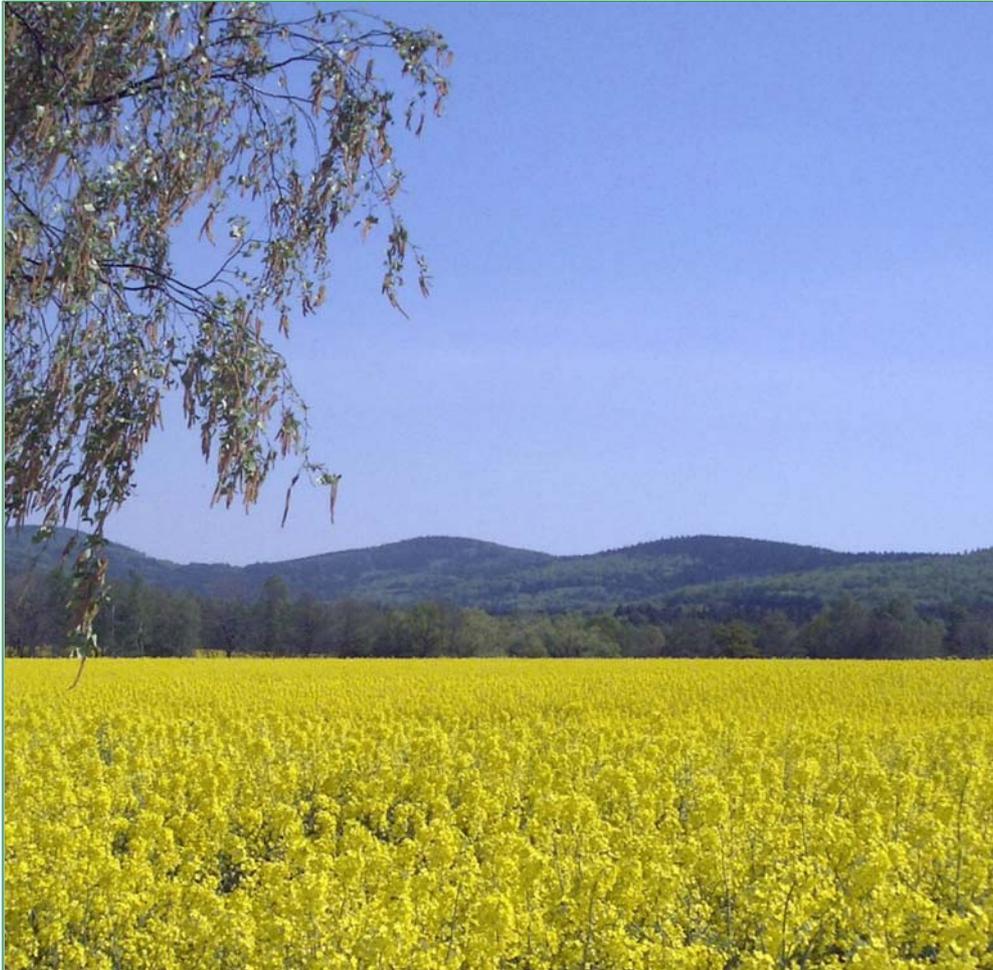




Das Lebensministerium



Klimawandel und Landwirtschaft

Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung
der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Vorwort..... | 6 |
| 2 | Regionaldifferenzierte Klimaprojektion für Sachsen | 8 |
| 2.1 | Temperatur..... | 8 |
| 2.1.1 | Zeitliche Charakteristik der seit 1961 beobachteten Veränderung | 8 |
| 2.1.2 | Projektion der Temperaturveränderungen..... | 10 |
| 2.1.3 | Mittlere Dauer der thermischen Vegetationsperiode | 12 |
| 2.2 | Niederschlag | 14 |
| 2.2.1 | Niederschlagstrends in verschiedenen Zeiträumen von 1901 bis 2005 | 14 |
| 2.2.2 | Europaprojektionen bis 2100..... | 16 |
| 2.2.3 | Projektion des relativen Niederschlagstrends in Sachsen bis 2050 | 17 |
| 2.3 | Klimatische Wasserbilanz | 20 |
| 2.4 | Kernaussagen der Klimaprojektion bis 2100 | 21 |
| 2.5 | Extremereignisse..... | 21 |
| 2.5.1 | Witterungsereignisse der Jahre 2006 und 2007 | 21 |
| 2.5.2 | Meteorologische Trockenheit | 22 |
| 2.5.3 | Hochwasser – meteorologische Aspekte | 23 |
| 2.5.4 | Spätfröste | 24 |
| 2.5.5 | Starkniederschlag..... | 24 |
| 3 | Ertragsentwicklung ausgewählter Fruchtarten in Sachsen | 28 |
| 3.1 | Ertragstrends für ausgewählte Fruchtarten im Zeitraum 1955 bis 2007 | 28 |
| 3.2 | Simulation der Ernteerträge ausgewählter Fruchtarten für den Zeitraum bis 2050 für Sachsen und für Standortregionen..... | 39 |
| 4 | Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf die Landwirtschaft | 47 |
| 4.1 | Pflanzenbau | 47 |
| 4.1.1 | Ertragsentwicklung und –stabilität..... | 47 |
| 4.1.2 | Entwicklung der Humusgehalte und Auswirkung auf die Bodenfruchtbarkeit..... | 50 |
| 4.1.3 | Bodenwasserhaushalt | 52 |
| 4.1.4 | Erosionsgefährdung und weitere Agrarumweltprobleme | 56 |
| 4.1.5 | Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und tierische Schaderreger | 58 |
| 4.2 | Gartenbau | 63 |
| 4.2.1 | Obst- und Weinbau | 63 |
| 4.2.2 | Gemüsebau..... | 64 |
| 4.3 | Grünland und Feldfutterbau | 66 |
| 4.3.1 | Grünland | 66 |
| 4.3.2 | Feldfutterbau | 67 |
| 4.4 | Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere | 70 |
| 4.4.1 | Futterlagerung und –konservierung..... | 70 |
| 4.4.2 | Fütterung..... | 70 |
| 4.4.3 | Tierhaltung | 70 |
| 4.5 | Teichwirtschaft | 72 |
| 4.5.1 | Einfluss auf die Flächenerträge | 72 |
| 4.5.2 | Einfluss auf den Wasserhaushalt | 73 |
| 4.5.3 | Einfluss auf Fischkrankheiten/Parasiten..... | 73 |
| 4.6 | Betriebswirtschaft..... | 75 |
| 4.6.1 | Ökonomische Bewertung von Zukunftsszenarien | 75 |
| 4.6.1.1 | Prognostizierte Änderungen in der Anbauvorzüglichkeit ausgewählter Fruchtarten | 75 |
| 4.6.1.2 | Prognostizierte Änderungen des durchschnittlichen Deckungsbeitrages und mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolge | 77 |
| 4.6.1.3 | Entwicklungstendenzen der Angebots- und Nachfragemärkte einschließlich der Direktzahlungen bis 2030..... | 82 |
| 4.6.1.4 | Gesamtbewertung..... | 85 |
| 4.6.2 | Analyse der Einkommensentwicklung in der Landwirtschaft für Sachsen und nach Regionen..... | 87 |
| 4.7 | Zusammenfassung..... | 91 |
| 5 | Anpassungsmöglichkeiten..... | 94 |
| 5.1 | Pflanzenbau | 94 |
| 5.1.1 | Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung | 94 |
| 5.1.2 | Sortenstrategie, Aussaatmengen und –zeiten und Bestandesführung..... | 96 |
| 5.1.3 | Bodenbearbeitung, Boden- und Erosionsschutz | 99 |
