Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft

Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an den Klimawandel

Erarbeitet im August 2008 im Projekt „Landwirtschaft und Klimawandel“ der TLL

Jena, April 2009

Das Thüringer Ministerium
für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt

FREISTAAT
THÜRINGEN

Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an den Klimawandel

Erarbeitet im August 2008 im Projekt „Landwirtschaft und Klimawandel“ der TLL

Unter Mitwirkung von:
Dr.sc. Peter Gullich, Christian Guddat, Dr.habil. Armin Vetter, Dr. Steffi Knoblauch, Dr.Wilfried Zorn, Reinhard Götz, Herbert Michel, Dr. Rainer Paul, Dr. Ingrid Pfleger, Dr.habil. Hans Hochberg, Maik Schwabe

---

1. Das Klima ändert sich – was ist zu erwarten?

Folgende Änderungen im Klima werden für die Dekade 2041-50 erwartet. Grundlage dieser Annahmen bildet das Klimamodell WETTREG, welches unter Federführung des TLUG in Zusammenarbeit mit der FSU Jena bearbeitet wurde. Als das am wahrscheinlichsten eintretende Szenario wird dabei A1B angenommen. Hier wird von folgenden Prämissen ausgegangen:
- Maximum der Weltbevölkerung in der Mitte des 21. Jahrhunderts
- starkes Wirtschaftswachstum
- schnelle Einführung neuer und effizienter Technologien
- zunehmender Ausgleich globaler Unterschiede
- ausgewogene Mischung fossiler und nichtfossiler Energieträger

Aus den Modellrechnungen ergeben sich folgende Änderungen für Thüringen:

- - Zunahme des CO2-Gehaltes der Atmosphäre
- - Temperaturzunahme im Sommer um 2 °C, besonders in den Mittelgebirgen
- - Temperaturzunahme um 3°C im Winter, besonders in Zentralthüringen
- - 3 % Zunahme der Frühjahrsniederschläge
- - 7,5 % Abnahme der Sommerniederschläge, zunehmende Trockenheit von Südwest nach Nordost
- - 10 % Abnahme der Herbstniederschläge
- - 23 % Zunahme der Winterniederschläge
- - Zunahme der Starkregen, besonders im Winter
- - Zunahme der täglichen um 0,9 Stunden
- - Abnahme der Windstärken im Sommer
- - Verlängerung der Vegetationsperiode um 3 Wochen
- Es wird keinen einheitlichen Trend über die nächsten 80 Jahre in Richtung „trockener und wärmer“ geben. Vielmehr sollen kühlere und feuchtere Jahrzehnte im Wechsel mit wärmeren und trockneren vorkommen. Dies erfordert eine große Flexibilität in den Anpassungsreaktionen der Landnutzer.
- Mit dem Klimawandel nimmt die Vulnerabilität der Flächennutzungssysteme generell zu; der notwendige Schutz der natürlichen Produktionsgrundlagen Wasser und Boden wird die Landwirte vor wachsende Herausforderungen stellen.
- Die Betroffenheit der Landwirtschaft bestimmt sich im Zusammenspiel von Boden und dem sich verändernden Klima. Das hat zur Folge, dass notwendige Anpassungen im Bezug auf ein bestimmtes Kriterium sowohl regional variieren, als auch großmaßstäbig. Zur Planung von Anpassungsmaßnahmen der Landnutzer (im Landwirtschaftsbetrieb) müssen in Thüringen deshalb dringend die erforderlichen, aber heute noch fehlenden großmaßstäbigen Bodeninformationen erarbeitet werden. Die Kapazitäten zur fachwissenschaftlichen Erschließung der Daten der Amtlichen Bodenschätzung müssen dazu erweitert werden. Die vorhandene Kooperation von LFD, TLUG und TLL dazu ist auszubauen. Federführend durch die TLUG sind großmaßstäbige Bodenmerkmals- und Bodenfunktionskarten zu erarbeiten. Dabei sollte nach dem Bei-

spiel des bereits abgeschlossenen Gemeinschaftsprojektes der Länder Rheinland-Pfalz und Hessen vorgegangen werden.

Diese zunächst in grober Näherung bezeichneten Änderungen werden nicht gleichmäßig in Thüringen eintreten. Eine erste qualitative Abschätzung des Einflusses der Klimaänderungen auf die pflanzenbaurelevanten Standortbedingungen wurde auf der Basis der Bodenlandschaften (BÜK 400) vorgenommen. Eine zusammengefasste Einschätzung der Entwicklung einzelner Standortkriterien (Dürregefahr, Erosionsdisposition, Eignung für Zwischenfruchtanbau, Verdichtungsgefahr) führt zu einer Einschätzung der Größenordnung des generellen Anpassungsdruckes der Landwirtschaft in der Fläche:

Genereller Anpassungsdruck der Landnutzung an Klimawandel	Geschätzter Anteil an der Ackerfläche Thüringens (v.H.)	Verbreitungsgebiet
Gering	15	Flußauen, Thür.Wald,Grabfeld
Mittel	75	Buntsandstein, Muschelkalk, Schiefergebirge, Schwarzerden und -ähnliche Böden im Thür. Becken, braune Lößböden
hoch	10	Altenburger Lößgebiet, Harz und -vorland

Im Projekt 52 der TLL „Klimaänderung und Landwirtschaft“ werden Klimaänderungsregionen aus den WETTREG-Daten erstellt, um anschließend die genannte Abschätzung zu überprüfen und zu präzisieren. Dies wird die Grundlage der vorgesehenen rechnergestützten Planungshilfe für Landwirte sein. Dieses Ergebnis liegt noch nicht vor, so dass alle vorweggenommenen Aussagen zu flächenhaften Umfängen der veränderten Standortbedingungen den Charakter von Arbeitshypothesen bzw. Expertenschätzungen haben. Nachstehende Tabelle gibt den Versuch einer Abschätzung zu erwartender Betroffenheitsänderungen für die Ackerfläche Thüringens auf der Basis von Bodenlandschaften in Kombination mit den eingangs aufgeführten Klimaänderungen wieder.

