

A report for:



Climate-resilient arable farming

Which alternative arable farming strategies can be implemented in regions with less structured soils to address the challenges of changing climate conditions in the future?

by Olivia Eberwein

2024 Nuffield Scholar

December, 2025

Nuffield International Project No. 2402

Supported by: Zoetis, Horsch, Krone

This publication has been prepared in good faith on the basis of information available at the date of publication without any independent verification. Nuffield International does not guarantee or warrant the accuracy, reliability, completeness of currency of the information in this publication nor its usefulness in achieving any purpose.

Readers are responsible for assessing the relevance and accuracy of the content of this publication. Nuffield International will not be liable for any loss, damage, cost or expense incurred or arising by reason of any person using or relying on the information in this publication.

Products may be identified by proprietary or trade names to help readers identify particular types of products but this is not, and is not intended to be, an endorsement or recommendation of any product or manufacturer referred to. Other products may perform as well or better than those specifically referred to.

This publication is copyright. However, Nuffield International encourages wide dissemination of its research, providing the organisation is clearly acknowledged.

Kontakt Daten Stipendiat

Olivia Eberwein
Kirchstr. 14, 16766 Kremmen
Phone: +4915774713156
Email: o.eberwein@gmx.de

In submitting this report, the Scholar has agreed to Nuffield International publishing this material in its edited form.

NUFFIELD INTERNATIONAL Contact Details:

Nuffield International
Address: PO BOX 495, Kyogle, New South Wales, Australia 2474
Contact: Jodie Redcliffe
Title: Chief Executive Officer
Mobile: (+61) (0) 408 758 602
Email: jodie.redcliffe@nuffield.com.au

Executive summary

This Nuffield Scholarship report explores which alternative arable farming strategies can be implemented in regions with less structured soils, such as the German state of Brandenburg, to address the challenges of climate change. The aim is to derive sustainable cropping systems and mechanization concepts for local agriculture from international travel experiences and practical examples.

“It is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent, but the one most responsive to change”. (Charles Darwin)

An analysis of global climate trends shows that Brandenburg region is increasingly affected by droughts, heavy rainfall and higher temperatures. Crops respond to these stress factors with various adaptation strategies and differ in their ability to cope with changing conditions. The technology used on farms plays a crucial role in enabling flexible responses to climatic fluctuations, particularly through direct seeding, resource-conserving tillage and irrigation.

Visits to countries in Europe, South America and Australia, demonstrate that intercropping, cover crops and adaptive crop rotations can enhance or stabilize yield reliability and soil fertility. Intercropping combines plants with different rooting depths and physiological traits, optimizing water and nutrient use while reducing disease and pest pressure. Cover crops maintain soil cover, improve microbial activity and support sustainable nutrient cycles.

From these findings, specific recommendations can be derived for Brandenburg: combining intercropping systems (deep-rooted, drought-tolerant plants with legumes), targeted use of cover crops, direct seeding or low-till systems (reduced tillage) and precise irrigation can increase the resilience of agricultural enterprises. Such strategies help reduce yield risks, stabilize soils over the long term and improve resource efficiency.

Overall, the report highlights that an integrated approach of combining plant diversity, sustainable soil management and modern mechanization offers a practical and future-oriented strategy for adapting Brandenburg’s agriculture to climate change.

Inhaltsverzeichnis

Executive summary	iii
Vorwort.....	v
Abkürzungen	viii
Abbildungen	viii
Tabellen	viii
Ziele	9
Einleitung.....	10
Kapitel 1: Hintergründe zum Forschungsthema	11
1.1. Klimatische Veränderungen der Vergangenheit.....	11
1.2. Anpassung der Pflanze an klimatische Veränderung.....	14
1.3. Mechanisierung der Landwirtschaft	16
Kapitel 2: Ein globaler Blick auf das Thema - Die Forschungsreise	18
2.1. Zentraleuropa - bereiste Länder Frankreich, Spanien, Rumänien	19
2.2. Südamerika- bereiste Regionen in Brasilien, Argentinien & Chile	20
2.3. Ost-Australien	21
Kapitel 3: Ergebnisse der Forschungsreise.....	22
3.1. Gestaltung nachhaltiger Anbausysteme: Früchte, Fruchtfolgen, Mischkulturen und Untersaaten	22
3.2. Nachhaltige Mechanisierungskonzepte – Maschinen, Bewässerung, Sensorik.....	31
Diskussion der Ergebnisse.....	36
Ausblick und Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis	41
Literaturverzeichnis	45

Vorwort

Aufgewachsen in der Großstadt Berlin, habe ich keinen klassischen landwirtschaftlichen Hintergrund. Dennoch entdeckte ich schon früh auf den Höfen meiner Tanten und Onkel meine Faszination für den Pflanzenbau und die Arbeit mit der Natur. Nach meinem Studium mit Masterabschluss in Agrarwissenschaften habe ich meinen Weg bewusst in die praktische Landwirtschaft eingeschlagen und die ackerbauliche Leitung in einem vielseitig aufgestellten Betrieb in Brandenburg, nordwestlich von Berlin übernommen.

Wir bewirtschaften leichte Böden auf denen Weizen, Raps, Gerste, Sonnenblumen, Kartoffeln, Roggen und Silomais angebaut werden. Schon immer habe ich mich für vielfältige Anbaustrukturen und technische Innovationen begeistert. Doch die klimatischen Veränderungen stellen Landwirte in der Gegend zunehmend vor große Herausforderungen. Während in Zentraleuropa die Niederschläge früher gleichmäßiger über das Jahr verteilt waren, kommt es heute immer häufiger zu langen Trockenperioden und Starkregenereignissen. Auf sandigen Standorten bedeutet das eine doppelte Belastung: Wasser kann weder lange gespeichert noch plötzliche Mengen aus Starkregen schnell aufgenommen werden. Die nutzbare Feldkapazität ist entsprechend gering, was die Anfälligkeit für Trockenstress massiv verstärkt.

Im Austausch mit Landwirten unserer Region wird immer wieder deutlich: Wir alle stellen uns dieselben Fragen. Wie können wir unsere Betriebe wirtschaftlich stabil und ackerbaulich nachhaltig aufstellen? Wie können wir den Herausforderungen extremer Witterungsverläufe begegnen und zugleich ökonomisch bestehen? Die Antworten sind oft noch unklar – und manchmal scheinen die Fragen mehr zu werden, je tiefer man in das Thema einsteigt.

„Veränderung ist das Gesetz des Lebens. Und jene, die nur auf die Vergangenheit oder die Gegenwart blicken, werden die Zukunft verpassen.“ (John F. Kennedy)

Mich treibt besonders die Suche nach Lösungen an: Welche Früchte und Fruchtfolgen sind unter diesen Bedingungen sinnvoll? Welche Chancen bieten Untersaaten? Welche Bodenbearbeitungssysteme sind geeignet, um Wasser zu sparen und Erosion zu vermeiden? Welche Rolle spielt die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln in diesem Spannungsfeld? Und über alle Maßnahmen hinweg der Zielkonflikt betriebswirtschaftlicher Zwänge / kurzfristiger Wirtschaftlichkeit versus mikroökonomischer Anforderungen.

Das Nuffield-Stipendium hat mir die Möglichkeit eröffnet, diesen Fragen über die Landesgrenzen hinaus nachzugehen. Gemeinsam mit meinen Stipendiatinnen und Stipendiaten durfte ich zunächst an der CSC (Contemporary Scholars Conference) in Brasilien teilnehmen, wo spannende Fachvorträge und Besuche auf Ackerbau- und Viehbetrieben wichtige Impulse gaben.

Im Rahmen des Global Focus Programm (GFP) bereiste ich anschließend verschiedene Länder:

- Australien (Queensland und NSW) – großflächige Ackerbaubetriebe unter extremen Trockenheitsbedingungen und Hitzeperioden.
- Katar – Indoor-Gewächshausproduktion und Resilienz aus dem Blick der globalen Ernährungsperspektive.
- Indien – kleinstrukturierte Betriebe, vielfältige Bewässerungstechniken und die Rolle vorgelagerter Industrien.
- Irland – Ackerbau- und Milchviehbetriebe mit innovativen Unternehmerstrukturen.

Zusätzlich hatte ich die Gelegenheit, weitere Länder individuell zu bereisen und Eindrücke aus unterschiedlichsten Klimazonen zu sammeln:

- Rumänien (kontinentales Klima) – mit Schwerpunkt auf intensiven Ackerbau und Züchtung
- Spanien (ozeanisch-kontinentalen Klimazone) – mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Ackerbau
- Argentinien (Region Buenos Aires) und Zentral-Chile (mediterranes Klima) – konservierende Anbausysteme auf großen Flächen.
- Frankreich (ozeanisch bis mediterranes Klima) – vielfältige Ackerbauverfahren und Einblicke in europäische Anbautechniken.

Noch habe ich längst nicht alle Antworten gefunden und habe sogar mehr Fragen offen. Doch ich durfte auf meinen Reisen vielen innovativen und inspirierenden Menschen begegnen, die mir wertvolle Anregungen, Perspektiven und auch konkrete Lösungsansätze mitgegeben haben. Diese Erfahrungen möchte ich im Folgenden mit wissenschaftlicher Literatur verbinden und auf unsere Bedingungen in Brandenburg übertragen – mit dem Ziel, unseren Böden, unserem Klima und unserer Landwirtschaft zukunftsfähige Wege aufzuzeigen.

Tabelle 1 Reisezeit

Reisezeitraum	Orte	Besuche
CSC und Post CSC		
März 2024	Brasilien Sao Paulo, Mato Grosso do Sul	Fachvorträge in Campo Grande und Bonito, diverse Farmbesuche in der Region, sowie in der Region von Sao Paulo Kaffeeanbau, Marktfruchtanbau (Mais, Soja...), Viehzucht
Global Focus Tour:		
Juni 2024	Australien, NSW, Queensland	Diverse Ackerbau- und Viehbetriebe, Veredlungsbetriebe, Gemüse- & Obstbetriebe, Fischerei, Besuche von politischen Institutionen
Juni 2024	Indien, Dehli und Pune	Besuche von Unternehmen im vor- und nachgelagertem Bereichen, Farmbesuche, politische Institutionen
Juni 2024	Katar	Besuche von Unternehmen im vor- und nachgelagertem Bereichen (Bspw. Getreidemühle, Agrotourismus, Schlachthaus...), politische Institutionen
Juni-Juli 2024	Irland, Dublin & süd-östliche Region Irlands	Diverse Ackerbau- und Viehbetriebe mit Fokus auf Milchvieh, weiterverarbeitende Industrie sowie vor- und nachgelagerter Bereich (bspw. Käseherstellung, Brauerei, Melktechnik...)
Individuelle Reisezeit		
Mai 2024	Australien, Queensland	Ackerbaubetriebe bei Brisbane, Toowoomba, Allora (Anbau von Sorghum, Mais, Getreide...)
Oktober 2024	Spanien, Raum Madrid	Olivenplantagen, Obstanbau, Ackerbau
Oktober 2024	Rumänien, Raum Bukarest	Ackerbaubetriebe, Saatgutzucht von Lidea
November 2024	Argentinien, Region Buenos Aires	Diverse Ackerbau- und Viehbetriebe (Mais, Soja, Weizenanbau...)
Dezember 2024	Chile: nördlich Santiago bis Los Angeles	Diverse Ackerbaubetriebe, ackerbauliche Beratungsunternehmen
Juni 2025	Frankreich: Rundreise durchs ganze Land	Diverse Ackerbaubetriebe, ackerbauliche Beratungsunternehmen

Abkürzungen

CSC	Contemporary Scholar Conference
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GFP	Global Focus Tour
NSW	New South Wales
ZF	Zwischenfrucht

Abbildungen

Abbildung 1 Deutschland im Klimawandel	12
Abbildung 2 Niederschlagsverteilung in Deutschland	12
Abbildung 3 Monatsmitteltemperaturen Brandenburg	13
Abbildung 4 Stationen meiner Nuffieldreise	22
Abbildung 5 Frankreich - Weidelgrasproblematik im Weizen	24
Abbildung 6 Frankreich - Weizensorten-Gemenge	25
Abbildung 7 Belgien - Mischkultur: Linse, Sonnenblume und Luzerne	26
Abbildung 8 Frankreich - Mischkultur: Weidelgras, Raps, Leguminosen	27
Abbildung 9 Frankreich - Mischkultur: Leinen, Sonnenblume, Ackerbohne, Linsen	27
Abbildung 10 Frankreich - Mischkultur: Weizen (120kg/ha) & Ackerbohne (50kg/ha)	28
Abbildung 11 Rumänien - Zwischenfruchtanbau mit Platterbse	29
Abbildung 12 Australien - Zwischenfrucht Management auf der K. Farm	31
Abbildung 13 Chile - herkömmliches Bewässerungssystem	32
Abbildung 14 Rumänien - Kelly- Egge mit Saattank	34
Abbildung 15 Argentinien - Direktsaatmaschine	35
Abbildung 16 Australien - autonome Pflanzenschutzspritze	35
Abbildung 17 Brandenburg - Raps mit Untersaat	42
Abbildung 18 Brandenburg - Mischkultur Mais- Bohne	42

Tabellen

Tabelle 1 Reisezeit	vii
Tabelle 2 Agrarische Kennzahlen und Entwicklungen der bereisten Länder im Überblick	18
Tabelle 3 Ergebnisse der besuchten Betriebe	36

Ziele

Das übergeordnete Ziel der Forschungsreise besteht darin, alternative Ackerbau-Strategien für Regionen mit weniger strukturierten Böden, wie Brandenburg, zu identifizieren, die eine nachhaltige Anpassung an die klimatischen Herausforderungen der Zukunft ermöglichen.