| 5.1.4 | Pflanzenernährung, Düngung und Humusreproduktion | 103 |
| 5.1.5 | Pflanzenschutz | 107 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1.6 | Bewässerung..... | 110 |
| 5.1.6.1 | Künftige Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser für Bewässerungsmaßnahmen in der Landwirtschaft | 110 |
| 5.1.6.2 | Möglichkeiten der Erschließung von Beregnungswasser | 115 |
| 5.1.6.3 | Fruchtartenspezifische Effekte der Bewässerung und deren Rentabilität..... | 118 |
| 5.1.7 | Precision Farming..... | 122 |
| 5.2 | Gartenbau..... | 124 |
| 5.2.1 | Obst- und Weinbau..... | 124 |
| 5.2.2 | Gemüsebau | 125 |
| 5.3 | Grünland und Feldfutter..... | 128 |
| 5.3.1 | Grünland..... | 128 |
| 5.3.2 | Feldfutter | 129 |
| 5.4 | Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere | 130 |
| 5.4.1 | Fütterungsstrategien..... | 130 |
| 5.4.2 | Tierhaltungsstrategien | 130 |
| 5.4.3 | Tierzuchtstrategien | 131 |
| 5.5 | Teichwirtschaft..... | 133 |
| 5.5.1 | Wassertemperatur | 133 |
| 5.5.2 | Wasserhaushalt..... | 133 |
| 5.5.3 | Fischkrankheiten/Parasiten | 133 |
| 5.6 | Betriebswirtschaftliche Effekte, Risikomanagement, Gesamtbewertung | 134 |
| 5.7 | Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten | 136 |
| 6 | Zusammenfassung | 143 |
| 7 | Literatur | 147 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|--|----|
| Abb. 2.1.1/1: | Anomalie der Jahresmitteltemperaturen von Sachsen im Zeitraum 1901 - 2007 gegenüber dem langjährigen Mittelwert 1962 - 1990..... | 8 |
| Abb. 2.1.1/2: | Jahresgang der mittleren Tagesmitteltemperatur; DWD-Station Leipzig-Holzhausen | 9 |
| Abb. 2.1.1/3: | Änderung der Temperatur an ausgewählten DWD-Stationen im Zeitraum 1991 - 2005 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990 | 9 |
| Abb. 2.1.2/1: | Projektion der Änderung der Temperatur in Sachsen im Zeitraum 2041 - 2050 gegenüber dem Referenzzeitraum 1981 - 2000; (B2 optimistisch, A2 pessimistisch) | 10 |
| Abb. 2.1.2/2: | Vergleich regionaler Projektionsmodelle hinsichtlich Erwärmungstendenzen in Sachsen | 11 |
| Abb. 2.1.2/3: | Temperatur im Referenzzeitraum 1981 - 2000 und Projektion der Änderung der Temperatur in Sachsen bis 2041 - 2050 mit WEREX IV A1B und WEREX III A2 | 12 |
| Abb. 2.1.3/1: | Dauer der thermischen Vegetationsperiode (Tage) in Sachsen oben für den Zeitraum 1961 - 2000 und unten eine Projektion für 2041 - 2050..... | 13 |
| Abb. 2.2.1/1: | Gleitendes 30-jähriges Mittel der Niederschlagshöhe der Vegetationsperiode April - Juni an der Station Görlitz im Zeitraum 1901 - 2008 | 14 |
| Abb. 2.2.1/2: | Mittlerer korrigierter Frühjahrsniederschlag [mm] in Sachsen, 1961 - 1990, 1991 - 2005..... | 15 |
| Abb. 2.2.1/3: | Mittlerer Jahresgang des Niederschlages [mm] (mit höhenstufen-abhängiger Standardabweichung) in ausgewählten Höhenstufen Sachsens für 1961 - 1990 und dessen Änderung in [%] für 1991 - 2005 vs. 1961 - 1990..... | 16 |
| Abb. 2.2.2/1: | oben: Niederschlagsänderung von 1980 - 1999 zu 2080 - 2099 aus dem Mittel von 21 Globalen Klimamodellen für das A1B-Emissionsszenario (DJF: Winter, JJA: Sommer), unten: Anzahl der Modelle mit Niederschlagszunahme | 17 |
| Abb. 2.2.3/1: | Änderung im Sachsenmittel des Niederschlages von 1991 - 2000 zu 2041 - 2050 (oben optimistisches Szenario B1, unten pessimistisches Szenario A2)..... | 18 |
| Abb. 2.2.3/2: | Langjähriges Mittel des Niederschlages im Sommerhalbjahr in Sachsen; oben: im Referenzzeitraum 1961 - 1990 in [mm]; unten: Projektion der Änderung in [%] bis 2021 - 2050 mit WEREX IV A1B..... | 19 |