Standort - Kriterium	**Vergleichsweise Ausprägung**	**AF_{TH} derzeit v.H.**	**AF_{TH} im Jahr 2050, bezogen auf das Ausgangsniveau v.H.**
Dürre / Wassermangel in der Vegetationsperiode	eher geringer	20	10
	durchschnittlich	60	55
	eher höher	20	35
Erosionsdisposition	eher geringer	30	10
	durchschnittlich	50	40
	eher höher	20	50
Zwischenfruchtanbau (Eignung)	eher geringer	30	60
	durchschnittlich	30	20
	eher höher	40	20
Schadverdichtungsrisiko	eher geringer	45	10
	durchschnittlich	25	50
	eher höher	30	40

2. Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

Ausgangssituation

- Ackerbauregionen in Thüringen schon jetzt mit geringen bis mittleren Abflussspenden
- Gesamtabfluss unter Ackerland im Mittel 295 mm, dav. 125 mm Grundwasserneubildung (GEOFEM, 1998)
- Mittelgebirgslagen mit Grünlandnutzung:703 mm Jahresniederschlag, 363 mm Gesamtabfluss und 148 mm Grundwasserneubildung (GEOFEM, 1998) .
- Einhaltung geringer Nitratkonzentrationen des Sickerwassers erschwert.

Folgen des Klimawandels

- Landwirtschaft beeinflusst den Wasserhaushalt durch die Höhe der Evapotranspiration des Pflanzenbewuchses und des versickernden Niederschlagswassers.
- Anstieg der Temperatur in einem für die Kulturpflanzen noch tolerablen Bereich kann über eine Verlängerung der Vegetationszeit zu einer Erhöhung der Evapotranspiration und des Ertrages führen, insofern die Niederschläge dafür ausreichend sind, wie in den Grünlandregionen der Mittelgebirge, oder die Pflanzen in der Lage sind, den höheren Wasserbedarf durch Aufnahme von Bodenwasser zu decken, wie im Thüringer Becken. In beiden Fällen würde es zu einer weiteren Abnahme der Sickerwasserbildung kommen.
- Zunahme der Temperatur über den tolerablen Bereich hinaus, führt zu irreversiblen Wachstumsstörungen mit der Folge reduzierter Verdunstung und Ertragseinbußen. Die Auswirkungen auf die Sickerwasserbildung sind schwer abschätzbar.
- Gleichzeitige Zunahme der CO_2-Konzentration der Atmosphäre führt zu höherer Wassernutzungseffizienz. So kann u.U. die Minderung der Sickerwasserbildung ausbleiben.
- Extrem-Niederschläge können den Oberflächenabfluss steigern und damit den Bodenwasservorrat für das pflanzliche Wachstum und die Grundwasserneubildung verringern.
- Alle Klimafaktoren, die zu einer Unsicherheit der Ertragsbildung führen, wie z.B. Hitze- und Trockenperioden, erhöhen das Risiko der N-Auswaschung.
- Bei Verringerung der Sickerwassermenge kann ein größerer Teil des im Boden gelösten mineralischen Stickstoffs im Folgejahr pflanzlich genutzt werden.
- Gefahr hoher Nährstoffeinträge durch Starkregen und Oberflächenabfluß
- Stärkere Mineralisierung organischer Substanz bei Anstieg von Temperatur und Feuchte mit höheren N-Austrägen in der Folge.

Anpassungsstrategien

- Entwicklung bedarfsgerechterer Düngeberatungssysteme
- Verbesserung der Bodenbearbeitung in Richtung Minimierung Verdunstungsverluste, produktive Nutzung des Bodenspeichers sowie hoher Infiltrabilität
- Entwicklung von großmaßstäbigen Boden- und Standortinformationen und Bereitstellung von Planungshilfen für Anpassungen der Landnutzung (Erosion, Verdichtung, Wasserdargebot, kulturartenspezifische Wassernutzungseffizienz)

Forschungen

- Weiterführung der Messprogramme an der Lysimeterstation Buttelstedt für die Ermittlung der Wassernutzungseffizienz/ des Bodenwasseraneignungsvermögens der Kulturpflanzen und des Wasserverbrauches von Bodenbearbeitungsverfahren für eine effiziente Nutzung des Bodenwassers für das pflanzliche Wachstum und die Minimierung der Belastung der Gewässer mit Nährstoffen. Dazu schrittweise Ausstattung von 10 weiteren der vorhandenen und bereits im Meßbetrieb befindlichen Großlysimeter mit automatischer Wägetechnik (Druckmeßdosen).

Monitoring

- Grundwasserneubildung
- Wasser-Monitoring (Bodenwasser-, Grundwasser-, Oberflächenwasser)
- N-Salden bei landwirtschaftlicher Nutzung
- Nährstoffgehalte der Böden (Dauerdüngungsversuche, Bodendauerbeobachtung)

Als Grundelement der zu entwickelnden Planungshilfe für Landwirte sind mehrere Standort-Merkmalskarten im Großmaßstabsbereich in Federführung des Ref.64 der TLUG zu entwickeln (pflanzenverfügbarer Bodenwasservorrat, Erosionsgefährdung, Verdichtungsgefährdung, N-Auswaschungsdisposition der Böden, Höhe des unvermeidbaren N-Austrages, Anbaueignung von Kulturen).