Daraus leiten sich die folgenden konkreten Ziele ab:

1. Analyse der klimatischen Herausforderungen im Ackerbau in Brandenburg

- Untersuchung der klimatischen Trends in Brandenburg und vergleichbaren Regionen weltweit.
- Identifikation der Risiken Trockenperioden, Starkregenereignisse für den Ackerbau.

2. Welche Früchte, Fruchtfolgen und Mischkulturen können sich an diese Herausforderungen anpassen

- Welche Früchte sind besonders anpassend an die klimatischen Herausforderungen?
- Untersuchung der Wirkung von Mischkulturen, Fruchtfolgen und Zwischenfrüchten auf Resilienz gegenüber Stressfaktoren.

3. Beurteilung mechanisierter Anpassungsmaßnahmen

- Analyse der Rolle von verschiedenen Bodenbearbeitungskonzepten um Wassersparend zu wirtschaften. Welche Rolle spielt Bewässerung?

4. Erfassung und Vergleich internationaler Praxisbeispiele

- Darstellung von erfolgreichen Anbaustrategien aus Europa, Südamerika und Australien.
- Ableitung von Best-Practice-Ansätzen für die Landwirtschaft in Brandenburg.

5. Ableitung praxisnaher Empfehlungen für Brandenburg

- Integration der Erkenntnisse aus Pflanzenauswahl, Mischkulturen, Zwischenfrüchten und Mechanisierung.
- Herauskrystallisieren von Maßnahmen, die die Resilienz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Betriebe verbessern.

Diese Ziele bilden den Leitfaden für die Struktur der Arbeit und dienen während der Analyse stets als Bezugspunkt, um die Relevanz und Praxisanwendbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Einleitung

Die landwirtschaftlich nutzbare Fläche in Brandenburg beträgt rund 1,1 Millionen Hektar, wobei die Region durch überwiegend sandige Böden und eine geringe Wasserhaltekapazität geprägt ist. Es kommt zu immer häufigeren Frühjahrstrockenperioden und ungleichverteilte z.T. Starkregenereignisse. Diese Bedingungen führen zu einer limitierten Nährstoffbindung und stellen insbesondere Sommerungen vor Herausforderungen: Niederschlagsmangel in der Jugendentwicklung oder während der Hauptwachstumsphase kann bereits heute zu deutlichen Ertragsrückgängen führen. Gleichzeitig zeigen viele Betriebe eine Verschlechterung der Bodenstruktur, die langfristig die Produktivität gefährdet.

Vor diesem Hintergrund wird eine nachhaltige und resiliente Bewirtschaftung zunehmend entscheidend, um die langfristige Ertragssicherheit und Bodenfruchtbarkeit zu gewährleisten. Strategien wie Direktsaat, Zwischenfruchtanbau, sowie der Anbau neuer, trockenresistenter Kulturen wie Hirse oder Soja gewinnen an Bedeutung. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, die Widerstandsfähigkeit der Ackerböden zu erhöhen, Wasser- und Nährstoffverluste zu reduzieren und die Agrarproduktion auch unter klimatisch extremen Bedingungen stabil zu halten.

Durch die internationale Vergleichsperspektive, insbesondere anhand von Praxisbeispielen aus Europa, Südamerika und Australien, sollen sich Strategien identifizieren lassen, die für Brandenburg übertragbar sind. Ziel ist es, fundierte Empfehlungen zu formulieren, wie alternative Anbausysteme, Mechanisierungskonzepte und Pflanzenwahl die Landwirtschaft in Regionen mit schwach strukturierten Böden langfristig gestalten können.

Kapitel 1: Hintergründe zum Forschungsthema

Das folgende Kapitel 1, soll einen Überblick und die Herleitung über die wissenschaftlichen Hintergründe des Forschungsthemas „Welche alternativen Ackerbau-Strategien können in Regionen mit weniger strukturierten Böden umgesetzt werden, um den Herausforderungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen in der Zukunft zu begegnen?“ geben, um daraus die Forschungsfrage herauszuarbeiten. Zuerst werden die klimatischen Veränderungen auf deutschlandweiter und internationaler Ebene betrachtet. Des Weiteren werden Anpassungsstrategien der Pflanzen an klimatische Veränderungen sowie Bodengefüge und zuletzt die Mechanisierungskonzepte für Bodenbearbeitung umrissen.

1.1. Klimatische Veränderungen der Vergangenheit

Die Veränderungen des Klimas stellt den Ackerbau und somit die Pflanzen vor Herausforderungen. Die folgenden zwei Absätze sollen einen Überblick über die sich verändernden Strukturen geben.

Regionale Ebene

Deutschland hat sich um 2,5°C, seit den Aufzeichnungen erwärmt, was im Vergleich zum Rest der Welt einen doppelt so hohen Anstieg verzeichnet. Die Wetterlage entwickelt sich zu einer konstant wärmeren, jedoch weiterhin mit Spätfrösten oder kühle Sommer, jedoch sind strenge Winterfröste unwahrscheinlicher. Die Niederschlagsveränderung in Deutschland ist regional sehr uneinheitlich. Es gibt Hinweise auf eine Zunahme von Starkregenereignissen, besonders in Süddeutschland, aber auch auf vermehrte Trockenphasen, wie in Abbildung 1 verdeutlicht. Demnach verschiebt sich die Vegetationsperiode der Pflanzen weiter nach vorne, Winterniederschläge nehmen zu und somit größere Trockenperioden in den restlichen Monaten und die Sonnenscheindauer steigt stetig (Umwelt Bundesamt, 2025; DWD, Deutscher Wetterdienst, 2025).

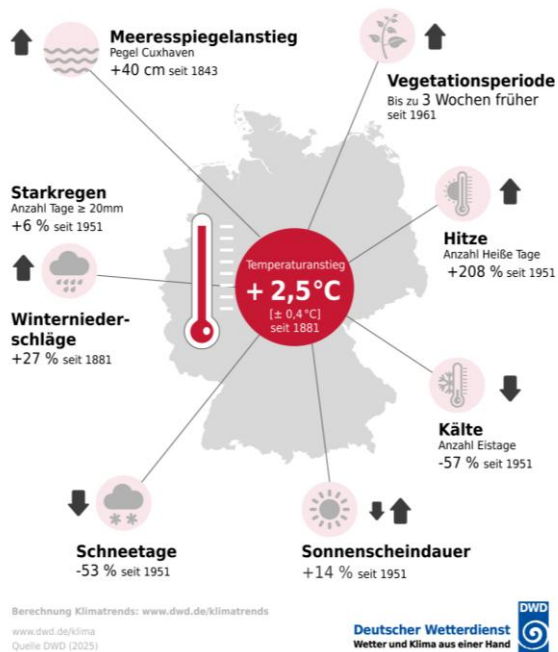


Abbildung 1 Deutschland im Klimawandel
Quelle: (DWD Deutscher Wetterdienst, 2025)

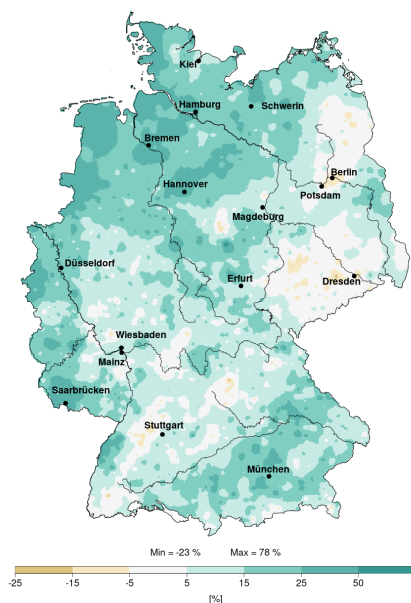
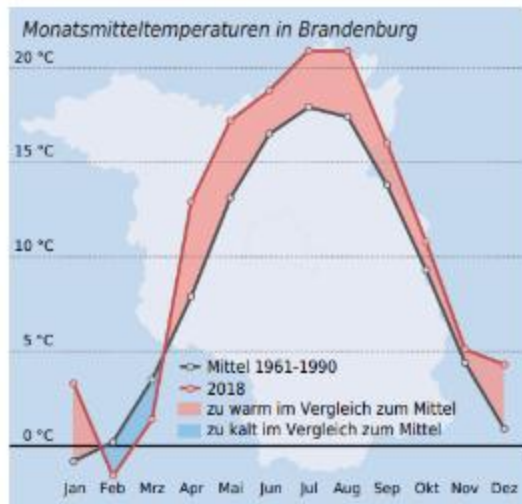


Abbildung 2 Niederschlagsverteilung in Deutschland
Quelle: (DWD, Deutscher Wetterdienst, 2025)

Brandenburg ist geprägt von einer kontinentalen Klimazone mit geringen Niederschlägen (durchschnittlich unter 600 mm/Jahr) (s. Abbildung 2), hohen Verdunstungsraten und leichten, oft sandigen Böden. Die Ackerbaubetriebe sehen sich zunehmend mit Wetterextremen wie Spätfrost, Hitzeperioden, Starkregen und langanhaltender Trockenheit konfrontiert (MLUK, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, 2023). Ebenso steigt die Zahl der Sommertage (Tage mit Höchsttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$). Die Jahre 2018, 2019 und 2022 zählen zu den wärmsten und trockensten seit Beginn der Messungen. Aufgrund der steigenden Temperaturen verkürzt sich die vegetationsfreie Zeit im Winter, während die

Wachstumsperiode (Tage mit einer mittleren Temperatur über 5 °C) seit 1960 um etwa 20 Tage zugenommen hat. Regionen mit sandigen, wasserarmen Böden sind besonders anfällig, da sie geringe Wasserspeicherfähigkeit besitzen. Die Kombination aus hohen Temperaturen, geringem Sommerniederschlag und geringer Grundwasserneubildung führt dort zu einer anhaltenden Wasserknappheit (UBA, 2025; DWD, Klimareport Brandenburg, 2019).



▲ 2018 war in Brandenburg das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf Februar und März wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen auf als während der international gültigen Referenzperiode 1961-1990.

Abbildung 3 Monatsmitteltemperaturen Brandenburg
Quelle: (DWD, Klimareport Brandenburg, 2019)

Ein klarer Trend zu mehr oder weniger Jahresniederschlag ist nicht erkennbar. Die Daten zeigen jedoch eine zunehmende Variabilität: sehr trockene und sehr feuchte Jahre treten häufiger auf. Laut Deutschem Wetterdienst weist der Jahresniederschlag in Brandenburg keine langfristige Änderung auf, wohl aber eine veränderte saisonale Verteilung. Während die Sommerniederschläge insgesamt weitgehend konstant bleiben, häufen sich längere Trockenphasen im Sommerhalbjahr. Im Frühling nehmen die Niederschlagsmengen tendenziell ab, was zuletzt vermehrt zu Frühjahrsdürre-Ereignissen führte (u. a. 2019, 2020, 2022). Zugleich steigt die Zahl der Tage mit Starkregen (≥ 20 mm/Tag) leicht an – es fällt also mehr Regen in kürzerer Zeit (DWD, Klimareport Brandenburg, 2019).

Global

Global gesehen haben sich die klimatischen Veränderungen ähnlich verändert. Für viele Regionen lassen sich ähnliche Trends wie in Brandenburg herauszukristallisieren: **Australien** hat sich bereits um ca. 1,51 °C erwärmt. In Süd- und Südost-Australien ist vor allem in der „Cool Season“ (April bis Oktober) eine Abnahme des Niederschlags beobachtet worden. Gleichzeitig nehmen extreme Niederschlagsereignisse zu, besonders in Norden Australiens. Demnach ist die Verteilung regional sehr unterschiedlich: Süd-Australien verzeichnen

langfristige Rückgänge im Winter/Frühjahr, während der Norden stärkere, aber räumlich konzentrierte Starkregenereignisse zeigt. **Südamerika** zeichnet eine insgesamt größere interannuelle Variabilität, sowie stärkere Extremereignisse auf (Blunden & Boyer, 2024; CSIRO, 2024; Alexander & Arblaster, 2017).

1.2. Anpassung der Pflanze an klimatische Veränderung

Die in Kapitel 0.1. beschriebenen klimatischen Veränderungen auf der Welt, führen in vielen Regionen, auch in Zentraleuropa, zu längeren und intensiveren Trockenphasen, die die landwirtschaftliche Produktion zunehmend beeinträchtigen. Das folgende Kapitel 1.2. soll die Anpassungsfähigkeit der Pflanzen an diese Bedingungen beleuchten.

Anpassung an Trockenheit

Pflanzen reagieren auf Trockenstress mit unterschiedlichen physiologischen und morphologischen Anpassungsstrategien, die in drei Hauptkategorien eingeteilt werden können: Vermeidung, Toleranz und Flucht (Blum, 2017; FAO, 2022).