| Abb. 2.3/1: | Abschätzung der Änderung der klimatischen Wasserbilanz in Sachsen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts | 20 |
| Abb. 2.5.2/1: | Meteorologische Trockenheit – Trend der Häufigkeit und Andauer in den Halbjahren (%)..... | 22 |
| Abb. 2.5.2/2: | Kumulatives Niederschlagsdefizit im Zeitraum April – September von 2003 und 2006 an den Stationen Görlitz und Dresden..... | 23 |
| Abb. 2.5.5/1: | Trend der Überschreitungshäufigkeit des 90 % (oben) und 99 % (unten) Quantils des Tagesniederschlages der Periode 1961 - 1990 im Sommerhalbjahr | 25 |
| Abb. 2.5.5/2: | Trend der Überschreitungshäufigkeit des 90 % (oben) und 99 % (unten) Quantils des Tagesniederschlages der Periode 1961 - 1990 im Winterhalbjahr | 26 |
| Abb. 3.1/1: | Ertragsentwicklung von Winterweizen [dt/ha] | 30 |
| Abb. 3.1/2: | Ertragsentwicklung von Wintergerste [dt/ha] | 31 |
| Abb. 3.1/3: | Ertragsentwicklung von Roggen [dt/ha] | 32 |
| Abb. 3.1/4: | Ertragsentwicklung von Winterraps [dt/ha] | 33 |
| Abb. 3.1/5: | Ertragsentwicklung von Sommergerste [dt/ha] | 34 |
| Abb. 3.1/6: | Ertragsentwicklung von Mais [dt/ha] | 35 |
| Abb. 3.1/7: | Ertragsentwicklung von Grünland [dt/ha]..... | 36 |
| Abb. 3.1/8: | Ertragsentwicklung von Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Sommergerste im Freistaat Sachsen zwischen 1955 und 2007 | 37 |
| Abb. 3.1/9: | Ertragsentwicklung von Winterraps, Silomais/CCM und Grünland im Freistaat Sachsen zwischen 1955 und 2007 | 38 |
| Abb. 3.2/1: | Relative Ertragsunterschiede 1976 - 2005 vs. 2021 - 2050 für Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps und Silomais als Mittel der WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO, regionalisiert für den Freistaat Sachsen (Variante 1)..... | 42 |
| Abb. 4.1.3/1: | Abschätzung der langjährigen mittleren klimatischen Wasserbilanz in der Region Chemnitz (1961 - 2100)..... | 54 |
| Abb. 4.1.3/2: | Abschätzung der Anzahl von Jahren mit negativer klimatischer Wasserbilanz innerhalb von 35-Jahreszeiträumen (Region Chemnitz, 1961 - 2100)..... | 54 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Abb. 4.1.3/3: | Abschätzung der Jahre mit einem Verhältnis von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration $< 0,8$ innerhalb von 35-Jahreszeiträumen (Region Chemnitz, 1961 - 2100) 43,51 = LBF-Nr. laut Bodentlas Sachsen | 55 |
| Abb. 4.1.3/4: | Abschätzung der Sickerwasserraten auf Ackerböden der Region Chemnitz (1961 - 2100, WEREX IV A1B normal) | 55 |
| Abb. 4.1.5/1: | Maiszünsler-Auftreten in Sachsen 1999 bis 2007 (im Rahmen der Schaderregerüberwachung, Boniturtermin Mitte September) | 60 |
| Abb. 4.3/1: | Regionale Betroffenheit (Niederschlagsverteilung und Temperaturänderung) des Futterbaus durch den Klimawandel..... | 66 |
| Abb. 4.5.1/1: | Mittlere Teichwassertemperatur an der Messstation Königswartha Juni bis August im Zeitraum 1959 bis 2007. Wassertemperaturmessung in 10 cm Wassertiefe. Leere Punkte: Werte bis einschließlich 1980, graue Punkte: Werte ab 1981. | 73 |
| Abb. 4.6.1.1/1: | Vorzüglichkeit der Fruchtarten nach Szenarien für Sachsen | 75 |
| Abb. 4.6.1.2/1: | Übersicht zur Ausgangssituation (Status quo) für die ökonomische Szenarienbewertung..... | 77 |
| Abb. 4.6.1.2/2: | Szenarienberechnungen für das Sächsische Heide- und Teichgebiet (Ost)..... | 78 |