3. Pflanzenbau

Thesen zu den erwarteten für den Pflanzenbau relevanten Folgen der Klimaveränderung:

- Temperaturanstieg in Herbst und Winter führt zu…
  - längerer Vegetationsperiode (positive Wirkung auf allgemeines Pflanzenwachstum)
  - Ausbreitung von Schaderregern (Unkräuter, Pilzkrankheiten, Insekten, Viren)
  - Veränderungen in der Nährstoffdynamik, z.B. bei Stickstoff
- wärmere Sommer und Abnahme der Sommerniederschläge…
  - fördern Hitze- und Trockenstress und wirken dadurch ertragslimitierend
  - beeinflussen die Nährstoffverfügbarkeit
  - verändern das Schaderregerspektrum
- Zunahme der Winterniederschläge…
  - kompensiert unter der Voraussetzung einer hohen Bodenwasserspeicherfähigkeit der Speicherfähigkeit des Bodens Niederschlagsdefizite im Frühsommer
- Zunahme der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre…
  - erhöht vor allem bei C3-Pflanzen die Ertragsleistung durch eine erhöhte Photosyntheserate und einen effizienteren Wasserverbrauch
  - beeinträchtigt z.T. Qualität im Erntegut, z. B. geringere Eiweißgehalte bei Getreide
- Zunahme extremer Wetterereignisse in Form von Hitze- und Trockenperioden, Starkniederschlägen, Stürmen und Hagel…
  - begünstigen Erosionen und Stoffausträge
  - erhöhen Anbaurisiko und vermindern Ertragssicherheit der meisten Kulturpflanzen.

Dafür sind Anpassungsstrategien unter den Standort- und Änderungsbedingungen sowie ökonomischen, politischen und marktrelevanten Rahmenbedingungen zu entwickeln.

Anpassungsmöglichkeiten

1. Durch ein breites Anbauspektrum der Fruchtarten können die Risiken durch Auswinterung, Trockenheit, Hitze, extreme Wetterereignisse oder Schaderreger verteilt und die Gefahr von Totalverlusten auf Betriebsebene reduziert werden. Vielfältige Fruchtfolgen mindern das Auftreten zahlreicher Schaderregergruppen und dienen dem Erhalt von Humus und Bodenfruchtbarkeit. Optimaler Humushaushalt und gute Bodenfruchtbarkeit sind wichtige Voraussetzungen für die Wasser- und Nährstoffversorgung von Pflanzenbeständen in Trocken- und Hitzeperioden. Artenreiche Fruchtfolgen tragen dazu bei, Erträge zu stabilisieren und Risiken zu begrenzen. Die Einbindung alternativer Fruchtarten in regional typische Fruchtfolgen und die Veränderung von Anbausystemen in der Fruchtfolge sind vorab durch **Feldversuche** zu prüfen. Dies umso mehr, da sich die Züchtung weltweit auf immer wenigere Arten konzentriert, d. h. der Abstand zwischen züchterisch stark und weniger stark bearbeiteten Arten bzw. alternativen Kulturpflanzen wird im traditionellen Pflanzenbau (Food und Feed) größer.
2. Die Feststellung, welche derzeit genutzten Kulturpflanzen mit den sich ändernden klimatischen Bedingungen am besten zurecht kommen, rangiert vor Prüfung alternativer Kulturpflanzen. Weil der Klimawandel bereits eingesetzt hat, können für die Erstellung von Trends Datenreihen aus Ernteerhebungen des Thüringer Landesamtes für Statistik sowie Feldversuchen und Monitorings der TLL genutzt werden.
3. Sorten der einzelnen Fruchtarten unterscheiden sich hinsichtlich Ausprägung ihrer Eigenschaften und in der Kombination verschiedener Eigenschaften. Sorten, die alle wertbestimmenden Eigenschaften im Optimum vereinigen, gibt es nicht. Deshalb ist die Nutzung der bestehenden Sortenvielfalt ein Weg der Risikoverteilung. Hinsichtlich der Anpassung an die Klimaveränderung ist das in Deutschland praktizierte Sortenprüfsystem ein geeignetes Instrument. Die regionale Anbaueignung der Sorten wird für die Anbaugebiete in den Landessortenversuchen geprüft. Bei Verwendung von regional gezüchteten und geprüften Sorten ist eine bessere Klima-Anpassung zu erwarten. **Die Aufrechterhaltung des bestehenden Sortenprüfsystems ist Voraussetzung für den Anbau umweltstabiler und regional angepasster Sorten in der landwirtschaftlichen Praxis.**
4. Unter den prognostizierten klimatischen Änderungen ist zu erwägen: Ausdehnung des Anbaus wärmeliebender und trockenheitsverträglicher Kulturpflanzen, Erprobung von Winterformen, System des Anbaus von zwei Hauptfruchtarten pro Jahr. Eine regionale

Prüfung ist Voraussetzung zur Beurteilung der Stabilität des Systems und der Leistungsfähigkeit im Vergleich zum gegenwärtigen Anbau.

5. Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Milderung von Temperatur- und Trockenstreßwirkungen sind als Anpassungsmöglichkeiten durch aktuelle Versuche neu zu bewerten Dazu zählen die Reduzierte Bodenbearbeitung, frühere Saatzeiten, Anbau früher reifender Sorten, Reduzierung von Saatstärken, um eine ausreichende Wasserversorgung der Bestände in kritischen Phasen zu gewährleisten.

4. Landwirtschaftlicher Bodenschutz

4.1 Bodenerosion

Der gegenwärtige Anfälligkeitsgrad der Ackerböden gegen Erosion durch Wasser könnte sich durch Zunahme der Starkregen, besonders außerhalb der Vegetationsperiode und Zunahme der Frühjahrsniederschläge ändern:
Anbau von Kulturen mit geringer Bodenbedeckungswirkung (wie z.B. Mais, Zuckerhirse) würde dann in stärkerem Maße besondere Vorsorge (wie z. B. Engreihensaat, Ein- und Untersaaten, Mulchsaat) erfordern. Die für Thüringen bereits erarbeitete Gefährdungsanalyse muss um die zu erwartende Niederschlagswirkung ergänzt werden. Dazu muss eine neue „R-Faktoren-Karte“ aus den Regionalisierten Klimawandel-Modellen entwickelt werden, um die notwendige Anpassung der betrieblichen Vorsorge planen zu können. Diese Arbeiten sind im Ref. 64 „Bodenkunde und Bodenschutz“ der TLUG vorgesehen und bedürfen dort einer verbindlichen Einordnung.