Die *Vermeidungsstrategien* zielen darauf ab, Wasserverluste zu minimieren oder Wasser effizienter zu erschließen. Dazu gehören tiefreichende Wurzelsysteme, eine wachsartige Cuticula, eine geringere Spaltöffnungsichte und die Fähigkeit, Spaltöffnungen frühzeitig zu schließen, um die Transpiration zu reduzieren. Pflanzen, die diesen Mechanismus ausprägen, können auch bei längeren Trockenperioden ihre Wasserbilanz stabil halten.

Tolerante Arten dagegen überstehen Trockenstress durch die Stabilisierung ihres Zellwasserhaushalts, indem sie sogenannte Osmoprotektanten – wie Prolin oder lösliche Zucker – anreichern und damit Zellstrukturen vor Dehydrierung schützen. Zudem erhöhen sie ihre Wassernutzungseffizienz und können durch Enzym- und Membranstabilisierungen biochemische Schäden vermeiden.

Die dritte Strategie, die *Flucht*, wird vor allem von Pflanzen mit kurzem Lebenszyklus genutzt: Durch eine frühe Blüte und Reifung umgehen sie die trockensten Perioden im Jahr (IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021; Blum, 2017).

In der Landwirtschaft lassen sich die Kulturpflanzen entsprechend ihrer Trockenheitsanpassung in drei Typen einteilen. Vergleicht man einzelne Kulturpflanzen hinsichtlich ihrer Trockenresistenz, zeigen sich deutliche Unterschiede. Kichererbsen zeigen durch ihre Pfahlwurzel und frühe Blüte eine hohe Trockenheitsanpassung. Mais als C₄-Pflanze ist grundsätzlich effizient in der CO₂-Aufnahme, jedoch empfindlich gegenüber Trockenstress in der Blütezeit. Weitere C₄-Pflanzen Sorghum und Hirse gelten als besonders widerstandsfähig, da sie tiefe Wurzelsysteme entwickeln, Wasserverluste minimieren und auch bei geringen

Niederschlägen stabile Erträge liefern, während Weizen und Gerste mittlere bis gute Resilienzen aufweisen, die jedoch stark sortenabhängig sind. Raps zeigt sich dagegen besonders anfällig, da er während der Blütephase auf eine konstante Wasserverfügbarkeit angewiesen ist (Blum, 2017; FAO, 2022).

Mit Blick auf die zunehmende Klimavariabilität in Zentraleuropa betonen FAO (2022) und IPCC (2021), dass die landwirtschaftliche Anpassung weiterhin vor allem über Züchtungsprogramme für Trockentolerante Sorten erfolgen muss. Besonders vielversprechend sind hierbei wie oben beschrieben die C₄-Pflanzen wie Mais, Hirse und Sorghum, die eine höhere photosynthetische Effizienz und Wasserausnutzung aufweisen. Für etablierte Kulturen wie Weizen und Gerste wird die Entwicklung von Sorten mit tiefer Wurzelarchitektur und erhöhter Wassernutzungseffizienz entscheidend sein. Insgesamt zeigt sich, dass die Fähigkeit zur Anpassung an Trockenheit weiterhin ein zentrales Selektionskriterium in der Pflanzenzüchtung sein muss, um die Ernährungssicherheit in Zeiten fortschreitender Klimaerwärmung zu gewährleisten.

An Starkregen

Neben zunehmenden Trockenphasen stellt der Klimawandel die Landwirtschaft auch vor die entgegengesetzte Herausforderung: Phasen intensiver Niederschläge und Staunässe treten in Zentraleuropa häufiger auf, insbesondere infolge von Starkregenereignissen. Diese Bedingungen führen in Ackerböden oft zu Sauerstoffmangel und Überflutungsschäden in der Wurzelzone. Die Anpassungsfähigkeit von Kulturpflanzen an solche Stresssituationen hängt maßgeblich von ihrer Fähigkeit ab, Sauerstofftransport, Wasserhaushalt und Stoffwechselprozesse unter anaeroben Bedingungen aufrechtzuerhalten (Blum, 2017; FAO, 2022).

Pflanzen reagieren auf Staunässe mit morphologischen und physiologischen Anpassungen, um Sauerstoffmangel auszugleichen. Eine zentrale Strategie ist die Bildung von Aerenchymen – luftgefüllten Geweben in Wurzeln und Sprossen, die den Sauerstofftransport von oberirdischen Teilen zur Wurzel ermöglichen. Besonders Feuchtgebietspflanzen und Nutzpflanzen wie Reis zeigen diese Anpassung stark ausgeprägt. Zudem bilden viele Arten Adventivwurzeln nahe der Bodenoberfläche, um dort Sauerstoff aufzunehmen und verändern ihre Wurzelarchitektur, indem sie flaches Wurzelwachstum fördern und tiefere, geschädigte Wurzeln reduzieren (FAO, 2022; IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021).

Bezogen auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit. Reis gilt als die am besten an Staunässe angepasste Kulturpflanze. Weizen, Gerste und Mais zeigen dagegen nur eine begrenzte Anpassungsfähigkeit und

reagieren auf länger andauernde Bodenvernässung mit Ertragsrückgang, Wurzelfäule und Nährstoffmangel. Sojabohne und Raps gelten ebenfalls als empfindlich gegenüber Staunässe, da sie über wenig Aerenchymbildung verfügen und bei Sauerstoffmangel rasch Chlorosen und Wurzelnekrosen entwickeln (FAO, 2022).

Kulturpflanzen mit mittlerer Anpassungsfähigkeit sind etwa Hafer und bestimmte Leguminosenarten (z. B. Klee, Luzerne), die kurzfristige Staunässe tolerieren, wenn der Boden innerhalb weniger Tage wieder austrocknet. Züchtungsprogramme konzentrieren sich zunehmend darauf, Sorten mit verbesserter Hypoxietoleranz und effizienterer Nährstoffaufnahme unter Staunässe zu entwickeln, insbesondere bei Weizen und Mais. Dabei spielt die genetische Kontrolle von Aerenchymbildung und Wurzelneubildung eine wachsende Rolle (IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021).

Mit Blick auf den Klimawandel ist eine stärkere Integration von Staunässe-Toleranzmerkmalen in die Pflanzenzüchtung erforderlich. Besonders erfolgversprechend sind Züchtungsansätze, die plastische Reaktionen ermöglichen – also Pflanzen, die sowohl bei Trockenheit als auch bei zeitweiliger Nässe stabile Erträge erzielen können. Langfristig wird die Bodenbewirtschaftung (z. B. Drainagesysteme, humusfördernde Maßnahmen) eine entscheidende Rolle spielen, um extreme Feuchtigkeitsbedingungen besser abzufedern (Blum, 2017; FAO, 2022).

1.3. Mechanisierung der Landwirtschaft

Der fortschreitende Klimawandel verändert die Produktionsbedingungen in der Landwirtschaft langfristig. Neben genetischer Züchtung und ackerbaulichen Management spielt die Mechanisierung eine zentrale Rolle bei der Anpassung landwirtschaftlicher Betriebe an veränderte Temperatur-, Niederschlags- und Bodenverhältnisse. Unter „Mechanisierungskonzepten“ werden dabei technische, digitale und organisatorische Strategien verstanden, die darauf abzielen, Produktionsprozesse flexibler, ressourceneffizienter und resilienter gegenüber klimatischen Extremereignissen zu gestalten (FAO, 2013; BMEL, 2022; IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021).

Ein zentrales Konzept moderner Mechanisierung ist die Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming), die mithilfe digitaler Sensorik, GPS-gesteuerter Maschinen und Datenanalytik eine orts- und zeitvariable Bewirtschaftung ermöglicht. Durch den gezielten Einsatz von Wasser, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln kann der Ressourcenverbrauch reduziert und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit an wechselnde klimatische Bedingungen erhöht werden. Beispielsweise ermöglicht die Bodenfeuchte-Sensorik eine bedarfsgerechte Bewässerung, wodurch Trockenstressphasen besser überbrückt und Wasserverluste minimiert werden. Gleichzeitig können automatisierte Drainage- oder Bewässerungssysteme bei

Starkregenereignissen oder Staunässe die Bodenbelüftung verbessern und den Gasaustausch stabilisieren.

Auch die Bodenbearbeitung wird zunehmend an klimatische Bedingungen angepasst. Minimalbodenbearbeitung und konservierende Landwirtschaft reduzieren die Verdunstungsverluste und verbessern die Wasserinfiltration. Durch den Einsatz von Maschinen mit reduzierter Auflast – etwa breitreifigen Traktoren oder Raupenfahrwerken – kann die Bodenverdichtung verringert und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens langfristig verbessert werden. Dies ist insbesondere in Regionen mit häufiger Starkniederschlägen und wechselnden Feuchtigkeitsbedingungen von Vorteil. In trockenen Gebieten hingegen hilft die reduzierte Bearbeitung, die Bodenfeuchte im Oberboden zu konservieren und den Humusgehalt zu stabilisieren, was die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöht.

Ein weiterer zentraler Mechanisierungsansatz betrifft die adaptive Bewässerungstechnik. Systeme wie Tröpfchenbewässerung, Unterflurbewässerung oder sensorbasierte Steuerungssysteme erlauben eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber herkömmlichen Überkopfbegier (BMEL 2020). Insbesondere in Trockengebieten kann der Wasserverbrauch um bis zu 40 % reduziert werden, ohne Ertragsverluste zu verursachen (FAO, 2013). Gleichzeitig wird die Nährstoffauswaschung durch präzise Dosierung minimiert, was sowohl die Bodenqualität als auch die Umweltbilanz verbessert.

Langfristig gewinnen teil-autonome Systeme und Roboter an Bedeutung, die eine flexible Reaktion auf kurzfristige Klima- und Bodenveränderungen erlauben. Teil-autonome Feldroboter können gezielt in feuchten oder trockenen Bodenbereichen eingesetzt werden, ohne Verdichtungsschäden zu verursachen. Ebenso tragen digitale Entscheidungsunterstützungssysteme zur Anpassung bei, indem sie Wetter- und Bodendaten integrieren und Bewirtschaftungsmaßnahmen in Echtzeit optimieren.

Insgesamt zeigt sich, dass die Mechanisierungskonzepte der Zukunft nicht allein auf Produktivitätssteigerung abzielen, sondern vor allem auf Resilienz, Ressourceneffizienz und Flexibilität gegenüber klimatischen Schwankungen. Die Kombination aus Präzisionstechnik, digitaler Datenintegration und nachhaltiger Bodenbewirtschaftung stellt die Grundlage einer klimaresilienten Landwirtschaft dar, die den Anforderungen eines zunehmend instabilen Klimas gerecht werden kann (FAO, 2013; IPCC, Sixth Assessment Report (AR6), 2021; BMEL, 2022).

Kapitel 2: Ein globaler Blick auf das Thema - Die Forschungsreise

Meine Forschungsreisen erstreckten sich über einen Zeitraum von zwei Jahren und umfassten insgesamt 14 Wochen. In Tabelle 1 sind die verschiedenen bereisten Orte aufgeführt. Der Übersichtlichkeit halber unterteile ich die bereisten Regionen in drei Gruppen: *Europa*, *Südamerika* und *Australien*. Zuerst wird Kapitel 2 und die Unterkapitel des zweiten Kapitels einen groben Überblick über die Länder und deren Merkmale geben. Die Auswahl der Länder erfolgte gezielt im Hinblick auf das Forschungsthema dieser Arbeit. Sie verbindet die gemeinsame Eigenschaft, dass ihre Landwirtschaft unter klimatisch besonders herausfordernden Bedingungen stattfindet. Ziel meiner Reisen war es, aus den dort beobachteten Strategien, Ideen und Praktiken mögliche Ansätze für die Landwirtschaft in Deutschland abzuleiten. Im Folgenden gebe ich zunächst einen kurzen Überblick über die agrarstrukturellen Gegebenheiten der jeweiligen Ländergruppen und berichte anschließend über meine Eindrücke und Beobachtungen während der Aufenthalte.

Die Angaben aus Kapitel zwei und drei basieren auf Erfahrungsberichten der Landwirte vor Ort und sind nicht wissenschaftlich fundiert.