| Abb. 4.6.1.2/3: | Szenarienberechnungen für das Sächsische Hügellgebiet..... | 79 |
| Abb. 4.6.1.2/4: | Szenarienberechnungen für das Mittelsächsische Lössgebiet | 80 |
| Abb. 4.6.1.2/5: | Szenarienberechnungen für das Gebirgsvorland und Gebirge | 81 |
| Abb. 4.6.1.2/6: | Veränderungen des Gesamt-DB in den Standortregionen nach den Szenarienberechnungen in % | 82 |
| Abb. 4.6.2/1: | Zusammenhang zwischen ertrags- und einkommensschwachen Jahren | 87 |
| Abb. 5.1.3/1: | Kostenvergleich der Verfahren Bodenbearbeitung mit Pflug, konservierend und Direktsaat..... | 101 |
| Abb. 5.1.4/1: | Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbedarf für Sachsen (entsprechend der Düngeverordnung)..... | 104 |
| Abb. 5.1.4/2: | Rangfolge der C-Sequestrierung durch spezielle Bewirtschaftungsmaßnahmen und Anbaumstellung im Vergleich zum klimabedingten C_{org} -Abbau bis zum Jahr 2050 auf Grundlage der Ausgangssituation im Jahr 2000 (Var. 11 = 0,0 % C_{org}) im Durchschnitt von Sachsen | 106 |
| Abb. 5.1.6.1/1: | Erkundete Grundwasserdargebote | 112 |
| Abb. 5.1.6.1/2: | Übersichtskarte von Stauanlagen in Sachsen | 114 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Tab. 2.1.1/1: | Änderungsrate der langjährigen Jahresmitteltemperatur von Sachsen im Zeitraum 1961 – 2007..... | 8 |
| Tab. 3.2/1: | Bis 2050 für den Freistaat Sachsen angenommener jährlicher Ertragstrend für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais..... | 39 |
| Tab. 3.2/2: | Ertragsänderungen für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais in 2021 - 2050 gegenüber 1976 - 2005 für Variante 1, Variante 2 und Variante 3, jeweils für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO (Freistaat Sachsen)..... | 41 |
| Tab. 3.2/3: | Klimaänderungsbedingte relative Ertragsschwankungen bezogen auf den durchschnittlichen Landesertrag für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO (Freistaat Sachsen) | 43 |
| Tab. 3.2/4: | Absolute und relative Ertragsänderungen in 2021 - 2050 im Vergleich zu 1976 - 2005 für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais für drei Simulationsvarianten getrennt je für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO sowie aufgesplittet in die einzelnen Standortregionen. | 44 |
| Tab. 4.1.1/1: | Entwicklung der Erträge und der Stabilität vorherrschenden Kulturarten im Freistaat Sachsen in drei Zeitabschnitten von 1955 bis 2007 | 49 |
| Tab. 4.6.1.1/1: | Änderung der Vorzüglichkeit der Fruchtarten für das optimistische Szenario | 76 |
| Tab. 4.6.2/1: | Veränderung des Ordentlichen Ergebnisses zzgl. Personalaufwand je Arbeitskraft auf Grund der prognostizierten Deckungsbeitragsänderungen in Sachsen insgesamt und den drei Wirtschaftsgebieten | 89 |
| Tab. 5.1.4/1: | Strategie der Düngung mit Phosphor und Kalium in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse des Bodens | 104 |
| Tab. 5.1.6.1/1: | Erkundete Grundwasserdargebote (Stand 1994) | 110 |
| Tab. 5.1.6.1/2: | Rohwasserreserven in Stauanlagen der LTV / Stand: März 2008 | 113 |
| Tab. 5.1.6.3/1: | Angaben zur Wirtschaftlichkeit der Beregnung in der Literatur..... | 119 |
| Tab. 5.1.6.3/2: | Geschätzte Auswirkung der Beregnung auf das finanzielle Ergebnis von Kartoffeln und Winterweizen | 120 |
| Tab. 5.2.1/1: | Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Obst- und Weinbau..... | 125 |
| Tab. 5.2.2/1: | Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Gemüse- und Erdbeeranbau | 126 |

