

Faktoren klimatischer Veränderungen

1. Chemische Zusammensetzung der Atmosphäre

Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration (CO₂)
Anstieg der Methan-Konzentration (CH₄)
Anstieg der Lachgas-Konzentration (N₂O)
Höhere Ozondynamik und Ozonspitzen (O₃)

2. Strahlung und Bewölkung

Sonnenscheindauer
Anteil direkter und diffuser Strahlung
Anstieg der UV-Strahlung

3. Temperatur

Mittlere Temperatur
Hitze
Früh- und Spätfröste
Wechselfrost
Bodentemperatur

4. Niederschlag

Mittlere Niederschlagssumme
Niederschlagsverteilung im Jahr
Nässe
Trockenheit
Starkregen
Hagel
Schnee (Eintritt der Schneeschmelze,
Schneebedeckungszeit, Schneemenge)

5. Wind und Luftaustausch

Mittlere Windgeschwindigkeit
Starkwind

**Pflanzenbau und Treibhausgasemissionen siehe
Rahmenthema 7**

Pflanzenwachstum und Ertragsbildung

- Zunahme der Photosyntheserate (direkter CO₂-Düngungseffekt)
- Verlängerung der Vegetationsperiode
- Zunahme des Früh- und Spätfrosttrisikos (zeitigerer Beginn des Frühjahrs, aber auch Verfrühung der Pflanzenentwicklung)
- Verschiebung und Verkürzung des Entwicklungsverlaufes (beobachtet bei Getreide, Zuckerrüben, Grünland, Obst)
- Konkurrenzverschiebung zu Gunsten wärmeliebender Pflanzenarten und –sorten
- Unzureichende Vernalisation in milden Wintern
- Erhöhung der Wassernutzungseffizienz (= Produktion/Wasserverbrauch) bei reduzierter Wasserversorgung
- Erhöhung der Nutzungseffizienz von Strahlung und Nährstoffen
- Geringerer Produktionsrückgang unter Trockenheit (indirekter CO₂-Düngungseffekt)
- Erweiterung des C/N-Verhältnisses in der Biomasse (weniger Protein im Vergleich zu Kohlenhydraten durch den CO₂-Düngeeffekt, z.B. geringere Backqualität bei Weizenmehl)
- Sinkende Ertragssicherheit durch zunehmende Extremereignisse (Starkregen, Hagel, Wasser-/ Wind-erosion, Hitze- und Dürreperioden, Überschwemmung)
- Längere Trockenphasen beeinträchtigen die Grünlandproduktion und die Bestandeszusammensetzung und damit die Futterqualität

Wasserhaushalt

- Geringeres Wasserdargebot während der Vegetationsperiode aufgrund abnehmender Sommerniederschläge und Zunahme der Verdunstung
- Verstärkte Grundwasserneubildung im Winter (bei ausreichend Niederschlägen) verbunden mit höherem Nitrat-Austragsrisiko (wenn während der Wachstumsperiode nicht beregnet werden konnte)
- Abnahme der Klimatischen Wasserbilanz (Potenzielle Verdunstung/Niederschlag)
- Anstieg der Verdunstung und damit schnellerer Verbrauch des pflanzenverfügbaren Bodenwassers
- Zunahme von Starkregen führt zu stärkerem Oberflächenabfluss und geringerer Wasserspeicherung
- Zunahme von Trockenphasen beeinträchtigt die Ertragssicherheit

Bodenschutz

- Höhere Atmungsraten von Pflanzenwurzeln und Mikrobenaktivität durch steigende Bodentemperaturen, dadurch Risiko eines verstärkten Humusabbaus und damit verbundene höhere N-Freisetzung
- Zunahme der Winderosion auf leichten Böden bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
- Zunehmender Bodenabtrag durch Wassererosion
- Erhöhung der Verschlammungsgefahr auf gefügelabilen Böden durch Starkniederschläge

Nährstoffe

- Zunahme des Nitrat-Auswaschungsrisikos auf leichten und flachgründigen Böden in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen
- Gefahr des Anstiegs der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser insbesondere auf Lößstandorten und auf Böden mit hohem organischen Anteil
- Höhere Luft- und Bodentemperaturen fördern das Risiko gasförmiger Ammoniak-Verluste bei Düngung insbesondere auf Standorten mit alkalischen Böden
- Verstärkte N-Mineralisation aus organischer Substanz
- Verstärkter Phosphatverlust durch Erosion
- Erhöhte Kalk- und Kaliverlagerung
- Verminderte Nährstoffverfügbarkeit in Trockenphasen