Tabelle 2 Agrarische Kennzahlen und Entwicklungen der bereisten Regionen im Überblick

Land	Nutzfläche & Betriebe	Besichtigte Hauptkulturen / Produktion	Betriebsstruktur & Besonderheiten	Klima & Herausforderungen	Trends & Strategien
Frankreich	28 Mio. ha 456.000 Betriebe	Wein, Obst, Leinen, Kartoffelsaatgut, Getreide, Mais	Familiengeführt, zunehmend mechanisiert, Spezialisierung	Hitzewellen, Spätfröste, Trockenperioden	Ökologischer Landbau, Direktvermarktung, Sortenwechsel, Bewässerung
Rumänien	12,5 Mio. ha 2,8 Mio. Betriebe	Mais, Sonnenblumen, Obst, Wein	Stark fragmentiert, Familien- und Subsistenzbetriebe, wenige Großbetriebe	Spätfröste, Hitze, Dürre	Strukturwandel, Bewässerung, Kooperativenbildung, Sortenwechsel
Chile	2,1 Mio. ha 204.800 Betriebe	Kirschen, Wein, Haselnüsse, Heidelbeeren, Avocados, Getreideanbau	Mischung aus Klein- und marktorientierten Betrieben	Längere Trockenperioden, Wasserstress	Exportorientierung, räumliche Bündelung nach Klimazonen
Argentinien	39 Mio. ha 334.000 Betriebe	Soja, Mais, Weizen, Obst & Gemüse	Großflächige mechanisierte Betriebe im Ackerbau, kleine bis mittlere Familienbetriebe im Obst-/Gemüsebau	Dürren in der Pampa, extreme Niederschläge im Norden	Präzisionslandwirtschaft, Sojaanbau, Bewässerung
Brasilien	95,1 Mio. ha 4 Mio. Betriebe	Soja, Mais, Zuckerrohr, Kaffee, Orangen, tropische Früchte	Heterogen: Großbetriebe für Export, Klein-/Mittelbetriebe für Obst, Gemüse, Vieh	Dürren im Zentrum-West, Überschwemmungen im Süden	Mechanisierung, Präzisionslandwirtschaft, Wassermanagement
Australien	370 Mio. ha 87.800 Betriebe	Weizen, Gerste, Hülsenfrüchte, Zuckerrohr, Obst, Wein	Dual: Großbetriebe für Export, kleine Betriebe für Obst/Gemüse/Wein	Dürren, Hitzewellen, Klimaschwankungen	Präzisionslandwirtschaft, Bewässerung, neue Sorten, Exportorientierung

2.1. Zentraleuropa - bereiste Länder Frankreich, Spanien, Rumänien

Um Vergleiche von den besuchten Betrieben in Zentraleuropa zu dem Standort in Brandenburg zu ziehen, ist vorab erwähnenswert, dass die bereisten Länder in Europa einfacher vergleichbar mit Deutschland sind, da sie Agrarpolitisch von der GAP als Rahmenwerk (gemeinsame Agrarpolitik) geleitet werden. Jedoch gibt es wesentliche Unterschiede in der Auslegung dieser Leitlinien auf Länderebene und zudem prägen länderspezifische Maßnahmen die Landwirtschaft.

Die in **Frankreich** besuchten Betriebe ergaben viel Aufschluss für die Forschungsfrage. Der Osten und Süden des Landes verzeichnen vergleichbare Strukturen wie Brandenburg, gekennzeichnet durch geringe Niederschläge und schlechter strukturierte Böden wo der Anbau von Marktfrüchten betrieben wird. Im Westen besuchte ich den Weinanbau und im Norden waren vor allem Spezialkulturen wie Leinen und Kartoffelsaatgutproduktion im Fokus. Frankreich ist mit einer der größten Agrarproduzenten der EU. Das Land verzeichnet rund 28 Mio. ha Nutzfläche mit etwa 456 Tsd. Betrieben (Ø 69 ha). Die Landwirtschaft ist geprägt von Familienbetrieben, teilweise mit sehr alter Technik ausgestattet, jedoch zunehmend mechanisiert und spezialisiert, was teilweise durch die Bildung von Genossenschaften möglich war. In den letzten Jahren haben sich die Betriebsstrukturen konsolidiert, kleinere Höfe sind verschwunden oder zu größeren Einheiten gewachsen. Gleichzeitig nimmt der ökologische Landbau und die Direktvermarktung zu, um sich zu spezialisieren. Der Klimawandel beeinflusst Erträge je nach Region zunehmend: Hitzewellen, Spätfröste und Trockenperioden führen zu starken Schwankungen, besonders im Wein- und Obstbau. Anpassungsstrategien wie Bewässerung, Sortenwahl und Diversifizierung der Fruchtfolge sind viel diskutierte Themen. Insgesamt steht die französische Landwirtschaft zwischen hoher Produktivität und wachsender Klimaanfälligkeit, während höhere Nachhaltigkeitsanforderungen und der Strukturwandel die Entwicklung prägen.

Rumänien hingegen ist geprägt durch wesentlich kleiner strukturierte Betriebe (Ø 4–5 ha). Das Land verfügt über rund 12,5 Mio. ha Agrarfläche und etwa 2,8 Mio. Betriebe. Die Landwirtschaft ist stark fragmentiert und wird überwiegend von Familienbetrieben bewirtschaftet, während wenige Großbetriebe den Markt dominieren. Im Ackerbau überwiegen Mais und Sonnenblumen im Anbau. Die Obstproduktion ist in den letzten Jahren extrem gestiegen, bleibt aber stark witterungsabhängig. Klimatische Extreme wie Spätfröste, Hitze und Dürre führen regelmäßig zu Ertragsverlusten, besonders im Obst- und Weinbau. Strategien wie Bewässerung, Sortenwahl und Betriebsgemeinschaften gewinnen auch hier an Bedeutung. Trotz der hohen Beschäftigung im Agrarsektor (rund 20 % der Erwerbstätigen) bleibt die

Produktivität niedrig; zentrale agrarpolitische Ziele sind Strukturwandel und nachhaltige Intensivierung.

2.2. Südamerika- bereiste Regionen in Brasilien, Argentinien & Chile

Die Reise durch Südamerika gab viel Aufschluss zu verschiedenen Ackerbaukonzepten, welche im Wesentlichen alle darauf abzielen, den klimatischen Herausforderungen standzuhalten. Folgend berichte ich über die Erkenntnisse von Gesprächen aus den bereisten Gebieten der drei Länder Chile, Brasilien und Argentinien.

Die Hauptproduktion von chilenischen Agrarprodukten findet in **Zentralchile** statt. Das Land hat sich zu einem spezialisierten, exportorientierten Fruchterzeuger gewandelt (Kirschen, Tafeltrauben, Heidelbeeren, Avocados und Haselnüsse), wobei die Produktion räumlich klar durch Klimazonen eingeteilt ist; die Betriebslandschaft kombiniert viele Kleinbetriebe mit größeren, marktorientierten Einheiten. Auch hier ist der Klimawandel (insbesondere längere Trockenperioden und Wasserstress) in den letzten zehn Jahren eines der prägendsten Faktoren für Produktionsweise und räumliche Entwicklung gewesen. Das geografische Zusammenspiel aus der Nähe zum Meer und den Anden sichern konstante Niederschläge in Zentral- und Südchile.

Argentinien verfügt über eine stark von Futter- und Energiepflanzen und der Rindermast geprägten Landwirtschaft, welche in großflächigen Agrarbetrieben strukturiert ist. Die zentralen Anbaugelände befinden sich in den fruchtbaren Regionen von Buenos Aires, Santa Fe und Córdoba, während im Norden subtropische Kulturen dominieren. Sojabohnen, Mais und Weizen prägen als Hauptkulturen den Agrarmarkt insbesondere für den Export aber auch die inländische Verarbeitung; Obst- und Gemüseanbau (Äpfel, Birnen, Trauben, Zitrusfrüchte) konzentriert sich auf die westliche Region. Die Betriebsstruktur ist dual: wenige großflächige, mechanisierte Agrarunternehmen dominieren den Ackerbau, während viele kleine bis mittlere Familienbetriebe insbesondere im Obst- und Gemüsebereich aktiv sind. Die besuchten Betrieben in der Region Buenos Aires, sind eher großflächige-, teilweise familienbetriebene Betriebe, welche in der Futterproduktion tätig sind. In den letzten zehn Jahren haben sich moderne Anbautechniken, Präzisionslandwirtschaft und der Sojaanbau auf ehemaligen Weideflächen ausgeweitet. Gleichzeitig führten Klimaschwankungen, darunter zunehmende Dürren in der Pampa und extreme Niederschläge im Norden, zu Herausforderungen bei Bewässerung und Ertragssicherheit.

Brasilien ist einer der weltweit größten Agrarproduzenten und -exporteure, mit stark regional differenzierter Landwirtschaft. Sojabohnen, Mais und Zuckerrohr dominieren den Agrarmarkt, ergänzt durch Kaffee, Orangen, Bananen und andere tropische Früchte. Die zentralen

Anbaugelände liegen in der Südregion für Soja, Mais und Weizen, die Zentralregion (Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul), welche ich besucht habe, gilt als Hauptanbauregion für Soja und Rinderproduktion. Kaffee stammt überwiegend aus Minas Gerais, São Paulo und Espírito Santo. Die Betriebsstruktur ist sehr heterogen: Großbetriebe dominieren vor allem im Exportanbau von Soja, Zuckerrohr und Kaffee, während Klein- und Mittelbetriebe im Obst-, Gemüse- und Viehsektor verbreitet sind. In den letzten zehn Jahren hat sich die Mechanisierung und Präzisionslandwirtschaft stark ausgeweitet, gleichzeitig kam es durch Klimawandel und Extremwetterereignisse (Dürren im Zentrum-West, Überschwemmungen im Süden) zu Herausforderungen in Produktion und Wassermanagement.

Gängige Praxis in Argentinien und Brasilien ist der Anbau von genetisch modifizierten Sorten, mit dem Ziel, insbesondere durch schädlingsresistente oder herbizidtolerante Sorten den Anbau betriebswirtschaftlich zu optimieren. Diese Sorten sind wiederum in Chile nicht zugelassen.

2.3. Ost-Australien

Ich bereiste einen kleinen Teil der Ostküste und berichte nun über die Erkenntnisse die ich dort durch Farmbesuche gewonnen habe. Die Landwirtschaft in Ost-Australien ist besonders vielfältig und wird durch stark variierende Klima- und Bodenverhältnisse geprägt. Entlang der Küstenregionen dominieren tropische und subtropische Kulturen wie Zuckerrohr, Bananen und Mangos, während im Binnenland vor allem Getreide, Hülsenfrüchte, Baumwolle sowie Futter- und Sonderkulturen angebaut werden. Obst- und Weinbau sind in mehreren gemäßigten Tälern verbreitet und ergänzen das Produktionsspektrum.

Strukturell stehen großflächige, exportorientierte Betriebe – etwa im Getreide-, Zuckerrohr- und Baumwollanbau – kleinen, spezialisierten Familienbetrieben gegenüber, die vor allem Obst-, Gemüse- und Weinbau betreiben.

Wiederkehrende Dürren, Hitzewellen und Wasserknappheit haben in den letzten Jahren zu technischer Aufrüstung, Präzisionslandwirtschaft und einer sorgfältigen Bewässerungsplanung geführt. Insgesamt ist die Landwirtschaft Ost-Australiens durch hohe Diversität, unterschiedliche Betriebsformen und eine starke Anpassung an klimatische Risiken gekennzeichnet.

Kapitel 3: Ergebnisse der Forschungsreise

In diesem Kapitel, werde ich die Ergebnisse der Betriebsbesichtigungen, bezugnehmend auf das Forschungsthema „Welche alternativen Ackerbau-Strategien können in Regionen mit weniger strukturierten Böden umgesetzt werden, um den Herausforderungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen in der Zukunft zu begegnen?“ zusammenfassen. Dazu ist das Thema in Unterkapitel anhand der oben genannten Ziele untergliedert. Die folgende Grafik in Abbildung 4 zeigt zur Übersicht die verschiedenen bereisten Regionen und Orte, die ich mit dem Nuffield Stipendium besucht habe. Sichtbar werden die verschiedenen Klimazonen die ich bereiste, um einen Einblick in die Vielzahl der landwirtschaftlichen Praktiken zu bekommen.

Abbildung 4 Stationen meiner Nuffieldreise



3.1. Gestaltung nachhaltiger Anbausysteme: Früchte, Fruchtfolgen, Mischkulturen und Untersaaten

Der Pflanzenbau in Zentraleuropa, insbesondere in Südfrankreich, steht zunehmend unter dem Einfluss klimatischer und pflanzenbaulicher Herausforderungen. Trockenperioden, steigender Krankheitsdruck sowie Probleme mit herbizidresistenten Unkräutern und -gräser erfordern eine Anpassung der Fruchtfolgen und Anbaustrategien. Im Folgenden werden verschiedene Ansätze und Erfahrungen aus der Praxis dargestellt, die auf eine nachhaltige Stabilisierung der Erträge und eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit abzielen. Es werden ein paar erwähnenswerte Betriebe und Konzepte einzeln aufgeführt.

Je nach Standort und dessen Herausforderungen, spezialisieren sich die Betriebe auf standortgeeignete **Früchte**, die sie kultivieren. Kapitel zwei zeigt die länderspezifischen Früchte und folgend gehe ich auf die standortspezifischen Merkmale dieser ein.

In Zentraleuropa dominiert der Marktfruchtanbau mit Schwerpunkten auf Getreide (Weizen, Gerste, Mais) und Raps, wobei vorwiegend Winter- gegenüber Sommerfrüchten angebaut werden. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist weit verbreitet und wird unter anderem durch die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) gefördert. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass die zeitliche und sortenspezifische Anpassung der Zwischenfruchtwahl vielerorts noch nicht vollständig ausgereift ist.

Die gleichmäßige Verteilung der Niederschläge über das Jahr ermöglicht bislang eine ausreichende Wasserversorgung der Kulturen. Dennoch zeichnet sich eine klimatische Tendenz zu trockeneren Sommern und niederschlagsreicheren Wintern ab, was zu einer Zunahme von Trockenstress während der Vegetationsperiode führt. Traditionell wird in Deutschland mit Fruchtfolgen von drei bis vier Gliedern bewirtschaftet, wobei der Trend zu weiter gefassten Fruchtfolgen geht, um Ertragsstabilität und Bodengesundheit zu gewährleisten und die GAP dies mithilfe von Fördermitteln unterstützt.