4.2 Bodenschadverdichtung und Bodenbearbeitung

Änderung der momentane Anfälligkeit der Ackerböden gegen bewirtschaftungsbedingte Verdichtung durch:

- Wärmere Winter, damit weniger Bodenfrost, damit kaum Regeneration des Bodengefüges zu erwarten
- Zunahme der Frühjahrsniederschläge
- Zunahme der Winterniederschläge, damit häufiger und länger anhaltender plastischer Bodenzustand im Frühjahr
- Früherer Beginn der Vegetationsperiode, damit öfter Bearbeitung bei druckempfindlichem Bodenzustand

Folglich erhalten Vorsorgemaßnahmen (optimale Zeitspannen, ausreichende Schlagkraft, bodenschonende Fahrwerke u.a.m.) größeren Stellenwert. Die veränderte Gefährdungslage muss in der bestehenden Planungshilfe (Bodenschutzplaner der TLL) abgebildet werden (weitere Untersuchungen zur feuchteabhängigen Druckbelastbarkeit Thüringer Ackerböden in der TLL)
Als Reaktion der **Bodenbearbeitung** auf klimatische Schwankungen wird häufig Minimalbodenbearbeitung empfohlen. Gründe sind die Annahme besserer Wasserausnutzung, Verringerung unproduktiver Verdunstung und einer Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität. Ergebnisse eigener Untersuchungen geben jedoch zu Zweifeln an diesen generellen Feststellungen Anlass. Bei Minimalbodenbearbeitung erhöht sich die Dichte des Bodens auf Kosten der weiten und mit zunehmender Verdichtung auch der engeren Grobporen. Die engeren Grobporen gehören zu den Poren, die Wasser pflanzennutzbar speichern. Es wird also Speicherraum für nutzbares Bodenwasser vernichtet. Thüringer Dauerfeldversuche (darunter die Programme auf den Dauerbeobachtungsflächen) zeigen, dass mit pflugloser Bodenbearbeitung immer ein Verlust an Wassermasseanteilen eintritt. Die Erhöhung der Dichte führt auch zu einer Zunahme kapillar geförderten Wassers aus tieferen Unterbodenschichten. Dieses Wasser kann genutzt werden (Christen 2007), es bedeutet aber auch eine stärkere Ausschöpfung dieses Wasservorrates. Da der Verlust der weiten Grobporen den Makrostofftransport beeinträchtigt (in den gleichen Versuchen sinkt die Transporteignung der dichten Schichten bis auf sehr geringe Werte), gelangt nicht genug Niederschlagswasser in den Boden, die Austrocknung wird sich nach einiger Zeit verschärfen. Andererseits wird von einer Zunahme an Regenwurmgängen bei pflugloser Bodenbearbeitung berichtet (Müller o.J.). Diese würden dank ihrer hohen Kontinuität für eine hohe Transportleistung sorgen. Auch

dieser Befund wird durch die in der TLL vorliegenden Ergebnisse nicht so gestützt, dass die generelle Aussage betätigt werden könnte.
Ob man mit Bodenbearbeitung auf Klimaschwankungen reagieren kann, ist deshalb gegenwärtig nicht zu beantworten.
Zur weiteren Aufklärung der Wirkungen pflugloser Bodenbearbeitung legt die TLL gegenwärtig einen Praxisvergleich unterschiedlicher Bodenbearbeitungsvarianten im ThLPVG an. Die vieljährige Fortsetzung dieser Untersuchungen ist kapazitiv zu sichern.
Richtig ist allerdings, tiefe Bodenbearbeitung bei hohem Verdunstungsanspruch zu vermeiden. **Ziel der Bodenbearbeitung bleibt unabhängig von der Entwicklung des Klimas, eine durchwurzelbare, durchlässige und gut durchlüftete Bearbeitungszone mit Anschluss an den Unterboden zu gewährleisten.**

5. Bewässerung

Größerer Wasserbedarf entsteht aufgrund abnehmender Sommerniederschläge, längerer Vegetationsperiode, Zunahme der Globalstrahlung, wärmerer Sommer.
Ob das zu erwartende größere Wasserdefizit jedoch Bewässerungsmaßnahmen nach sich zieht, ist in erster Linie von Märkten und Preisen abhängig. Gegenwärtig gibt es in Thüringen nach Erhebungen der TLL 6.500 ha durch funktionsfähige Beregnungstechnik erschlossene Fläche in rund 40 Betrieben. Ein Drittel davon wird im Normaljahr genutzt, im klimatisch feuchten Jahr 2007 nur ein Viertel. Zweikultur-Nutzungssysteme könnten unter veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen möglicherweise den Zusatzwassereinsatz wirtschaftlich rechtfertigen. Entsprechende Untersuchungen (vorzugsweise im Praxisexperiment) sollten mittelfristig vorbereitet werden. Für die Landwirtschaft sind vorsorgend Wasserrechte zu sichern und Nutzungsgarantien für vorhandene Stau- und Speicheranlagen zu organisieren. Insgesamt bestehen 196 Stauanlagen (TMLNU, Stand 2007). Nach dem FIS „Wasserbau“ der TLUG (Stand Nov.2007) gibt es 58 Stauanlagen mit Hauptnutzung „Brauchwasser für Bewässerung“ und 18 Anlagen mit Nebennutzung für Bewässerung. Analysen der TLL ergaben, dass in Thüringen von den Unteren Wasserbehörden nur ein unvollständiger Überblick über vergebene Wasserrechte zu erhalten war. 4,7 Mio. cm³/a Wasserrechte für die Feldberegnung wurden recherchiert (davon 590 Tm³ aus dem Grundwasser). Diese Menge reicht rein rechnerisch, um den gegenwärtigen Bedarf der landwirtschaftlichen Praxis zu sichern. Sie reicht jedoch schon dann nicht, wenn die gesamte gegenwärtig erschlossene Fläche bewässert werden sollte (100 mm, 6500 ha: durchschnittlicher Bedarf 6.500.000 m³).Empfehlungen zum effizienten Zusatzwassereinsatz auf hohem wissenschaftlichem Niveau müssen für den Landwirt auch künftig verfügbar bleiben. Dazu erstellt die TLL weiterhin Beregnungsempfehlungen auf der Basis des Modells BEREST 93.