Pflanzengesundheit 1

- Beeinträchtigung durch zu hohe Temperaturen und unausgeglichene Wasserversorgung
- Direkter Schaden durch Starkregenereignisse und Begünstigung von Wurzelfäulen durch längere Überflutungen
- Direkter Schaden durch längere Trockenperioden und Förderung des Auftretens bestimmter Schaderreger (z.B. Spinnmilben)
- Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung gebietsneuer wärmeliebender Unkrautarten
- Begünstigung von Pflanzenarten mit unterirdischen Überdauerungsorganen (Disteln, Winden) durch Trockenheit
- Begünstigung von Herbstkeimern in milden Wintern (Acker-Fuchsschwanz, Klettenlabkraut)
- Wärmeliebende Arten (z.B. Hirsen, Franzosenkraut, Gänsefuß, Samtpappel, Ochsenzunge) profitieren vom erhöhten Wärmeangebot im Frühjahr; Möglichkeit der Einwanderung schwer bekämpfbarer Schadarten (z.B. Ambrosia, Eleusine, Cyperus)
- Zunahme von Krankheiten mit hohen Ansprüchen an Temperatur und Niederschlag ,wie Rostkrankheiten, Netzflecken, *Cercospora beticola*
- Anstieg von Pathogenen mit hohen ansprüchen an Temperatur und relativer Luftfeuchte wie Echter Mehltau, Halmbruch und *Septoria tritici*

Pflanzengesundheit 2

- Beeinträchtigung durch zu hohe Temperaturen und unausgeglichene Wasserversorgung
- Direkter Schaden durch Starkregenereignisse und Begünstigung von Wurzelfäulen durch längere Überflutungen
- Direkter Schaden durch längere Trockenperioden und Förderung des Auftretens bestimmter Schaderreger (z.B. Spinnmilben)
- Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung gebietsneuer wärmeliebender Unkrautarten
- Begünstigung von Pflanzenarten mit unterirdischen Überdauerungsorganen (Disteln, Winden) durch Trockenheit
- Begünstigung von Herbstkeimern in milden Wintern (Acker-Fuchsschwanz, Klettenlabkraut)
- Wärmeliebende Arten (z.B. Hirsen, Franzosenkraut, Gänsefuß, Samtpappel, Ochsenzunge) profitieren vom erhöhten Wärmeangebot im Frühjahr; Möglichkeit der Einwanderung schwer bekämpfbarer Schadarten (z.B. Ambrosia, Eleusine, Cyperus)
- Zunahme von Krankheiten mit hohen Ansprüchen an Temperatur und Niederschlag ,wie Rostkrankheiten, Netzflecken, *Cercospora beticola*
- Anstieg von Pathogenen mit hohen ansprüchen an Temperatur und relativer Luftfeuchte wie Echter Mehltau, Halmbruch und *Septoria tritici*

Pflanzengesundheit 3

- Feuchtwarme Witterungsbedingungen fördern eine Reihe von Schaderregern wie Milben, Schnecken, Pilze und Bakterien
- Zunahme wärmeliebender Insekten wie Kartoffelkäfer und Blattläuse (Primärschäden: Blattfraß, Saugschäden etc.)
- Verstärktes Auftreten von Blattläusen und Zikaden (Sekundärschäden: Virosen, Qualitätsverluste etc.)
- Vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr
- Auftreten, stärkere Entwicklung und Ausbreitung bisher nicht heimischer Schaderreger durch günstige klimatische Bedingungen, z.B. Westlicher Maiswurzelbohrer
- Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird witterungsbedingt unsicherer – mögliche Wirkungseinschränkung bei Bodenherbiziden aufgrund geringer Bodenfeuchte
- Durch verstärkte UV-Strahlung schnellerer Wirkstoffabbau mit veränderter Wirkdauer

Anpassungsmaßnahmen sind in folgenden Bereichen zwingend notwendig:

1. Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung
2. Sortenstrategie und Bestandesführung
3. Bodenbearbeitung und Bodenschutz
4. Pflanzenernährung, Düngung und Humusreproduktion
5. Wassermanagement, Bewässerung
6. Pflanzenschutz
7. Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming)

Fruchtartenwahl und Fruchtartengestaltung

- Anpassung des Fruchtartenspektrums, Integration bodenstrukturverbessernder Kulturen, z.B. Leguminosen, Einführung klimaangepasster neuer Kulturpflanzenarten zur Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenzials
- Verbesserung der Ertragsstabilität durch Anbau wärmeliebender Arten mit hoher Nutzungseffizienz
- Anpassung bestehender und Entwicklung neuer Anbauverfahren
- Vermehrter Anbau von wassereffizienten Kulturen
- Nutzung der verlängerten Vegetationsperiode durch Zweikulturanbau unter der Voraussetzung ausreichender Wasserversorgung
- Maßgebliche Beeinflussung von Fruchtfolge und Hauptanbaukulturen weiterhin durch Anforderungen des Marktes und betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen

Sortenstrategie und Bestandesführung

- Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen durch spezielle Sortenstrategien und Bestandesführung
- Berücksichtigung folgender grundsätzlicher Sorteneigenschaften im Rahmen der Pflanzenzüchtung:
 - Toleranzen gegenüber natürlicher Sonneneinstrahlung, Hitze, Kälte, temporärem Wassermangel
 - Resistenzen gegenüber Schaderregern
 - effiziente Nährstoff- und Wassernutzung
 - Verfrühung von Blüte und Abreife
 - positive Wachstumsreaktion auf erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentrationen (CO₂-Düngeeffekt)
- Förderung und Sicherstellung der Keimung und des Feldaufganges durch saatguttechnische Aufbereitung
- Länderübergreifende, neutrale Landessortenversuche nach dem Anbaugebietkonzept und deren Auswertung auf Basis definierter Boden-Klima-Räume
- Ableitung anbaugebietsspezifischer Sorten-, Aussaatmengen- und Saatzeitempfehlungen
- Breits Risikostreuung hinsichtlich Pflanzenart, Sorte und Sortentyp

Bodenbearbeitung und Bodenschutz

- **Bereitung einer durchwurzelbaren, durchlässigen und gut durchlüfteten Bodenbearbeitungszone mit einem funktional ausreichendem Anschluss an den Unterboden**
- **Standortgerechte Bodenbearbeitungssysteme**
- **Anbau von Zwischenfrüchten, Mulch- und Direktsaat (Schutz vor Erosion, Nitrat-Austrag, Verdunstung, Förderung der Humusbildung und Wasserspeicherkapazität des Bodens, Förderung des Bodenlebens)**
- **Vermeidung von Bodenschadverdichtungen durch schonendes Befahren und Bearbeiten**
- **Bodenschutzgerechte Flurgestaltung sowie Schlagunterteilung, Schutzstreifen, Begrünung von Hangmulden**
- **Anlegen von Grünstreifen quer zum Gefälle sowie Anlage von Agroforstsystemen**

Pflanzenernährung, Düngung, Humusreproduktion

- Anpassung der kulturartenspezifischen N-Düngung (Düngungszeitpunkte, Düngermengen und -formen) an den jahres- und witterungsabhängigen Bedarf der Pflanzen
- Verbesserte Düngemittelapplikation in Phasen mit geringeren Sommerniederschlägen und zunehmender Trockenheit. Geeignete Maßnahmen dazu sind:
 - Injektions- bzw. platzierte Düngung
 - Anpassung der Düngungszeitpunkte
 - Einsatz stabilisierte N-Dünger in Perioden mit ausreichenden Niederschlägen
 - Cultan-Verfahren
 - N-Blattdüngung
 - Bedarfsgerechte Phosphor- und Kalium-Düngung unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens
 - Einsatz der Mikronährstoffblattdüngung
 - Phosphor-Kalium-Unterfußdüngung insbesondere in pfluglosen Ackerbausystemen
- Präzise N-Düngerbedarfsermittlung mit Hilfe des Sollwertkonzeptes und von Pflanzenanalyseverfahren (z.B. Nitrat-Schnelltest, Chlorophyllmessung)
- Anpassung der Zu- und Abfuhr organischer Substanz (Humusaufbau fördern)
- Einsatz von Monitoringprogrammen zur Beobachtung der Entwicklung des Humusgehaltes ackerbaulich genutzter Böden zur Bewertung der Wirkung verschiedener Maßnahmen auf die Humusdynamik im Boden
- Anwendung emissionsarmer Ausbringtechnik, insbesondere für organische Dünger
- Regionale Feldversuche zur Optimierung der Düngungskonzepte unter den Bedingungen des Klimawandels

Wassermanagement und Bewässerung

- Anpassungsmaßnahmen zur sparsamen Bewirtschaftung und ausreichenden Erschließung des Bodenwasservorrates
- Sicherung von Wasserentnahmerechten für die Landwirtschaft aus Grund- und Oberflächenwasser sowie Stauwerken und die Erhaltung funktionsfähiger Dränsysteme
- Erschließung alternativer Wasserquellen für die Beregnung/Bewässerung (u.a. Klarwasserverregnung, Hochwasserspeicherung, Regenrückhaltebecken)
- Rückhalt von Wasser in der Landschaft durch z.B. Einstau in Entwässerungsgräben
- Maßnahmen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung, z.B. durch den Umbau von Nadelwald zu Laubwald
- Förderung des Einsatzes wassersparender, effizienter Bewässerungstechnik (z.B. Kreis- und Linearberegnungsmaschinen, Tropfbewässerung)
- Berücksichtigung der Rentabilität der Bewässerung
- Einzusetzende Methoden:
 - Pflanzenbedarforientierte Bewässerung zur Ertragsstabilisierung und Qualitätsverbesserung
 - Wassersparende, auf Bodenfeuchten basierende Bewässerungsverfahren und –methoden mit hoher Wassernutzungseffizienz