In **Rumänien** gewinnt *Sorghum* zunehmend an Bedeutung, da der Maisanbau aufgrund von trockener Witterungsbedingungen im Frühjahr zurückgeht. *Sorghum* stellt hier eine ertragssichere Alternative mit hohem Futterwert dar. Die nachgelagerten Strukturen dieser Kultur befindet sich jedoch noch im Entwicklungsstadium, was sowohl Landwirte bei der Vermarktung als auch Händler vor logistische und wirtschaftliche Herausforderungen stellt.

Frankreich ist geprägt von diversen Marktfruchtanbau und Nischenprodukten. Größtenteils jedoch von Getreide-, Raps- und Maisanbau. Vor allem wird mit der Vermehrung von Mais im östlichen Teil Frankreichs, ökonomische Stabilität in die Betriebe gebracht. Im Süden Frankreichs besichtigte ich ein Projekt, welches Olivenbäume wieder in die Region etablieren soll. Im Norden werden vermehrt Gemüse und Sonderkulturen wie bspw. Leinen angebaut, da dort die jährliche Wasserverfügbarkeit konstanter ist.

In **Südamerika** liegt der Schwerpunkt der landwirtschaftlichen Produktion auf der Futter- und Energiepflanzenproduktion, insbesondere auf Mais und *Soja*. Während in Brasilien und Argentinien gentechnisch modifizierter Sorten zum Einsatz kommen, ist deren Nutzung in Chile nicht zugelassen. Ergänzend werden Zuckerrohr und *Sorghum* kultiviert – beides C4-Pflanzen, die besonders gut an Trockenphasen angepasst sind. Argentinien und Brasilien sind zwei der fünf führenden Anbauländer, hinsichtlich gentechnisch veränderter Pflanzen. Vorrangig sind dies Baumwolle und *Soja*, gefolgt vom Mais. Auch in Australien weitet sich die Fläche der genetisch modifizierten Pflanzen aus. Argentinien ist das einzige Land, was einen

trockentoleranten Weizen (HB4-Weizen), der seit 2022 zugelassen ist, anbaut. In Europa ist nur eine insektenresistente Maissorte die bereits 1998 zugelassen wurde in Spanien angebaut.

In Regionen mit ausreichender Bewässerung wird vorrangig Getreide angebaut, während in niederschlagsarmen Gebieten die Kulturen mit geringen Inputkosten kultiviert werden. Charakteristisch für Südamerika sind intensive Fruchtfolgen, teils mit bis zu drei Kulturen pro Jahr. Nach dem Anbau von Ackergras werden die Flächen häufig zur Beweidung genutzt. Organische Düngung ist bislang nicht flächendeckend als vollwertiger Nährstoffträger etabliert. In Zentralchile expandiert der Anbau von Haselnüssen stark. Die Produktion erfolgt nahezu vollständig im Rahmen von Vertragsanbauprogrammen für die Firma Ferrero. Darüber hinaus etabliert sich der Anbau von Wurzelchicorée für die Inulin-Gewinnung als lukrativer Markt.

Die besuchten Regionen im Osten **Australiens** zeigen ähnliche Strukturen wie Südamerika. Aufgrund zahlreicher Bewässerungsmöglichkeiten werden sowohl Getreide als auch Sonderkulturen wie Baumwolle angebaut. Unter trockeneren Bedingungen kommen vor allem trockenresiliente Pflanzen wie *Soja* und *Sorghum* zum Einsatz. Sorghum wird häufig mehrfach hintereinander kultiviert, da dieser, ähnlich wie Mais, eine hohe Selbstverträglichkeit aufweist.

In Frankreich und Argentinien stellt herbizidtolerantes Weidelgras ein zentrales Problem dar. Seine hohe Konkurrenzkraft und teilweise Multiresistenz erschweren die Regulierung erheblich. Als Gegenmaßnahme integrieren zahlreiche Betriebe verstärkt Mais oder Blattfrüchte in die Fruchtfolge, um durch unterschiedliche Wachstums- und Konkurrenzdynamiken den Druck durch Weidelgras zu reduzieren. Die auslaufende Zulassung wichtiger Herbizidwirkstoffe verschärft jedoch das Problem weiter (s. Abbildung 5).



Abbildung 5 Frankreich - Weidelgrasproblematik im Weizen

In Argentinien ermöglichen gentechnisch veränderte, herbizidresistente Maissorten derzeit eine wirksame Kontrolle des Weidelgrases. Allerdings bestehen bei manchen Landwirten Unsicherheiten über mögliche Folgeprobleme, insbesondere hinsichtlich der Bekämpfung resistenter Ausfallpflanzen in nachfolgenden Kulturen.

Wie in vielen anderen Ländern zeigt sich auch in Frankreich, dass enge Fruchtfolgen den Krankheitsdruck deutlich erhöhen. Weite Fruchtfolgen bleiben daher ein wesentlicher Faktor zur Resilienz der Pflanzenbestände. Aufgrund zunehmender Trockenheit wird häufig mit geringeren Aussaatstärken gearbeitet, ohne dass dies bislang zu signifikanten Ertragsverlusten führt, da sich die Anzahl der Ähren pro Hektar weitgehend stabil hält.

Die Ablagetiefe der Getreidesaat variiert in den besuchten Ländern in Abhängigkeit von Bodenart und Feuchteverfügbarkeit. Tendenziell werden die Körner tiefer abgelegt, um sie sowohl vor Starkregenereignissen zu schützen als auch den Anschluss an tiefere Bodenfeuchten zu sichern. Diese Anpassung gilt zunehmend als bedeutende Maßnahme zur Stabilisierung der Bestände unter sich verändernden klimatischen Bedingungen.

Mischkulturen & Untersaaten

Ein wichtiger Ansatz zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsstabilität ist neben dem Einsatz von Zwischenfrüchten die Etablierung von Untersaaten bzw. Mischkulturen. Im Gegensatz zu Deutschland ist besonders in Frankreich zu festzustellen, dass zur Reduzierung des Krankheitsdruckes und zur Stabilisierung der Erträge, Landwirte zunehmend auf Sortenmischungen von Weizen setzen. Es werden Mischungen mit vier oder mehr Weizensorten ausgesät und geerntet, die Mischungen werden teilweise jedes Jahr um eine neue Sorte erweitert. Diese genetische Vielfalt wirkt sich positiv auf die Pflanzengesundheit aus, da sich Krankheitserreger nicht gleichmäßig auf alle Sorten ausbreiten können (s. Abbildung 6).



Abbildung 6 Frankreich - Weizensorten-Gemenge

Zudem kombinieren einige Betriebe Weizen mit Leguminosen bei der Aussaat. Meist mit Ackerbohnen und oder Klee. Der Klee soll dabei zudem in Bestandeslücken Unkräuter unterdrücken. Diese Mischungen verbessern nicht nur die Bodenstruktur und Stickstoffverfügbarkeit, sondern auch die Qualität des Ernteguts. So zeigen Erfahrungen der Landwirte, dass Weizen im Gemisch mit Ackerbohnen einen Proteingehalt von bis zu 16 % erreicht, während Reinkulturen im Durchschnitt bei Proteinwerten von etwa 11 % liegen. Die Ernte erfolgt mit Rotordreschern und das Gemenge wird anschließend mechanisch getrennt oder als Futtermittel geschrotet.

Geraud, ein Landwirt in **Belgien** den ich während der Forschungsreise besucht habe, experimentiert mit vielfältigen Mischungen, beispielsweise aus Sonnenblume, Linse und Luzerne, um von den symbiotischen Effekten verschiedener Pflanzenarten zu profitieren. Zudem bau er Klee- bzw. Leguminosengemenge als Untersaaten im Raps an und legt großen Wert auf vielfältige, leguminosenreiche Zwischenfrüchte.



Abbildung 7 Belgien - Mischkultur: Linse, Sonnenblume und Luzerne

Häufig wird Klee als Untersaat im Raps verwendet, um Stickstoff zu binden und den Boden zu bedecken, um als Konkurrenz zu den Unkräutern zu stehen und diese zu unterdrücken. In manchen Betrieben werden Untersaaten bereits im Herbst etabliert, bei zu starker Konkurrenz oder nach Erfüllung ihres Nutzens, durch Herbizid Maßnahmen reguliert. In anderen Betrieben, werden diese im Frühjahr in die Kultur mit eingeschlitzt.

Der Einsatz von Klee als Untersaat im Weizen kann sich jedoch schwieriger gestalten, da die starke Beschattung durch den Weizen das Wachstum des Klees hemmt. Dennoch gibt es erfolgreiche Praxisbeispiele, etwa von Julien (Betrieb nahe Nantes), der im Herbst 180 kg/ha

Weizen und im Frühjahr eine Mischung aus 50 kg Ackerbohne und 8 kg Klee pro Hektar einsät und damit einen stabileren Ertrag erzielt, als mit Reinsaaten.

Untersaaten, sowie Mischkulturen haben meist unter Stressfaktoren einen Ertragsstabilisierenden Effekt, jedoch sind unter guten Bedingungen nur geringe Effekte zu erzielen.

Praxisbeispiel - Mischkulturen auf Frederics Farm

Frederic, ein Landwirt nahe Tours, experimentiert mit vielen Pflanzenmischungen, da er der festen Überzeugung ist, dass die Symbiosen einen erheblichen Mehrwert in Pflanzengesundheit, Resistenzmanagement und am Ende im Ertrag darstellen. Um solche Versuche durchzuführen, wird zur Ernte das Gemisch ins Schwad gelegt, durch die Sonne getrocknet und dann gedroschen. In Abbildung 8 ist ein Weidelgras-Raps Gemenge zu sehen, was bereits ins Schwad gelegt wurde und kurz vor der Ernte steht. Ebenso Abbildung 9 zeigt eine Mischung von Leinen, Sonnenblumen, Ackerbohne und Linsen. Nach der Ernte aus dem Schwad werden die Komponenten in drei Schritten separiert und verkauft.



Abbildung 8 Frankreich - Mischkultur: Weidelgras, Raps, Leguminosen



Abbildung 9 Frankreich - Mischkultur: Leinen, Sonnenblume, Ackerbohne, Linsen

Leinen ist nicht sonderlich anspruchsvoll an den Boden und das Klima, längere Trockenperioden beeinflussen das Faserwachstum und Staunässe verträgt er nicht gut. Er besitzt ein mitteltiefes Pfahlwurzelsystem und eine arbuskuläre Mykorrhiza. Die Sonnenblume hingegen ist wärme- und lichtliebend und weist eine höhere Trockenheitstoleranz auf und hat geringere Standortansprüche. Ihr Pfahlwurzelsystem ist sehr tiefreichend, wodurch sie Nährstoffe und Wasser aus tieferen Schichten erschließen kann. Eine Rhizobien-Symbiose findet nicht statt, Endo- Mykorrhiza wird jedoch gebildet. Die Ackerbohne bevorzugt eigentlich eher ein kühles, feuchtes Klima und reagiert empfindlicher auf Trockenheit. Ihr tiefreichendes Pfahlwurzelsystem sorgt für eine intensive Bodenerschließung. Sie lebt in Symbiose mit *Rhizobium leguminosarum* zur Stickstofffixierung und bildet zusätzlich Mykorrhiza. Die Linse wächst bevorzugt in warmem, trockenem Klima und ist empfindlich gegenüber Staunässe. Sie verlangt leichte, kalkhaltige und gut drainierte Böden. Ihr Pfahlwurzelsystem ist mitteltief und gut an trockene Standorte angepasst. Sie geht eine Symbiose mit *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* ein und bildet ebenfalls Mykorrhiza. Eine spannende Symbiose, in welcher Lein und Ackerbohne eher kühl-feuchte Bedingungen bevorzugen, während Sonnenblume und Linse wärmeliebend und trockentolerant sind. Lein und Sonnenblume sind Nicht-Leguminosen und bilden lediglich Mykorrhiza, während Ackerbohne und Linse zusätzlich eine Stickstofffixierung durch Rhizobien ermöglichen. Hinsichtlich des Wurzelsystems gehen Sonnenblume und Ackerbohne am tiefsten in den Boden, während Lein und Linse mitteltiefe Durchwurzelung aufweisen.



Abbildung 10 Frankreich - Mischkultur: Weizen (120kg/ha) & Ackerbohne (50kg/ha)

Soja erweist sich als geeignete Kultur für die südlichen Regionen Frankreichs, da sie mit den klimatischen Bedingungen vergleichsweise gut zurechtkommt und weniger Input als Mais erfordert. Eine Bewässerung während der Blütephase bleibt jedoch notwendig. Probleme

entstehen teilweise durch Vogelfraß, der zu hohen Ernteverlusten führen kann. Eine mögliche Gegenmaßnahme ist die Mitsaat einer Liniensorte von Sonnenblume, die die Vögel von der Sojabohne ablenkt.