6. Energiepflanzenanbau

Energiepflanzen dienen vorwiegend als Kohlenstoffquelle für eine energetische Verwertung. Dabei findet eine unterschiedliche starke Intensität der Kohlenstoffnutzung bei den verschiedenen Produktlinien, z. B. hundertprozentig bei der Verbrennung und ca. 50 - 60 % bei der Erzeugung von Biogas statt. Die Verwertungslinie der Energiepflanzen hat somit einen erheblichen Einfluss auf den Humuskreislauf. Durch eine erwartete stärkere energetische Verwertung von Stroh muss der Humusreproduktion, d. h. einer mindestens ausgeglichenen Humusbilanz zukünftig mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Anbau von Getreide und Raps wird in Thüringen für die energetische Verwertung an Bedeutung verlieren. Demgegenüber ist eine Ausdehnung des Anbaus von Pflanzen für die Erzeugung von Biogas zu erwarten. Damit bietet sich die Möglichkeit der Einführung neuer Kulturen (Hirsen, Durchwachsene Silphie) bzw. neuer Anbausysteme (Zweikulturnutzungssystem, Mischkulturanbau). Die zu erwartende Einengung der Fruchtfolgen im klassischen Pflanzenbau kann über den Energiepflanzenanbau reduziert werden. Mit der Integration von Agroforstsystemen in die Kulturlandschaft und die landwirtschaftliche Praxis können mehrere Ziele, d. h. die Produktion von Food- und Non Food auf der gleichen Fläche, die Erhöhung der Biodiversität und die Minderung negativer Folgen des Klimawandels, wie verstärkte Erosion und unproduktive Verdunstung, realisiert werden. Derartige Systeme sollten daher zukünftig einer verstärkten Förderung bei ihrer Einführung unterliegen.

7. Pflanzenschutz

Mit verringerten Niederschlägen im Frühjahr und Sommer nimmt die Bedeutung von Pflanzenkrankheiten in den landwirtschaftlichen Hauptkulturen ab. Dennoch können Pilze mit geringem Feuchtebedarf (z.B. Rostpilze, *Alternaria*) größere Schäden verursachen. Deshalb ist es weiterhin erforderlich, die Resistenzen der Sorten fort zu entwickeln und Prüfungen unter den regionalen Bedingungen vorzunehmen. Die veränderten Witterungsbedingungen führen zu einer Veränderung des Unkrautspektrums. Längere Trockenperioden im Frühjahr und Sommer begünstigen Pflanzen mit unterirdischen Speicher- und Überdauerungsorganen (Disteln, Winden). Milde Winter fördern Herbstkeimer (z.B. Acker-Fuchsschwanz, Klettenlabkraut). Wärmeliebende Arten (z.B. Hirsen, Franzosenkraut, Gänsefuß, Samtpappel, Ochsenzunge) profitieren vom erhöhten Wärmeangebot im Frühjahr. Außerdem besteht die Möglichkeit der Ansiedlung von schwer bekämpfbaren Unkräutern aus dem Mittelmeerraum (z.B. *Ambrosia, Eleusine, Cyperus*). Die Feststellung von Veränderungen im Artenspektrum erfordert ein kontinuierliches Monitoring auf den Anbauflächen. In Feldversuchen müssen Erfahrungen bei der Bekämpfung von neuen Unkrautarten gesammelt werden.

Bei allen phytopathogenen Insekten, deren Überwinterungsstadien nur bedingt kältetolerant sind, oder die mehrere Generationen im Jahr bilden, führt ein zunehmendes Wärmeangebot zu einem verstärkten Auftreten. Dadurch entstehen vermehrt Primärschäden (Blattfraß, Saugschäden) sowie Sekundärschäden (Übertragung von Viren, Qualitätsverluste). Mit einem verstärkten Insektizideinsatz ist zu rechnen. Es ist erforderlich, Vorhersagen zum Insektenauftreten zu verbessern und vorhandene Prognosemodelle an die neuen Bedingungen anzupassen. Weiterhin besteht die Notwendigkeit, die Methoden der Applikation von Insektiziden (Beizung, Granulate) fort zu entwickeln. Fortschritte bei der Resistenz der Sorten gegenüber Viruskrankheiten werden als sehr wichtig angesehen.

Die ansteigenden Temperaturen bieten auch faunenfremden Insekten optimale Entwicklungsbedingungen und Ausbreitungsmöglichkeiten (z.B. Westlicher Maiswurzelbohrer). In diesen Fällen ist es dringend erforderlich, wirkungsvolle Bekämpfungsstrategien (Fruchtwechsel, Alternativkulturen, Insektizide) auch unter Einbeziehung der Gentechnik zu entwickeln. Bei der Inkulturnahme von neuen Sorten (z.B. Winterbraugerste) oder Alternativkulturen (z.B. Sojabohnen) müssen gänzlich neue und angepasste Pflanzenschutzstrategien erarbeitet werden.

Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird witterungsbedingt unsicherer. Z.B. führt fehlende Bodenfeuchte zu Wirkungseinschränkungen bei Bodenherbiziden, verstärkte UV-Strahlung baut Wirkstoffe schneller ab. Es ist erforderlich, Versuche zur Optimierung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (z. B. Kombination von Mitteln, Spritzhäufigkeit, Applikationstechnik) fortzuführen.

8. Düngung, Nährstoffdynamik

Die kürzere Winterruhe und der Temperaturanstieg erfordern im Rahmen der Bestandesführung der Kulturen eine Anpassung der N-Düngung an den jahres- und witterungsabhängigen Bedarf der Pflanzen. Düngungszeitpunkte sowie Düngermengen und -formen sind zu optimieren sowie die Düngungskonzepte an die geänderten Klimabedingungen anzupassen.