1 Vorwort



Die Landwirtschaft als flächenbezogener Wirtschaftszweig wird durch den Klimawandel in besonderem Maße beeinflusst. Steigende Temperaturen im Jahresverlauf, Veränderungen in der Niederschlagshöhe und -verteilung sowie die Zunahme der Sonnenscheindauer und der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wirken sich auf Wachstum und Ertrag der Kulturpflanzen aus.

Regionalen Klimaprojektionen zufolge werden im Mittel für Sachsen bis 2050 die für den Pflanzenbau wichtigen Sommerniederschläge abnehmen und die Winterniederschläge leicht zunehmen.

Infolge des signifikanten Temperaturanstiegs bis 2050 wird die klimatische Wasserbilanz als Maß für das potenzielle Wasserdargebot von Westsachsen nach Ost- und Nordsachsen zunehmend negative Werte annehmen. Vor allem auf leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität in bereits trockenen Gebieten sind gravierende Auswirkungen auf den Pflanzenbau zu erwarten.

Darüber hinaus gibt es bereits deutliche Anzeichen für häufiger auftretende Witterungsextreme wie lang anhaltende Trocken- und Hitzeperioden, Starkniederschläge und Hagel, die das Wachstum der Kulturpflanzen beeinträchtigen.

Andererseits begünstigen die steigenden CO₂-Gehalte der Atmosphäre die Photosynthese und die Wassereffizienz der angebauten Fruchtarten. Auch eine verlängerte Vegetationszeit wirkt sich positiv auf das Pflanzenwachstum aus, soweit das Wasserangebot ausreicht.

Der Klimawandel wird in den nächsten Jahrzehnten auch dann weiter voranschreiten, wenn weltweit drastische Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen umgehend eingeleitet werden.

Auf Grund dessen ist es für die Landwirtschaft besonders wichtig, rechtzeitig geeignete Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu erarbeiten, zu erproben und umzusetzen.