Zwischenfrüchte

In Südfrankreich verschärfen sich die klimatischen Herausforderungen zunehmend. Spätfröste, Hagel und Trockenperioden erschweren insbesondere den Weinbau. Nach Einschätzung des unabhängigen Beraters Silvain ist die Anpassung der Anbauverfahren entscheidend. Dazu gehören die Wahl unterschiedlicher Saat- und Erntezeitpunkte, der gezielte Einsatz von Zwischenfrüchten sowie die Diversifizierung der Fruchtfolgen.

Laut Silvain, kann beispielsweise Klee als Zwischenfrucht bis zu 120 kg Stickstoff pro Hektar binden, wenn er genug Trockenmasse bildet, wodurch die Düngung der nachfolgenden Kultur deutlich reduziert werden kann. Auch Buchweizen hat sich als Zwischen- und Vorfrucht bewährt, da er sowohl die Bodenstruktur verbessert als auch zur Bekämpfung von Weidelgras beiträgt.

In Deutschland noch nicht verbreitet- aber in Rumänien - wird die Platterbse als Zwischenfrucht eingesetzt. Einerseits ist sie eine Leguminose, andererseits hat sie eine schnelle Jugendentwicklung, tiefe Wurzel und stirbt im Winter sicher ab.



Abbildung 11 Rumänien - Zwischenfruchtanbau mit Platterbse

In Zentralchile werden zur Bedeckung des Bodens und zur Reduzierung von Erosion insbesondere Zwischenfrüchte wie u.a. Hafer eingesetzt. Dies gilt sowohl für die Felder als auch für die Haselnussanlagen, wo die Begrünung der Zwischenreihen eine wichtige Schutzmaßnahme darstellt.

Praxisbeispiel Zwischenfrucht und Mechanisierung „K.“ Farm Australien

Die „K.“ Farm in New South Wales (NSW) Australien, verfolgt ein konsequent regeneratives Anbausystem, das auf die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit unter Trockenlandbedingungen ausgerichtet ist. Zentrale Grundsätze sind der völlige Verzicht auf Bodenbearbeitung (Zero Till) sowie die Anwendung eines kontrollierten Befahrungssystems mit festen Fahrgassen von drei Metern Spurweite. Durch diese Maßnahmen werden Bodenverdichtungen minimiert, die Infiltration verbessert und die biologische Aktivität im Boden gefördert. Der Einsatz von Sätechnik mit Single- und Double-Disc-Openers ermöglicht eine präzise Ablage des Saatgutes bei minimaler Bodenstörung und gewährleistet zugleich eine hohe Rückstandsverarbeitung.

Ein wesentliches Ziel des Systems ist die permanente Bodenbedeckung. Über 20 Jahre Leguminosen haben den PH-Wert von drei auf vier steigen lassen. Ernterückstände werden vollständig auf der Bodenoberfläche belassen, um eine schützende Mulchschicht zu bilden, die die Verdunstung reduziert, die Bodentemperatur stabilisiert und die Keimung von Unkrautsamen unterdrückt. Auf diese Weise bleibt der Boden ganzjährig geschützt und mikrobiell aktiv.

Die Integration von Zwischenfrüchten spielt eine zentrale Rolle in der Nährstoffdynamik und Strukturverbesserung des Bodens. Diese werden ausschließlich bis zum Ende der vegetativen Phase kultiviert und anschließend mechanisch terminiert, in der Regel zum Zeitpunkt der Anthese (Blüte), etwa zwölf Wochen nach der Aussaat. Zu diesem Zeitpunkt ist die Wurzelmasse maximal ausgeprägt, während die Pflanzen noch keine übermäßige Menge an Wasser und Nährstoffen aus dem Boden entziehen. Das frühzeitige Beenden der Zwischenfrucht erhält die Bodenfeuchtigkeit für die Folgekultur und fördert gleichzeitig eine intensive mikrobielle Aktivität, wodurch Nährstoffkreisläufe, Mineralisierung und Verfügbarkeit gesteigert werden. Eine gleichmäßige Entwicklung der Arten innerhalb der Zwischenfruchtmischung ist dabei entscheidend, um Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe zu vermeiden.

Das Nährstoffmanagement stützt sich auf den Einsatz biologisch wirksamer Substanzen. Fulvinsäure wird zur Bindung von Stickstoff verwendet, um dessen Effizienz signifikant zu erhöhen und Verluste durch Auswaschung oder Verdunstung zu reduzieren. Der Fokus liegt auf der Förderung der Wurzelentwicklung bereits in frühen Entwicklungsstadien – im Einblattstadium wird eine größere Wurzellänge im Verhältnis zur Blattmasse angestrebt. Chemische Beizmittel kommen nicht zum Einsatz; stattdessen werden Biostimulanzen verwendet, die die Keimung und Wurzelbildung unterstützen.

Insgesamt verfolgt die „K.“ Farm eine auf langfristige Bodenregeneration und Ressourceneffizienz ausgerichtete Anbaustrategie. Durch die Kombination aus minimaler Bodenstörung, vollständiger Bodenbedeckung, gezieltem Zwischenfruchtmanagement und biologisch fundierter Nährstoffsteuerung entsteht ein stabiler, humusreicher und mikrobiell aktiver Boden, der die Grundlage für nachhaltige Erträge unter trockenen Klimabedingungen bildet.



Abbildung 12 Australien - Zwischenfrucht Management auf der K. Farm

Abbildung 12 zeigt das Management der Zwischenfrucht. Nach dem Einsatz der Walze liegt die Zwischenfrucht niedergerückt am Boden und war etwa zehn Tage später nahezu vollständig abgestorben. Sie verbleibt von Mai bis November als schützende Bodenbedeckung und zersetzt sich im Verlauf dieser Zeit allmählich. Anschließend erfolgt die Direktsaat der Folgekultur in die verbleibende Pflanzenauflage.

3.2. Nachhaltige Mechanisierungskonzepte – Maschinen, Bewässerung, Sensorik

In allen Ländern die bereits wurden ist neben der Mechanisierung für die Bewirtschaftungen des Ackers, die Bewässerung, sowie die Sensortechnik ein fundamentaler Gegenstand.

Bewässerung

Global gesehen wird deutlich, dass die Bewässerung eine fundamentale Rolle bei der Ertragssicherung der Kulturen spielt. Je sandiger und durchlässiger die Böden, desto

elementarer die Bewässerung, da die Wasserspeicherkapazität des Bodens für die Versorgung der Pflanze nicht ausreicht. Diese soll durch die Zwischenfrüchte und Untersaaten im vorherigen Kapitel stabilisiert bzw. verbessert werden. Oder die jährliche Niederschlagsverteilung ist so ungleich verteilt, dass die Wasserreserven für die Pflanzen trotz tiefer Durchwurzelung und besseren Böden nicht ausreichen.

Beispielsweise werden französischen Regionen mit schwach strukturierten Bodenverhältnissen und mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 500 bis 550 mm (ähnliche Verhältnisse zu Brandenburg), ohne Bewässerung rund 5 Tonnen Weizen pro Hektar erzielt, während unter Bewässerungsbedingungen bis zu 8 Tonnen pro Hektar möglich sind.

Hingegen zeichnen sich die Böden in Zentralchile durch einen hohen Lehmanteil aus, der eine gute Wasserhaltefähigkeit ermöglicht, jedoch gleichzeitig die Gefahr der Verdichtung birgt. Ein Großteil der Flächen muss trotzdem bewässert werden, entweder über Pivot- oder Tropfsysteme, um trotz der hohen Winterniederschläge stabile Erträge zu sichern. Es werden je nach Region 50-60l/m²- oder 800-1000l/m²/Kultur gewässert, trotz eines Jahresniederschlages von 600-800l/m². Die Kosten sind jedoch im Vergleich zu Deutschland bei weniger als der Hälfte (ca. 1€/Kubik). Aufgrund zunehmender Trockenheit prüfen die Betriebe, ob eine Anpassung der Aussaatfenster sowie der Sortenwahl sinnvoll ist. Durch die vorhandene Bewässerung ist dieser Aspekt jedoch von geringerer Bedeutung, da die Erträge weitgehend abgesichert sind. Unter Bewässerungsbedingungen werden Erträge von 15–20 t ha bei Körnermais, bis zu 10 t ha bei Weizen und bspw. 2–4 t ha bei Haselnuss erzielt. Die Kulturen stehen überwiegend auf Grenzstandorten, auf denen ein traditioneller Getreideanbau ohne Bewässerung nicht wirtschaftlich wäre. Das benötigte Wasser stammt überwiegend aus der Schneeschmelze der Anden. Ein traditionelles und teilweise immer noch angewendetes Bewässerungssystem ist in Abbildung 13 dargestellt. Hier werden ohne groß Technik zu verwenden über kleine Gräben die Felder geflutet und mit Wasser versorgt.



Abbildung 13 Chile - herkömmliches Bewässerungssystem

Auch in Australien wird erheblich in Bewässerungsinfrastruktur und Stauanlagen investiert. Aufgrund der großflächigen landwirtschaftlichen Strukturen kommen vor allem Kreisregner- sowie Überflutungsbewässerungssysteme zum Einsatz, wobei letztere als weniger effizient gelten. Trotzdem werden diese aufwendig installiert, indem die Felder über Bodenabtragungen in ein Gefälle gebracht werden und um eine kontinuierliche Wasserversorgung sicherzustellen, werden erhebliche Mittel in den Bau von Stauseen und Vorflutern investiert. In den bereisten Regionen von NSW und Queensland erfolgt die Wasserentnahme überwiegend aus Flusssystemen. Die Vergabe und Regulierung der Wasserentnahmerechte unterliegt staatlicher Kontrolle und variiert je nach Region.

Keines der bereisten Länder kann auf die Bewässerung verzichten, vor allem für die intensiven und Umsatzstarken Kulturen, jedoch sind die Kosten und die Erteilung von Wasserrechten sehr unterschiedlich geregelt und stellt die Landwirte in den verschiedenen Ländern vor unterschiedliche Herausforderungen.

Bodenbearbeitung & Mechanisierung

Während der gesamten Reise – ob in Südamerika, Australien oder Frankreich – stand das Thema Direktsaat stets im Mittelpunkt. Besonders stark ausgeprägt ist diese Praxis in Argentinien und Australien, wo nahezu alle Anbausysteme auf Direktsaat oder Minimalbodenbearbeitung ausgerichtet sind. Die großflächigen Bewirtschaftungsstrukturen begünstigen dabei den Einsatz breitspuriger Maschinen, häufig mit einer Arbeitsbreite von bis zu 12 m.

In den **französischen** Betrieben wird zunehmend auf eine reduzierte Bodenbearbeitung gesetzt. Marc H. arbeitet vorwiegend mit Direktsaat und „low-till“-Verfahren (Minimalbodenbearbeitung), um die Bodenstruktur zu erhalten und Feuchtigkeitsverluste zu vermeiden. Bei Bedarf erfolgt eine weitere flache Bodenbearbeitung, insbesondere zur Kontrolle des Weidelgrases. Laut einem unabhängigen Berater ist eine kosteneffiziente Bewirtschaftung entscheidend. Er empfiehlt, Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung soweit zu minimieren, dass die Wirtschaftlichkeit erhalten bleibt und der Ertrag den Ressourceneinsatz widerspiegelt.

Zur Senkung der Betriebskosten werden Maschinen häufig in Verbänden angeschafft und gemeinschaftlich genutzt, was die Auslastung verbessert und Investitionen reduziert. Abseits solcher Kooperationen wird vielfach ältere Technik eingesetzt und eigenständig instandgehalten, um Kosten zu sparen und die Funktionsfähigkeit langfristig zu sichern.

Auch in **Spanien** in der Region von Ciudad Real, wo sehr steinreiche und sandige Böden vorherrschen, wird auf eine stark kostenreduzierte Bewirtschaftung im Getreideanbau gesetzt,

da dort die Niederschläge sehr ungleich übers Jahr verteilt sind. Hier wird das Getreide nach einem Scheibeneggang, über einen Düngerstreuer ausgebracht und je nach Standort nochmal mit der Egge eingearbeitet oder oben aufliegen gelassen. Eine sehr kostensparende Maßnahme, da das Ertragspotential auf den Böden sehr gering ist. Die Verwertung wird Großteils über das Abgrasen mit Rindern oder durch Wild generiert. Hier liegt der Fokus klar nicht auf Ertragsmaximierung, sondern Kosteneffizienz und Abschöpfung von Agrarsubventionen.

In **Rumänien**, nahe Bukarest wurden Maschinen wie u.a. die Horsch Focus (Grubber-Saatbettkombination) verwendet, um möglichst die Feuchte Erde während der Aussaat an die Oberfläche zu holen und somit eine optimale Saatablage in feuchte Bedingungen zu gewährleisten. Eine Kelly-Egge (Scheibenegge für flache Bodenbearbeitung) mit Saatguttank (s. Abbildung 14) um eine flache Bodenbearbeitung mit direkter Einsaat einer Zwischenfrucht zu gewährleisten.



Abbildung 14 Rumänien - Kelly- Egge mit Saattank

In **Chile** Beim Maschineneinsatz werden Lohnunternehmer für Spezialkulturen wie Chicorée eingesetzt, sonst sind die Betriebe hauptsächlich eigenmechanisiert oder in kleinen Kooperationen verbunden. Es wird vermehrt Technik aus Frankreich und Deutschland verwendet. Direktsaatversuche finden statt, bspw. auch im Maisanbau, oder der Einsatz von Striegeln im Zuckerrübenanbau wird diskutiert. Nach längerer Phase der Direktsaat kehrt man teilweise wieder zur wendenden Bodenbearbeitung zurück, um Unkrautprobleme zu kontrollieren, da Pflanzenschutzmittel zunehmend Resistenzen aufweisen und nur begrenzt Mittel zur Verfügung stehen.