Die geringeren Sommerniederschläge mit häufigeren Trockenphasen stellen höhere Anforderungen an die Düngemittelapplikation, um die Nährstoffe an die Wurzel heranzubringen bzw. direkt über das Blatt den Pflanzen zur Verfügung zu stellen. Geeignete Maßnahmen dazu sind aus gegenwärtiger Sicht unter anderem die Injektionsdüngung, der Einsatz stabilisierter N-Dünger in Perioden mit ausreichenden Niederschlägen sowie die N-Blattdüngung. Insbesondere in pfluglosen Ackerbausystemen mit der bekannten Nährstoffverarmung unterhalb des Bearbeitungshorizontes gewinnt die PK-Unterfußdüngung auch bei Winterungen an Bedeutung, um eine bedarfsgerechte Ernährung der Pflanzen zu gewährleisten. Bei Trockenheit vermindert sich die Verfügbarkeit von Phosphor, Kalium und Mikronährstoffen infolge der Festlegung im Boden. Geeignete Gegenmaßnahmen stellen die bedarfsgerechte P- und K-Düngung unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens sowie die Mikronährstoffblattdüngung dar.

Die witterungsbedingte Zunahme des Ertragsrisikos kann die Ausnutzung der N-Düngung vermindern und zu erhöhten Nitratgehalten im Boden im Herbst führen. Daraus resultiert

auch unter Berücksichtigung höherer Winterniederschläge ein erhöhtes Nitratauswaschungsrisiko. Diesem Szenario ist durch eine präzise und operative N-Düngebedarfsermittlung unter Berücksichtigung der Ertragserwartung sowie verstärkte teilflächenbezogene N-Düngung entgegen zu wirken.

Zur Optimierung der Düngungskonzepte unter den Bedingungen des Klimawandels und der Einführung klimaangepasster neuer Kulturpflanzenarten und –sorten sind Erkenntnisse aus regionalen Feldversuchen unerlässlich.

Auf Grundlage von Parzellen- und Praxisversuchen sind die Richtwerte für die Düngebedarfsermittlung für N, P, K, Mg und Mikronährstoffe unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung von Boden und Pflanze zu überprüfen und zu präzisieren sowie Ausbringtechnologien für Düngemittel (z. B. Unterfußdüngung, Blattdüngung, Flüssigdüngung) und angepasste Düngerformen (z. B. stabilisierte N-Dünger) zu optimieren.

Die weitere Erwärmung des Bodens führt infolge höherer Mineralisierung zu einem stärkeren Abbau des Humusgehaltes im Boden. Durch **Monitoringprogramme sowie Langzeitexperimente** ist die Entwicklung des Humusgehaltes ackerbaulich genutzter Böden zu beobachten und die Wirkung verschiedener Maßnahmen auf die Humusdynamik im Boden zu bewerten. Wichtige Bausteine hierfür stellen die **Weiterführung der langfristigen Feldversuche (Versuchsbeginn: 1966und 1997) zur organisch-mineralischen Düngung sowie der langfristige Betrieb der Nährstoffdynamiktestflächen der TLL dar.**

9. Tierproduktion und Grünland

Die Veredlungswirtschaft ist infolge moderner Haltungssysteme i.d.R. nicht in dem Maße wie die Pflanzenproduktion von Klimaveränderungen betroffen. Relevant sind vor allem die Auswirkungen erhöhter Temperaturen und zunehmender Witterungsextreme.

Inhaltliche Schwerpunkte der Anpassungsstrategie sind:

1. Hitzestressabbau in der Milchvieh-, Schweine- und Geflügelhaltung
2. Reduzierung der produktspezifischen tierbedingten Treibhausgasemmissionen
3. Adaptionsfähigkeit der Nutztiere an veränderte Klimabedingungen (Thermoregulation)

Handlungsbedarf/ Projektansätze:

1. Klimagestaltung/Lüftungstechnik (Beispiel ganzjährig optimierte Wärmenutzung aus Biogasanlagen; Umsetzung von Wärmeenergie in Kaltwasser für Kühlprozesse, Klimatisierung Schweinemastanlagen durch Absorbtionskälte aus Energie von BGA)
2. Milchviehhaltung (Zusammenhänge zwischen tierbezogenen Leistungsdaten/Verhaltensmustern und Klimamessungen in Einzeltierversuchen)

Ausblick:

1. Möglichkeiten der Reduzierung der Auswirkungen von Hitzestress auf Nutztiere
   - physikalische Veränderung der Umgebung (Kühlungssysteme)
   - genetische Entwicklung hitzetoleranter Rassen (Adaptionsfähigkeit)
   - Verbesserung des Nährstoffmanagements (Kompensation der unter Hitzestress verringerten Futteraufnahme durch Erhöhung der Energieaufnahme)
2. Stützungsbedarf der mittel- und langfristigen Anpassungsmaßnahmen
3. Erfüllung der Versuchs-/ Untersuchungsaufgaben im Forschungsverbund auf kooperativer Basis

10. Biodiversität und Naturschutz

Agrobiodiversität bezeichnet den in der Land-, Forst und Fischereiwirtschaft genutzten Teil der Biodiversität, der die genetische Vielfalt (wie Sorten, Rassen, Genotypen), die Vielfalt der Arten (wie Kulturpflanzen, Nutztiere) und die Vielfalt der genutzten Ökosysteme (wie Wildarten, Strukturen im Agrarraum) umfasst.

Als Bestandteil multifunktionaler Landwirtschaft unterliegt Agrobiodiversität einer Vielzahl, sehr komplex wirkender Einflussfaktoren, darunter auch das Klima. Der prognostizierte Klimawandel lässt Wirkungen auf die Biodiversität erwarten, unter anderem auf:

- die genetische Vielfalt und den Kulturartenanbau, z.B. Züchtung klimaangepasster Kulturpflanzenarten und -sorten, mit gesteigertem, natürlichem Ertrags-potential;
- die Vielfalt der Agro-Ökosysteme, z.B. Arealverschiebungen von Arten, Veränderungen der Biotopausstattung und der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften sowie der Landschaftspflegeerfordernisse (z.B. durch Trockenfallen einer Nasswiese);
- die Vorteilsleistungen hoher Agrobiodiversität, z.B. Bestäubung, Schädlingskontrolle, Regulation und Stabilisierung von Stoffkreisläufen, Puffer anthropogener Einflüsse oder ästhetischer Wert der Landschaft.