Pflanzenschutz

- Resistenzzüchtung und regionale Sortenprüfung
- Kontinuierlicher Ausbau des Monitorings auf den Anbauflächen zur Feststellung von Veränderungen im Artenspektrum
- Optimierung witterungsbasierter Schaderreger-Prognosemodelle und Vorhersagen zum Insektenauftreten, Adaption vorhandener Prognosemodelle aufgrund veränderter Biologie der Schaderreger
- Weiterentwicklung der Applikationsmethoden bzw. -techniken von Insektiziden (Beizung, Granulate)
- Erarbeitung neuer und angepasster Pflanzenschutzstrategien bei Einführung von Alternativkulturen
- Fortführung der Versuche zur Optimierung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (z.B. Kombination von Mitteln, Spritzhäufigkeit, Applikationstechnik)
- Entwicklung wirkungsvoller Bekämpfungsstrategien (Fruchtwechsel, Alternativkulturen, Insektizide) auch unter Einbeziehung moderner Züchtungsmethoden gegen faunenfremde Insekten
- Anpassung des Pflanzenschutzmittelspektrums und/oder der Anwendungszeiträume
- Anwendung geeigneter Zusatzstoffe für Pflanzenschutzmittel zur Verbesserung der Wirkung, z.B. bei Trockenheit
- Sicherung ausreichender, neutraler Versuchs- und Untersuchungskapazitäten zur Überprüfung wirtschaftlicher Schadens- und Bekämpfungsschwellen
- Einbindung der Maßnahmen in den „Aktionsrahmen der Europäischen Gemeinschaft für den Nachhaltigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln“ sowie in den Kontext „Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“

Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming)

- Nutzung geeigneter neuer Techniken und Technologien zur räumlich hochauflösenden Erfassung von Boden- und Bestandesmerkmalen in allen vorgenannten Bereichen und deren Anwendung als Steuergrößen
- Reduzierung des spezifischen Faktoreinsatzes und der Vermeidung unerwünschter Umweltwirkungen durch Anwendung von GPS (Global Positioning System), Luftbildaufnahmen, -analysen, geophysikalischen und optischen Messverfahren, Steuerungs- und Regelungstechnologie sowie der Informationstechnologie
- Beispiele:
 - Teilflächenspezifische, pflanzenbedarfsgerechte Düngung und Pflanzenschutz
 - Bewässerung mit verdunstungsarmer Dosierung in Abhängigkeit von der Heterogenität des Bodens
 - Anwendung bodenwasserschonender Bodenbearbeitungsverfahren in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften
 - Anwendung von Parallelfahrssystemen (z.B. Regelfahrspursystem „Controlled Traffic Farming“)

- Verglichen mit weltweiten Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft, vor allem auf Länder des Südens, hat die Agrarproduktion in Deutschland weiterhin vergleichsweise günstige Voraussetzungen.
- Je nach Ausgangsbedingungen auf klimatischer, naturräumlicher und betrieblicher Seite und dem Zusammenwirken mehrerer Faktoren, können jedoch einzelne Betriebe stark und existenziell von Klimawirkungen betroffen werden.
- Wichtig ist, die bereits erlebten Auswirkungen – in günstigen wie ungünstigen Jahren – beständig zu registrieren und Konsequenzen daraus immer wieder zu prüfen.
- Zur Feststellung der konkreten kleinräumigen Vulnerabilität der Landwirtschaft sind regionalisierte Monitoringprogramme zur Eruiierung der Zusammenhänge und Ursachen notwendig.
Grundlage müssen historische Daten und die bisher festgelegten Boden-Klima-Räume sein. Eine weitere Basis sind Erkenntnisse aus den Landessortenversuchen, anbautechnischen Versuchen sowie Dauerbeobachtungsflächen und Dauerversuche ergänzt um die Auswertung von Statistiken.
- Basierend auf den Prognosen sind seitens der angewandten Forschung notwendige Anpassungsstrategien aufzuzeigen und über die Forschung Wissenslücken zu schließen.
- Ergänzend zu den Monitoringprogrammen ist ein neutrales, auf den biometrischen Grundsätzen basierendes Versuchswesen sicherzustellen, um belastbare Aussagen auf grundsätzliche und regionale Aspekte treffen zu können.
- Eine zentrale Aufgabe der Politik und Legislative ist die Berücksichtigung von Anpassungsstrategien in Rechtsvorschriften und Regelungen sowie Förderung der Umsetzung in der landwirtschaftlichen Praxis.
- Ein entscheidendes Kriterium zur Maßnahmenbewertung ist neben den pflanzenbaulichen Gesichtspunkten die ökonomische Bewertung.