Die Besuchten Regionen in Argentinien, Brasilien und Australien sind durch die größeren Betriebsstrukturen sehr erfolgreich mit den Direktsaatverfahren. Hier wird stark auf kontrollierte Spuren gesetzt und meist in 12m Abständen die Leitgassen angelegt. Teilweise sind die Betriebe eigenmechanisiert. Größtenteils wird jedoch die Technik von

Lohnunternehmern gestellt, oder es bilden sich Maschinenkooperationen zwischen Landwirten, um ökonomische Vorteile auszuschöpfen.



Abbildung 15 Argentinien – Direktsaatmaschine

Spannend zu sehen, war eine teilautonome Pflanzenschutzspritze in Australien, welche so in Europa noch nicht zu finden ist (Abbildung 16). Diese kann über eine App ferngesteuert Pflanzenschutzaufräge abarbeiten. Dazu werden Schlaggrenzen sowie Wasserpumpstellen hinterlegt und die Routen vorgeben. Ein eingebauter Sensor misst die Wetterbedingungen und lässt die Maßnahmen nur unter bestimmten Parametern durchführen.



Abbildung 16 Australien – autonome Pflanzenschutzspritze

Diskussion der Ergebnisse

Die im ersten Kapitel dargestellten klimatischen Trends verdeutlichen, dass der Ackerbau in Deutschland – und insbesondere in Brandenburg – künftig stärker von klimatischen Extremen geprägt sein wird. Längere Trockenphasen, anhaltende Hitzeperioden und Starkregenereignisse verändern die Produktionsbedingungen nachhaltig. Regionen mit leichten, sandigen und wenig strukturierten Böden wie in Brandenburg sind besonders anfällig, da diese nur begrenzt Wasser speichern können und bei Starkregen zur Verschlammung neigen. Damit rückt die Frage nach angepassten, klimaresilienten Anbausystemen und nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategien ins Zentrum.

Die internationalen Vergleichsbeispiele aus Kapitel 2 zeigen, dass weltweit ähnliche Herausforderungen bestehen. In Australien, Südamerika und Südfrankreich mussten Landwirte schon früher mit Dürre, Wasserknappheit und unregelmäßigen Niederschlägen umgehen. Ihre Strategien bieten wertvolle Anhaltspunkte für mitteleuropäische Regionen mit vergleichbaren Standortbedingungen.

Tabelle 3 Ergebnisse der besuchten Betriebe

Land / Region	Maschinen & Bodenbearbeitung	Früchte / Kulturen	Untersaat / Mischungen
Deutschland	Traditionelle Fruchtfolgen mit 3–4 Gliedern, teilweise erweiterte Fruchtfolgen, standardisierte Saattechnik	Getreide (Winterweizen, Gerste), Raps, Mais	Zwischenfrüchte weit verbreitet, häufig Leguminosen, Klee; noch kein flächendeckender Einsatz von Mischkulturen
Frankreich (Süd, Ost, Nord)	Direktsaat, „low-till“ Verfahren, teilweise flache Bodenbearbeitung, Rotordrescher für Gemenge, Kosteneffiziente Bodenbearbeitung Maschinenverbünde zur Kostensenkung	Südfrankreich: Soja, Mais, Oliven; Nordfrankreich: Gemüse, Leinen; Ostfrankreich: Mais, Getreide, Raps	Mischungen aus Weizensorten (4+ Sorten), Weizen + Ackerbohne/Klee, Untersaaten im Raps (Klee), Zwischenfrüchte: Buchweizen, Klee Zwischenfrüchte u.a. Leguminosen zur N-Bindung und Bodenverbesserung Nachbau von ZF
Belgien	Standardmaschinen, gemeinschaftliche Nutzung, mechanisierte Ernte	Sonnenblume, Luzerne, Linse	Mischungen aus Sonnenblume, Linse, Luzerne; Klee/Leguminosen als Untersaat im Raps; vielfältige Zwischenfrüchte
Rumänien	Horsch Focus (Grubber-Saatbett-Kombination), Kelly-Egge für flache Bodenbearbeitung und Direktsaat	Sorghum, Mais - Platterbse als ZF	Platterbse als Zwischenfrucht, Stickstoffbindende Leguminosen, tiefe Wurzeln, winterfest
Spanien (Ciudad Real)	Scheibenegge, Düngestreuer, minimaler Bodeneingriff, kostensparend, niedrige Inputkulturen	Getreide (geringe Erträge), Rinderweiden Olivenbäume, darunter wird Futter für Tiere angebaut Pistazienanbau, Zitrusfrüchte	Wenige bis keine Zwischenfrüchte, natürliche Begrünung durch Weide
Chile (Zentralchile)	Direktsaat für Spezialkulturen, Lohnunternehmer für Chicorée, teilweise Pivot- oder Tropfbewässerung, Boden mit hohem Lehmanteil	Haselnuss, Chicorée, Hafer, Mais	Zwischenfrüchte zur Bodendeckung, Hafer in Haselnussanlagen, Reduzierung von Erosion

Argentinien	Direktsaat, Minimalbodenbearbeitung, 12 m Spurweite, kontrollierte Spuren, Maschinenkooperationen	Mais, Soja, Baumwolle, HB4-Weizen	GVO-Mais zur Kontrolle von Weidelgras, Integration von Mais oder Blattfrüchten zur Reduzierung von Unkrautdruck
Brasilien	Direktsaat, großflächige Maschinen, Maschinenkooperation	GVO-Soja, GVO-Mais, Baumwolle, Zuckerrohr, Sorghum	Zwischenfrüchte kaum erwähnt, Fokus auf intensive Fruchtfolgen (bis 3 Kulturen/Jahr)
Australien (NSW, Queensland)	Direktsaat, Zero-Till, kontrollierte Fahrgassen, Single/Double-Disc-Openers, autonome Pflanzenschutzspritzen, Bewässerung via Kreisregner & Überflutung, Stauseen	Sorghum, Soja, Getreide, Hanf	Zwischenfrüchte 12 Wochen bis Blüte, vollständige Bodenbedeckung, biologisches Nährstoffmanagement, Mulchschicht für Mikrobenaktivität
Südamerika allgemein	Direktsaat, großflächige Maschinen, Maschinenkooperationen, Lohnunternehmer bei Sonderkulturen	Mais, Soja, Zuckerrohr, Sorghum, Baumwolle	Intensiver Fruchtfolgeeinsatz, teilweise mehrjährige Kulturen, organische Düngung nicht flächendeckend

Anbausysteme und Fruchtfolgen, Sortenwahl und genetische Anpassung

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, ist die Diversifizierung der Fruchtfolge eine wichtige Anpassungsstrategie. Enge Fruchtfolgen erhöhen den Krankheitsdruck und verstärken die Anfälligkeit gegenüber klimatischen Extremen. Erfahrungen aus Frankreich und Rumänien zeigen, dass trockenolerante Kulturen wie Sorghum, Hirse oder Kichererbse Mais und Weizen ergänzen oder teilweise ersetzen können. Auch der gezielte Einsatz von Zwischenfrüchten, Untersaaten und Mischkulturen trägt zur Bodenverbesserung und Wasserretention bei.

Der Anbau von Hirse ist in Deutschland derzeit vor allem als Ganzpflanzensilage und weniger für die Körnernutzung relevant. Aufgrund ihrer C4-Photosynthese weist Hirse eine hohe Anpassungsfähigkeit an trockene Frühjahrs- und Sommerbedingungen auf und kann unter extremen Trockenheitsphasen gegenüber Mais Ertragsvorteile erzielen. Die Nutzung als Körnerhirse ist jedoch durch die erschwerte Abreife limitiert, wodurch häufig eine nachgelagerte technische Trocknung erforderlich wird. Zudem ist der Markt für Hirse in Brandenburg bislang nur gering entwickelt. Während Körnerhirse in anderen Ländern überwiegend als Tierfutter eingesetzt wird, eignet sich Hirsesilage als Substrat für Biogasanlagen – wobei aufgrund der schwammigen Pflanzenstruktur ein erhöhtes Aufschwimmrisiko im Fermenter zu berücksichtigen ist. Hirse und auch Soja sind Früchte die für Brandenburg an Bedeutung gewinnen können, da sie mit den klimatischen Bedingungen sehr gut zurechtkommt. Nur der Absatz ist ein bestehendes Hemmnis.

Für Brandenburg mit seinen leichten Böden bedeutet dies: Eine Erweiterung der Fruchtfolgen um trockenresiliente Arten und der vermehrte Einsatz von Leguminosen zur Stickstofffixierung könnten sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bringen. Mischanbausysteme aus verschiedenen Weizensorten, oder Weizen und Leguminosen oder Sonnenblume und Linse, wie sie in Frankreich und Belgien erprobt werden, könnten aufgrund der hohen Flexibilität und geringen Inputabhängigkeit auch auf märkischen Standorten tragfähig sein.

Frankreich ist ein Land, was sich schon speziell in diesem Thema weiterentwickelt hat, experimenteller ist und Brandenburg voraus ist.

Die Analyse der bereisten Regionen und die Ergebnisse der Praxisbeispiele verdeutlichen, dass Mischkulturen eine zentrale Strategie darstellen, um die Landwirtschaft an die zunehmenden klimatischen Herausforderungen anzupassen. In Regionen wie Südfrankreich und Belgien haben Landwirte erfolgreich unterschiedliche Pflanzenarten gleichzeitig angebaut, um Erträge zu stabilisieren, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und den Krankheitsdruck zu reduzieren. Besonders die Kombination von Getreidearten mit Leguminosen, wie Weizen und Ackerbohne, zeigt dabei vielfältige Vorteile: Durch die Stickstofffixierung der Leguminosen kann der Bedarf an mineralischem Dünger verringert werden, während die unterschiedliche Wurzelarchitektur der Pflanzen die Nährstoffaufnahme optimiert und die Bodenstruktur verbessert. Zudem wirkt die genetische Diversität innerhalb einer Fruchtfolge stabilisierend auf die Erträge, da Krankheiten und Schädlinge sich nicht gleichmäßig auf alle Sorten ausbreiten können.

Darüber hinaus ermöglichen Mischungen aus wärmeliebenden und trockenresistenten Arten, beispielsweise Sonnenblume und Linse, eine bessere Anpassung an Trockenperioden. Die tiefreichenden Wurzelsysteme der Sonnenblume erschließen Nährstoffe und Wasser aus tieferen Bodenschichten, während die Linse zusätzlich Stickstoff bindet und das Bodenleben fördert. Komplexe Mischungen, wie die Kombination von Lein, Sonnenblume, Ackerbohne und Linse, nutzen die unterschiedlichen Wurzel- und Nährstoffansprüche der Pflanzen optimal und erhöhen gleichzeitig die Resilienz gegenüber klimatischen Extremen wie Hitze, Trockenheit oder Starkregen. Die symbiotischen Effekte über Mykorrhiza verstärken zudem die Nährstoffmobilisierung und fördern die Bodenmikrobiologie.

Für Brandenburg lassen sich aus diesen Beobachtungen konkrete Handlungsempfehlungen ableiten. Angesichts der leichten, sandigen Böden, der hohen Verdunstungsraten und der zunehmenden Häufigkeit von Trockenperioden und Starkregenereignissen bieten Mischkulturen die Möglichkeit, die Wassernutzung effizienter zu gestalten, die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu sichern und die Ertragsstabilität zu erhöhen. Besonders Kombinationen aus tiefwurzelnden, trockenresistenten Pflanzen und Leguminosen erscheinen vielversprechend, da sie sowohl die Wasserversorgung im Boden optimieren als auch Stickstoff im System binden und die Abhängigkeit von externen Inputs verringern. Gleichzeitig kann durch eine gezielte Diversifizierung der Fruchtfolgen die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen reduziert werden. Insgesamt zeigen die Erfahrungen aus den bereisten Ländern, dass Mischkulturen eine praktikable und nachhaltige Strategie darstellen, um die Landwirtschaft in Brandenburg widerstandsfähiger gegenüber den Herausforderungen des

Klimawandels zu gestalten. Jedoch bleiben die erhöhten Kosten dieses Anbauverfahrens nicht außer Acht zu lassen, da die Ernte, Trocknung und Separierung der Früchte kostenintensiv ist. Die in Kapitel 1.2 beschriebenen physiologischen Anpassungsmechanismen der Pflanzen zeigen, dass Züchtungsprogramme auf Trocken-tolerante Sorten ausgerichtet werden müssen. Betriebe in Rumänien und Australien nutzen bereits Sorten, die sowohl Hitze als auch zeitweise Nässe besser tolerieren. Für Brandenburg eröffnet sich hier ein großes Potenzial: Züchtungs- und Versuchsprogramme sollten gezielt Sorten fördern, die unter Trockenstress stabile Erträge liefern und eine hohe Wassernutzungseffizienz besitzen. Vor allem eine Weizensorte, welche in Argentinien ihre Zulassung bekommen hat. Der trockentolerante HB4 Weizen, welcher unter Trockenstress 20% mehr Erträge als herkömmliche Sorten sichert. Jedoch ist dies aktuell keine Option für Deutschland.