Dabei sind Veränderungen durch Reaktionen einer Art, Artengruppe oder eines Ökosystems aufgrund der sehr komplex wirkenden Umwelteinflüsse und der Prozessdynamik nicht eindeutig vorhersehbar. Generell ist aber davon auszugehen, dass eine hohe Vielfalt günstige Vorraussetzungen für mögliche Anpassungsstrategien bietet. Die notwendigerweise sehr flexiblen Anpassungsreaktionen im Pflanzenbau dürften sich förderlich auf die Biodiversität auswirken. Andererseits sind die Potentiale der Biodiversität bei der Anpassung zu nutzen.

Die Agrobiodiversität selbst muss als dynamischer Veränderungsprozess betrachtet werden.

Zusätzlicher Handlungsbedarf:

- Erfassen und Bewerten von Auswirkungen des Klimawandels auf die Agrobiodiversität (Systemzusammenhänge, Quantifizieren der Veränderungen);
- Entwicklung und Anpassung nachhaltiger Nutzungssysteme und Methoden, in der Weise, dass die Agrobiodiversität unter veränderten Klimabedingungen erhalten werden kann, z.B. in Form der Umsetzung geeigneter Maßnahmen der Landschaftspflege und des Naturschutzes sowie zur Pflege der Kulturlandschaft;
- Nutzung des Potentials von Agrobiodiversität zum vorbeugenden Klimaschutz, z.B. Vermeiden klimarelevanter Emissionen in Produktionsverfahren, Substitution fossiler Energieträger durch Anbau nachwachsender Rohstoffe;
- Analyse und Bewertung des Einflusses verschiedener Nutzungssysteme auf Agrobiodiversität und Klima, z.B. durch Etablierung von Systemen zur Bewertung der Nachhaltigkeit der Landnutzung auf Basis geeigneter Indikatoren;
- Analyse und Begleitung der Folgen des Klimawandels, insbesondere Anpassungs-Reaktionen und Wirkungsmechanismen, z.B. Schädigungen von Arten durch Auftreten von Schaderregern in Verbindung mit besonderen Witterungs-Ereignissen;
- Darstellen und in Wert setzen von Maßnahmen und Leistungen der Landwirtschaft, die zum Erhalt und zur Verbesserung von Agrobiodiversität und zum Klimaschutz beitragen, z.B. zur öffentlichen Akzeptanzsteigerung der Flächen-Nutzung, Verbraucheraufklärung und Produktvermarktung;

Der Erhalt von biologischer Vielfalt und Klimaschutz stehen in der Regel in Konkurrenz zu anderen Anforderungen an die Landwirtschaft. Daher sind vorsorglich Lösungen für mögliche Nutzungskonflikte erforderlich sowie die Entwicklung alternativer Handlungsoptionen, z.B. ausreichende Vergütung ökologischer Leistungen.

Die konkrete Ausgestaltung von Maßnahmen bedarf der Einbeziehung des vorhandenen Instrumentariums aus Forschung und Verwaltung, darunter insbesondere der zielgerichteten Erweiterung spezieller Forschungsleistungen, Informations-, Monitoring- und Beobachtungssysteme, des Feldversuchswesens, des Angebotes spezieller Schulung und Beratung für Landwirte sowie von Förderprogrammen mit relevanten Inhalten.

11. Industrie, Gewerbe, Energie

Die Erschließung von regenerativen Energien trägt wesentlich zum Klimaschutz bei. Gleichzeitig kann die Änderung des Klimas, z. B. durch veränderte Windgeschwindigkeiten und Strahlungsintensität auf die Nutzung regenerativer Energieträger rückwirken.
Thüringen deckt 12,9 % des Primärenergiebedarfs über erneuerbare Energie, davon 88 % über Biomasse ab. Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am PEV auf 25 %. erhöht werden. Den Hauptanteil soll dabei ebenfalls die Bioenergie erbringen. Die Erschließung von Abprodukten, z. B. Altholz oder Deponiegas für die energetischen Verwertung ist weitgehend abgeschlossen. Aufgrund einer verstärkten privaten Nachfrage nach Holz für Heizungszwecke und eine verstärkte stoffliche Nutzung dieses Rohstoffs sind seitens der Forstwirtschaft nur noch begrenzte Mobilisierungspotenziale gegeben. Der Hauptanteil an regenerativen Energieträgern ist daher über Neben- und Hauptprodukte aus der Landwirtschaft zu erbringen. Die Folgen des Klimawandels auf die Landwirtschaft haben somit erheblichen Einfluss auf die Energiewirtschaft und sind daher bei künftigen Planungen zu beachten. Zudem zeichnet sich ab, dass sich „pflanzlicher Kohlenstoff“ in all seinen Bindungsformen (Zucker, Lignin, Stärke, etc.) zu einem stark nachgefragten Produkt weltweit entwickelt. Der Ausbau und die Erzeugung von „Bioerdgas“, Biomass to liquid, Ethanol auf Lignocellulosebasis sowie von Strom und Wärme aus Biogas, Stroh und Holz erfordert eine intensive landwirtschaftliche Produktion, um die erforderliche Biomasse bereitstellen zu können. Zur Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards sind realistische und überprüfbare Nachhaltigkeitskriterien, wie sie z. B. im KSNL-System entwickelt wurden, zukünftig anzuwenden. Gleichzeitig gilt es, für eine hohe Biomasseproduktion Wasserreserven für die Landwirtschaft zu erschließen, zu sichern und bereitzustellen.

Anhang 1
Entwicklung von Witterungsdaten am Standort Buttelstedt

Aus den vieljährigen klimatologischen Messreihen an der Lysimeterstation in Buttelstedt ergaben sich bisher folgende Veränderungen ausgewählter Parameter.