Gleichwohl muss auch die Landwirtschaft einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz leisten, insbesondere durch Reduktion der Treibhausgasemissionen, den Erhalt von Kohlenstoffspeichern und die Erzeugung von Biomasse zur energetischen und stofflichen Nutzung.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel. Folgende Zielstellungen werden dabei verfolgt:

Auf der Grundlage regionaler Klimadiagnosen und Klimaprojektionen werden zunächst die Auswirkungen des Klimawandels auf die sächsische Landwirtschaft ermittelt und beschrieben.

- Mit modellgestützten Ertragssimulationen wird für ausgewählte Fruchtarten die wahrscheinliche Ertragsentwicklung für Standortregionen bis 2050 abgeschätzt.
- Auf der Basis der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels werden Anpassungsmöglichkeiten für die sächsische Landwirtschaft aufgezeigt und auf der Grundlage von Experteneinschätzungen qualitativ bewertet.

Die nachfolgenden Projektionen und Bewertungen beziehen sich auf den Betrachtungszeitraum der Gegenwart (einschließlich der letzten Jahrzehnte) bis zur Jahrhundertmitte. Klimaprojektionen zufolge muss in der zweiten Jahrhunderthälfte mit besonders starken Klimaänderungen gerechnet werden. Jedoch ist ein so langer bis zur Jahrhundertwende reichender

Betrachtungszeitraum weder für Planungsprozesse der Landwirtschaft, die kaum über einen Zeitraum bis 2030 hinausgehen, noch für konkrete Planungen von Umsetzungsmaßnahmen in Politik und Verwaltung relevant. Andererseits sind kürzere Betrachtungszeiträume (zum Beispiel bis 2020) nicht sinnvoll, da klimatische Aussagen mindestens 30-jährige Betrachtungszeiträume erfordern und zwischen einzelnen Dekaden erhebliche, nicht im Voraus abschätzbare Schwankungen auftreten können.

Die vorliegende Ausarbeitung des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, an der auch externe Partner mitwirkten, bildet die fachliche Grundlage für die vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft erstellte Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Diese soll vor allem dazu dienen, der sächsischen Landwirtschaft bei ihrem erforderlichen Anpassungsprozess Anregungen zu geben, Handlungsschwerpunkte aufzuzeigen und Unterstützung anzubieten.



Norbert Eichkorn
Präsident des Sächsischen Landesamtes
für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

2 Regionaldifferenzierte Klimaprojektion für Sachsen

Im September 2008 wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft die Regionale Klimaanalyse „Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse“ herausgegeben. Die detaillierte Analyse klimatologischer Größen in Sachsen in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2005 können die generellen Aussagen in diesem Kapitel ergänzen.

2.1 Temperatur

2.1.1 Zeitliche Charakteristik der seit 1961 beobachteten Veränderung

Die seit 1961 beobachteten Temperaturveränderungen in Sachsen lassen sich wie folgt beschreiben:

- Seit Beginn der 1960er-Jahre stark ausgeprägte Erwärmungstendenz in Sachsen mit einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur von ca. 1,35 K (Abb. 2.1.1/1).
- Erwärmungsraten von anfangs ca. 0,2 K auf gegenwärtig ca. 0,4 K pro Dekade (Tab. 2.1.1/1; eine weitere Erwärmung mit 0,4 K pro Dekade würde im Flächenmittel von Sachsen die Jahresmitteltemperatur bis 2050 um 2 K auf ca. 11°C ansteigen lassen).
- 1998 – 2007 war die wärmste Dekade in Sachsen seit 1901 (Tab. 2.1.1/1).