Zwischenfruchtmanagement

Die australischen Beispiele („K.“ Farm) verdeutlichen, dass permanente Bodenbedeckung, minimale Bodenbearbeitung und ein gezieltes Zwischenfruchtmanagement entscheidend sind, um Feuchtigkeit zu konservieren und die biologische Aktivität des Bodens zu fördern. Für Brandenburg ist dieses Prinzip besonders relevant, da die dortigen Böden stark erosionsgefährdet sind und Wasserverluste minimiert werden müssen. Die Kombination aus humuserhaltenden Bewirtschaftungsmaßnahmen, kontrollierter Befahrung mittels fester Fahrgassen (Controlled Traffic Farming) und dem Einsatz organischer Düngung kann langfristig zu einer deutlichen Verbesserung der Bodenstruktur beitragen. Eine verstärkte Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung sowie ihre Anpassung an regionale Standortbedingungen erscheint daher sinnvoll. Jedoch ist die Umsetzung für die Farmen eine drastische Änderung. In Brandenburg werden viele dieser Maßnahmen bereits praktiziert und sind zunehmend in der landwirtschaftlichen Routine etabliert. Allerdings lassen sich die vorhandenen Flächen- und Schlagstrukturen nicht überall effizient auf die für CTF gängigen 12-Meter-Spurbreiten auslegen, was die vollständige Umsetzung erschwert.

Im internationalen Vergleich zeigt sich ein heterogenes Bild: In Frankreich wird vielfach noch mit technisch weniger fortgeschrittenen Systemen gearbeitet. Australien und Argentinien gelten hingegen als führend im Bereich der minimalen Bodenbearbeitung und der Direktsaat. Chile hat sich nach einer Phase intensiver Direktsaat-Umsetzung wieder verstärkt hin zu intensiver und wendender Bodenbearbeitungsverfahren wie Pflügen oder tiefem Grubbern orientiert, da zunehmender Unkrautdruck und die Entwicklung herbizidresistenter Unkrautpopulationen erhebliche Herausforderungen im Pflanzenschutz verursachen.

Mechanisierung und Bewässerung

Kapitel 3.2 zeigt deutlich, dass effiziente Bewässerungssysteme und digital unterstützte Mechanisierung Schlüsselkomponenten klimaangepasster Landwirtschaft sind. In Chile werden sensorbasierte Tröpfchen- oder Pivotsysteme genutzt, um Wasser gezielt einzusetzen. Der technische Fortschritt ermöglicht, auch bei begrenzten Ressourcen stabile Erträge zu sichern. Wenn möglich wäre für Brandenburg ein Ausbau solcher Systeme sinnvoll, insbesondere im Rahmen kooperativer Bewässerungskonzepte oder der Wasserverbände. Parallel dazu könnte die Integration von Bodensensorik und Fernerkundung in die betriebliche Praxis helfen, Wasserverbrauch und Düngung präziser zu steuern. Dies ist jedoch schwierig mit der heutigen Politik und Gesellschaft vereinbar, da das Erlangen neuer Wasserrechte schwierig umsetzbar und die Erstellung der Bewässerungsinfrastruktur kapitalintensiv ist. Umso mehr müssen vorhandene Systeme auf Sensorgestützte und Verlustmindernde Technik gesetzt werden um möglichst wenig Verdunstung und höchste Effizienz zu gewährleisten.

Ausblick und Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis

Global gesehen stehen alle Länder unter denselben Herausforderungen und suchen nach Lösungen sich den verändernden Strukturen besser anpassen zu können. Manche Länder haben sich jedoch schon besser als andere an die Bedingungen angepasst und es lassen sich Lösungsansätze für Brandenburg ableiten.

Um die gesammelten Ideen der Reise und Lösungsansätze für Brandenburg zu übernehmen habe ich zwei Praxisversuche auf dem Betrieb etabliert. Abbildung 17 zeigt Raps mit einer Bockshornklee und Wicke. Der Effekt unseres neuen Konzeptes macht sich schon bereits nach Auflaufen des Bestands bemerkbar. Die Begleitpflanzen Bockshornklee und aufrechte Wicke tragen zur Ertragssicherung bei, indem sie durch symbiotische Stickstofffixierung zur N-Versorgung des Systems beitragen. Dadurch können bis zu 30 kg N/ha synthetische Düngemittel eingespart werden, was ca. 30€/ha Düngerkosten entsprechen. Zuzüglich sind 15€/ha Ausbringungskosten anzurechnen minus 20€/ha Saatgutkosten. Demnach spart man ca. 25-30€/ha. Darüber hinaus wirken sich die Begleitpflanzen positiv auf die Bodenstruktur aus. Wurzelausscheidungen und Rhizodeposition fördern die mikrobielle Aktivität im Boden und verbessern die Nährstoffverfügbarkeit, was zu einem vitaleren und leistungsfähigeren Rapsbestand führt. Eine gut entwickelte Deckfrucht im Herbst unterdrückt zudem effektiv das Unkrautwachstum. Gleichzeitig wird der Befall durch tierische Schädlinge reduziert, da die Begleitpflanzen den Anflug von Schadinsekten stören. Insbesondere der Geruch des Bockshornklees wirkt abschreckend auf den Rapserrfloh. Erträge aus der Ernte 2025 zeigen deutliche Ertragsstabilisierung, da der Raps in diesem Anbaujahr unter extremen Dürreperioden gelitten hat. Er konnte einen Mehrertrag von 15dt/ha erzielen im Gegensatz zur Reinvariante. Nicht außer Acht zu lassen sind jedoch die eingeschränkten Herbizidmaßnahmen im Herbst. Im Anbaujahr 2026 ist dieses Jahr mit der Untersaat Bockshornklee und Alexandrinerklee angelegt und ich bin gespannt auf die Ergebnisse.



Abbildung 17 Brandenburg - Raps mit Untersaat

Ein weiterer Versuch den ich auf dem Brandenburger Betrieb etabliert habe, ist eine Mischkultur aus Mais und Bohne (Abbildung 18). Der Bohnenanteil ist geringer als der Maisanteil und beide werden zuerst vermischt und dann gleichzeitig mit der Drillmaschine ausgesät. Auch hier sind beim Anbau die eingeschränkten Herbizidmaßnahmen nicht außer Acht zu lassen, denn es können nur wirksame Voraufherbizide eingesetzt werden, um den Unkrautdruck zu regulieren. Jedoch ist die Leguminose als Begleitpflanze für den Mais ertragssichernd und auf sandigen Böden gut etablierfähig. Eine Ertragssteigerung konnte nicht erreicht werden. Die Bestände sehen jedoch homogener aus. Es hängt jedoch stark von der Etablierung der Bohne ab, dies kann bei starker Frühjahrstrockenheit oder starkem Schädlingsbefall erschwert sein.



Abbildung 18 Brandenburg - Mischkultur Mais & Bohne

Einen kleinen weiteren Versuch habe ich mit Weizensortengemenge angelegt, welche in Frankreich weit verbreitet sind. In diesem habe ich drei Winterweizensorten gemischt, welche ähnliche Reifezeiträume zur Ernte haben und die Aussaatfenster im Herbst übereinstimmen. Ergebnisse dieses Versuches liegen im Sommer 2026 vor.

Die internationalen Beispiele der Reisen zeigen zwar praktikable Lösungsansätze, ihre Übertragbarkeit hängt jedoch von regionalen Rahmenbedingungen ab. Faktoren wie Wasserverfügbarkeit, Marktstruktur, Investitionsfähigkeit der Betriebe und agrarpolitische Unterstützung bestimmen, in welchem Maße Strategien umgesetzt werden können. Für Brandenburg ist insbesondere die ökonomische Tragfähigkeit kleiner und mittlerer Betriebe entscheidend. Maßnahmen müssen daher praxisnah, kostensparend und regional angepasst gestaltet werden.

Im Ausblick wird deutlich, dass nachhaltige und klimawandelresiliente Ackerbausysteme in Regionen mit gering ausgeprägter Bodenstruktur vor allem auf einer kombinierten Strategie aus Diversifizierung, Zwischenfruchtintegration und konservierender Bodenbearbeitung beruhen. Die Ergebnisse unterstreichen, dass insbesondere Mischkulturen aus tiefwurzelnden, trockenheitsresistenten Arten und Leguminosen zentrale Hebel darstellen: Sie stabilisieren Erträge unter variablen Witterungsbedingungen, verbessern die Bodenbiologie und -struktur und erhöhen zugleich die Effizienz der Wassernutzung. Durch ihre Fähigkeit, Stickstoff zu fixieren und den Krankheitsdruck zu reduzieren, tragen Leguminosen wesentlich zu ressourcenschonenden Anbaukonzepten bei.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich für Brandenburg mehrere strategische Entwicklungspfade. Eine wesentliche Perspektive liegt in der Erweiterung der Fruchtfolgen um Kulturen wie Sorghum, Hirse, Kichererbse oder Soja, die in trockenen und hitzebelasteten Perioden deutlich bessere Ertragsstabilität aufweisen.

Die in den vergangenen Jahren durch Förderinstrumente (insbesondere die GAP) bereits verbreitete Praxis des Zwischenfruchtanbaus bietet ein hohes Potenzial zur weiteren Optimierung. Eine intensivere Nutzung von Leguminosen und winterharten Begrünungen könnte die Bodenbedeckung nahezu ganzjährig sichern, was Erosion mindert, die mikrobielle Aktivität erhöht und die Nährstoffkreisläufe stabilisiert.

Gleichzeitig verdeutlicht der Bericht, dass die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung – insbesondere Minimalbodenbearbeitung oder Direktsaat langfristig einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der Bodenstruktur und Wasserhaltefähigkeit leisten kann. Obwohl in Brandenburg aufgrund herbizidbezogener Herausforderungen weiterhin Zurückhaltung gegenüber Direktsaat besteht, zeigen internationale Fallbeispiele, dass

angepasste mechanische Verfahren, integrierte Unkrautkontrolle und standortbezogene Herbizidstrategien praktikable Wege zur Risikominimierung darstellen. Ein gradueller Übergang, zunächst in Kombination mit Zwischenfrüchten und präzisionsmechanisierten Verfahren, erscheint daher aussichtsreich.

Ergänzend rückt der Einsatz digitaler Technologien stärker in den Fokus. Sensorbasierte Bewässerungssysteme, bodenfeuchtegestützte Entscheidungsmodelle und automatisierte Monitoringverfahren können, soweit infrastrukturell und ökonomisch realisierbar, sowohl Wasser als auch Betriebsmittel effizienter einsetzen und Ertragsrisiken reduzieren. Angesichts der zunehmend limitierten Wasserverfügbarkeit in Brandenburg werden jedoch gezielte Standortanalysen und klare Bewässerungsprioritäten unerlässlich bleiben.

Langfristig zeigt sich: Eine klimaresiliente Landwirtschaft in Brandenburg muss nicht zwingend produktionsintensiver, sondern intelligenter, diversifizierter und bodenorientierter werden. Der Schlüssel liegt in der Kombination aus pflanzenphysiologischer Anpassung, technischer Innovation, geringer Inputkosten und nachhaltiger Bewirtschaftung.

Literaturverzeichnis

- Alexander, L., & Arblaster, J. M. (2017). Weather and Climate Extremes. *Elsevier*, 34-56.
- Blum, A. (2017). Crop Physiology of Drought and Water Deficit Tolerance. *Cambridge University Press*.
- Blunden, J., & Boyer, T. (2024). State of the Climate in 2023. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*
- BMEL. (2022). *Digitalisierung in der Landwirtschaft – Broschüre*. Berlin: BMEL.
- CSIRO. (29.. 10. 2024). CSIRO. Von Australia's changing climate: <https://www.csiro.au/en/research/environmental-impacts/climate-change/State-of-the-Climate/Australias-Changing-Climate?> abgerufen
- DWD. (2019). *Klimareport Brandenburg*. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst. Von https://www.iwa-ev.de/z43/wp-content/uploads/2023/10/Deutscher-Wetterdienst_-Klimareport_Bb_2019.pdf? abgerufen
- DWD. (2025). *Deutscher Wetterdienst*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe#--3> abgerufen
- DWD Deutscher Wetterdienst. (28. 09 2025). *Deutschland im Klimawandel: Neues Faktenpapier veröffentlicht*. Von Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2025/9/28.html? abgerufen
- FAO . (kein Datum). Von https://www.fao.org/family-farming/countries/rou/en?utm_source abgerufen
- FAO. (2013). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2022). *Drought and Agriculture – Building Resilience to Water Scarcity*. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- IPCC. (2021). Sixth Assessment Report (AR6). Von <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/> abgerufen
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- MLUK, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. (2023). *Strategie des Landes Brandenburg*.
- UBA. (30. 07 2025). *Umweltbundesamt*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisseklimawandel/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten#welche-regionen-in-deutschland-konnten-besonders-von-trockenheit-betroffen-sein-> abgerufen
- Umwelt Bundesamt. (30.. 07. 2025). *Umwelt Bundesamt*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisseklimawandel/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten?> abgerufen