1. Lufttemperatur

Die Lufttemperatur hat sich am Standort Buttelstedt im Zeitraum von 1983 bis 2007 zum Vergleichszeitraum 1951 bis 1980 im Mittel um 0,8 °C im Gesamtjahr und Winterhalbjahr (Oktober bis März) erhöht, im Sommerhalbjahr (April-September) sogar um 0,9 °C.

Temperaturanstiege in unterschiedlichen Abschnitten des Jahres am Standort Buttelstedt abgeleitet den vieljährigen Mittelwerten 1951...1980 bzw. 1983...2007

	Temperaturanstieg abgeleitet aus den vieljährigen Mittelwerten		
	1951...80	1983...2007	ΔT [°C]
Gesamtjahr	8,2	9,0	0,8
Winterhalbjahr (Oktober bis März)	2,6	3,4	0,8
Sommerhalbjahr (April bis Sept.)	13,7	14,6	0,9

Diese Ergebnisse werden durch andere Stationen des agrarmeteorologischen Messnetzes weitgehend gestützt, obwohl die Messreihen dieser Stationen erst seit 1994 vorliegen.

2. Niederschlag
Beim Niederschlag ergab sich für das Gesamtjahr eine Abnahme von 28 mm im Zeitraum von 1983 bis 2007 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1951 bis 1980. Im Sommerhalbjahr war die Abnahme mit -26 mm wesentlich stärker, als im Winterhalbjahr mit -2 mm. Im Gegensatz zur Temperatur ergibt sich beim Niederschlag keine statistische Sicherung der Ergebnisse, was in der großen Streuung der Einzeljahre begründet liegt. Besonders das Jahr 2007 hatte hier mit seinen Rekordniederschlägen großen Einfluss. Insgesamt zeichnet sich aber eine Tendenz zu trockneren Sommern und leicht feuchteren Wintern ab.

Niederschlagsänderungen in unterschiedlichen Abschnitten des Jahres am Standort Buttelstedt, abgeleitet aus den vieljährigen Mittelwerten 1951...1980 bzw. 1983...2007

	Niederschlagsänderung abgeleitet aus den vieljährigen Mittelwerten		
	1951...80	1983...2007	ΔN
Gesamtjahr	552	524	-28
Winterhalbjahr(Oktober bis März)	301	199	-2
Sommerhalbjahr (April bis September)	351	325	-26

3. Einstrahlung
Die eingestrahlte Energie (Globalstrahlung) hat in den letzten 25 Jahren im Jahresverlauf um 4,4 % (151 MJ/m²) zugenommen. Im Sommerhalbjahr mit 4,6 % (156 MJ/m²) etwas mehr, wogegen im Winterhalbjahr eine geringe Abnahme von 5 MJ/m²) zu verzeichnen war.

4. Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz
Durch die veränderten Temperatur und Strahlungsverhältnisse veränderte sich die potentielle Verdunstung ebenfalls.

Auswirkungen des Temperatur- und Strahlungstrends auf die potentielle Verdunstung

	vieljähriger Durchschnitt			abgeleitet aus der Trendanalyse 1983…2007			ΔPET (mm)
	T(°C)	GS (MJ/m²)	PET (mm)	T(°C)	GS (MJ/m²)	PET (mm)	
April bis Sept.	13,7	14,39	488,6	15,5	15,41	540,2	51,6
Gesamtjahr	8,2	9,37	576,7	9,9	9,42	639,1	62,4

2007 wurden im Jahresverlauf 62 mm mehr verdunstet als im vieljährigen Durchschnitt 1951 bis 1980. Im Sommerhalbjahr waren dies 52 mm, also der wesentliche Anteil an der Gesamtänderung.

Die veränderten Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse spiegeln sich direkt in der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) wider. So weist der Trend für die Vegetationsperiode eine Defizitzunahme von 28 mm, im Gesamtjahr von 51 mm aus. Hierauf hatte vor allem der Zeitraum von 1999 bis 2007 Einfluss, da dieser mit den wärmsten Jahren der Periode 1983 bis 2007 aufwartete. Wiederum hatte hier das feuchte Jahr 2007 Einfluss auf die Defizite der Klimatischen Wasserbilanz, da für den Zeitraum 1983 bis 2006 75 mm Zunahme im Sommerhalbjahr und 96 mm im Gesamtjahr ermittelt wurden.

5. Länge der Wachstumsperiode

Mit dem Temperaturtrend geht auch ein gleichsinniger Trend der Länge der Wachstumsperiode einher. So haben sich dem Temperaturtrend entsprechend die Termine des Beginns und des Endes und damit auch die Länge der Wachstumsperiode verändert. Für den Zeitraum von 1983 bis 2007 hat sich am Standort Buttelstedt gegenüber dem vieljährigen Durchschnitt aus der Datenreihe von 1901 bis 1950 der Station Erfurt-Bindersleben eine Verfrühung des Eintritts in die Vegetationsperiode um 10 Tage ergeben, wogegen die Vegetation erst 5 Tage später zur Ruhe kam.

Beginn, Ende und mittlere Länge der Vegetationsperiode, ermittelt für unterschiedliche Zeitreihen

Zeitraum	Vegetationsperiode (Tagesmittel ≥ 5 °C)		
	Beginn	Ende	Dauer
1901 bis 1950 [1)]	24.03.	07.11.	229
1951 bis 1975 [1)]	31.03.	07.11.	222
1951 bis 1980 [2)]	29.03.	11.11	228
1983 bis 2007 [2)]	14.03.	12.11.	244

[1)] Station Erfurt-Bindersleben des DWD
[2)] Station Buttelstedt

Damit war die Wachstumsperiode des Zeitraumes 1983 bis 2007 15 Tage länger als die des Zeitraumes 1901 bis 1950. Der Vergleich mit der Periode 1951 bis 1980 weist eine 16 Tage längere Wachstumsperiode aus, die aus einem um 15 Tage verfrühten Vegetationsbeginn und einen um einen Tag späteren Vegetationsende resultiert.