (Abruf am 31.03.2021)
- **Schleswig-Holstein:** https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/F/foerderprogramme/MELUR/LPLR/Foerderwegweiser/10_1_3_KulturenAckerbau.html (Abruf am 31.03.2021)
- **Thüringen:** <https://infrastruktur-landwirtschaft.thueringen.de/unsere-themen/landwirtschaft/agrarfoerderung/flaechen/> (Abruf am 31.03.2021)

Anhang 3: Förderung von Körnerleguminosen in der EU im Rahmen der GAP

Mitgliedstaat	Maßnahme	Förderungs- höchstgrenze in Hektar	Zahlung pro Hektar in Euro		Gesamtfördersumme in Millionen Euro	
			2015	2020	2015	2020
EU-28 total		4.318.571	99	103,90	427.64	448.57
Frankreich	alle Eiweißpflanzen	1.286.112	105-122	107-124	142.20	144.82
	Futterpflanzen	958.000	105-107	107-109	102.55	104.44
	Eiweißpflanzen	278.376	122	124	33.85	34.84
	Soja	49.736	117	119	5.80	5.91
Spanien	alle Eiweißpflanzen	933.046	48	48	44.54	44.54
	Ölsaaten	572.287	40	40	22.89	22.89
	Eiweißpflanzen	360.759	60	60	21.65	21.65
Rumänien	alle Eiweißpflanzen	435.930	112	157	48.71	68.32
	Luzerne	344.300	55	100	18.94	34.43
	Soja	91.630	325	370	29.77	33.89
Italien	alle Eiweißpflanzen	398.897	60	57	24.04	22.82
	Eiweißpflanzen	214.893	66	63	14.16	13.45
	Soja	184.004	54	51	9.87	9.37
Polen	Eiweißpflanzen	329.123	205	186	67.57	61.23
Ungarn	alle Eiweißpflanzen	260.989	103	97	26.91	25.38
	Eiweißpflanzen	196.575	68	65	13.46	12.69
	Soja und Eiweißpflanzen (Saatgut)	64.414	209	197	13.46	12.69
Finnland	Eiweißpflanzen	170.570	36	31	6.30	5.50
Tschechien	Eiweißpflanzen	134.000	126	130	16.90	17.46
Litauen	Eiweißpflanzen	101.400	142	176	14.44	17.87
Bulgarien	Eiweißpflanzen	101.393	156	157	15.82	15.93
Kroatien	Eiweißpflanzen	70.000	52	87	3.67	6.12
Griechenland	Futterpflanzen	40.000	175	167	7.00	6.68
Lettland	Eiweißpflanzen	39.237	92	154	3.62	6.06
Slowenien	Eiweißpflanzen	6.574	420	409	2.76	2.69
Irland	Eiweißpflanzen	4.500	250	250	3.00	3.00
Luxemburg	Eiweißpflanzen	800	200	200	0.16	0.16

Quelle: Europäische Kommission 2015



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de