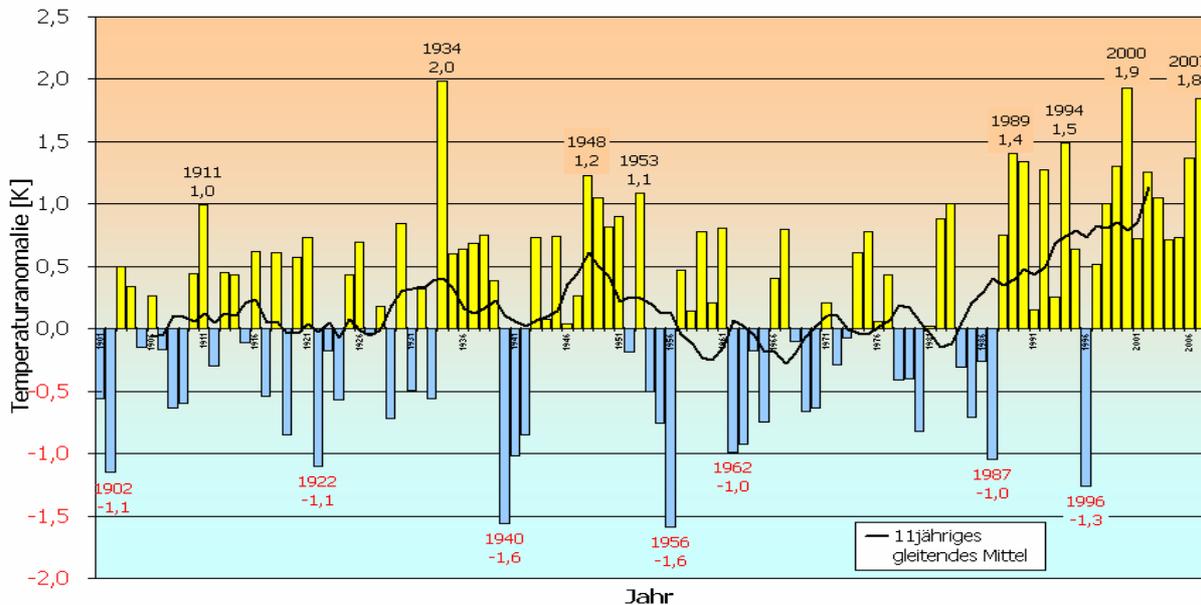


Abb. 2.1.1/1: Anomalie der Jahresmitteltemperaturen von Sachsen im Zeitraum 1901 - 2007 gegenüber dem langjährigen Mittelwert 1962 – 1990

Tab. 2.1.1/1: Änderungsrate der langjährigen Jahresmitteltemperatur von Sachsen im Zeitraum 1961 – 2007

| Dekade | Mitteltemperatur in Sachsen [°C] | Temperaturänderung Rate / kumulativ [K/Dek.] / [K] | Projektion für Sachsen 2041 - 2050 [°C] |
|-------------|----------------------------------|--|---|
| 1961 - 1970 | 7,67 | - / - | - |
| 1971 - 1980 | 7,90 | 0,23 / 0,23 | 10,15 |
| 1981 - 1990 | 8,20 | 0,30 / 0,53 | 10,50 |
| 1991 - 2000 | 8,62 | 0,42 / 0,95 | 11,10 |
| 2001 - 2007 | 9,00 | 0,40 / 1,35 | 11,00 |

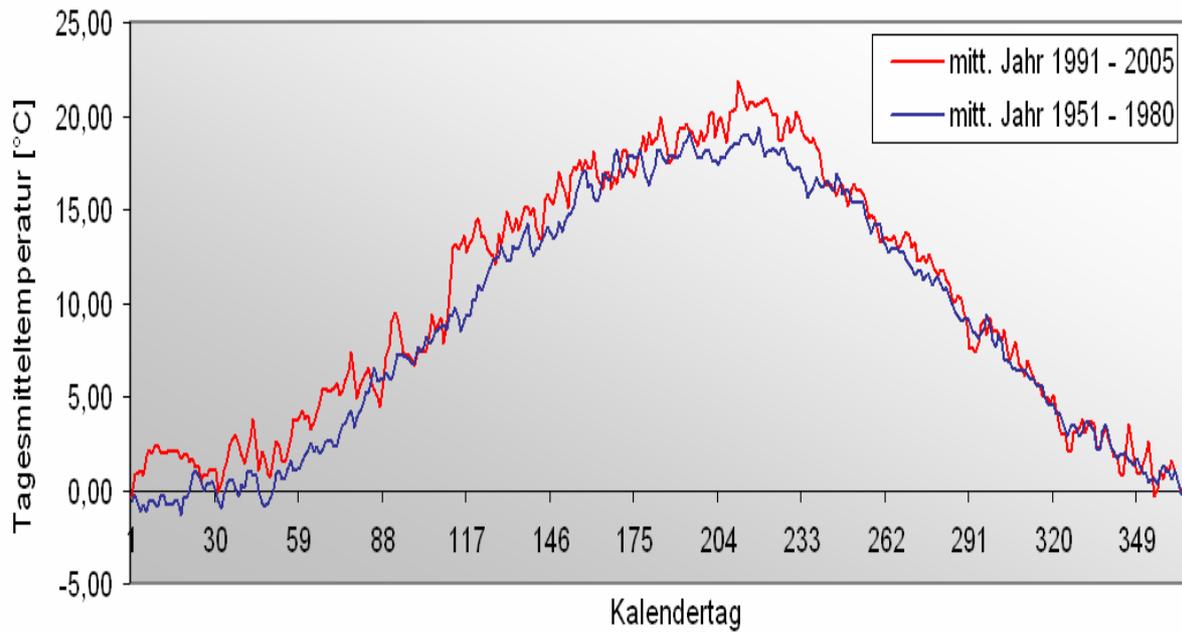


Abb. 2.1.1/2: Jahresgang der mittleren Tagesmitteltemperatur; DWD-Station Leipzig-Holzhausen

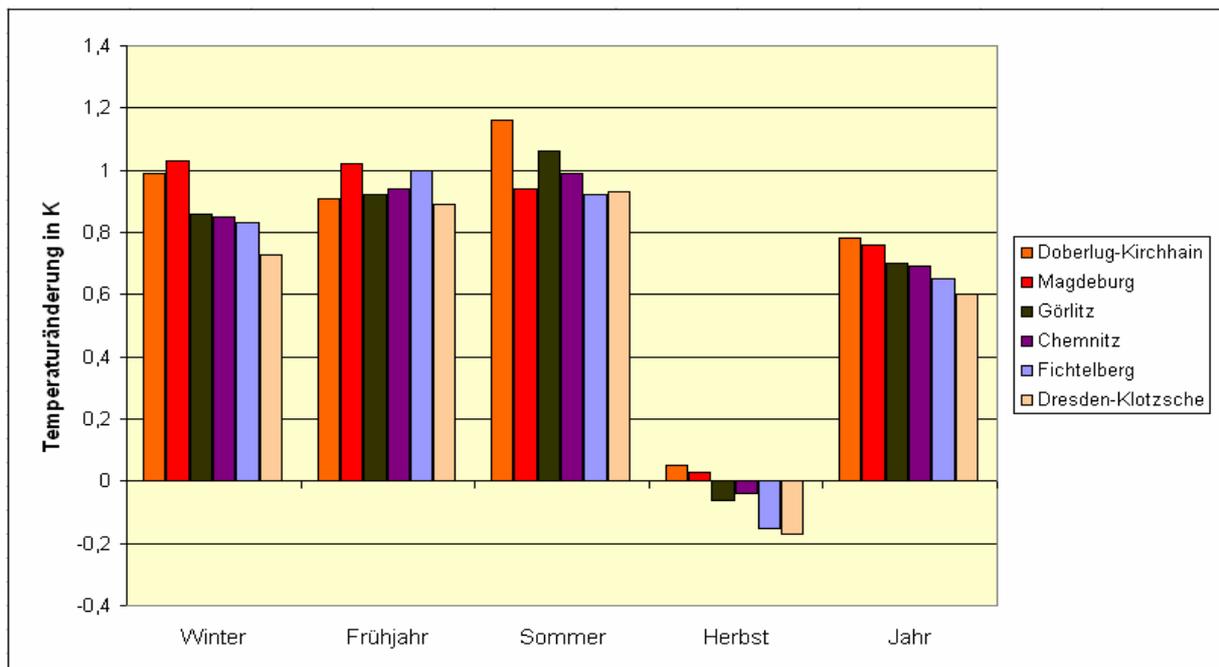


Abb. 2.1.1/3: Änderung der Temperatur an ausgewählten DWD-Stationen im Zeitraum 1991 - 2005 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990

Abb. 2.1.1/2 zeigt am Beispiel der Station Leipzig-Holzhausen anhand zweier Referenzperioden aus dem Zeitraum 1951 - 2005, wie sich der jahreszeitlich unterschiedliche Erwärmungstrend in Sachsen seit Mitte des 20. Jahrhunderts generell vollzog.

Regionale Unterschiede sind am Beispiel ausgewählter DWD-Stationen anhand der Temperaturänderung im Zeitraum 1991 - 2005 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990 in Abb. 2.1.1/3 dargestellt.

2.1.2 Projektion der Temperaturveränderungen

Für den Zeitraum bis 2050 ergeben sächsische Projektionen mit dem Modell WEREX III in allen Jahreszeiten Erwärmungsraten, welche relativ unabhängig vom verwendeten Emissionsszenario sind (Abb. 2.1.2/1). Erwärmungen im Jahresmittel um 2 K sind zur Mitte des 21. Jahrhunderts nicht ausgeschlossen, wobei interne Klimaschwankungen und die Klimasensitivität des Modells davon abweichende Veränderungen bedeuten können (vgl. Abb. 2.1.2/2). Gleiches trifft auf die jahreszeitlich unterschiedlichen Erwärmungsraten zu.

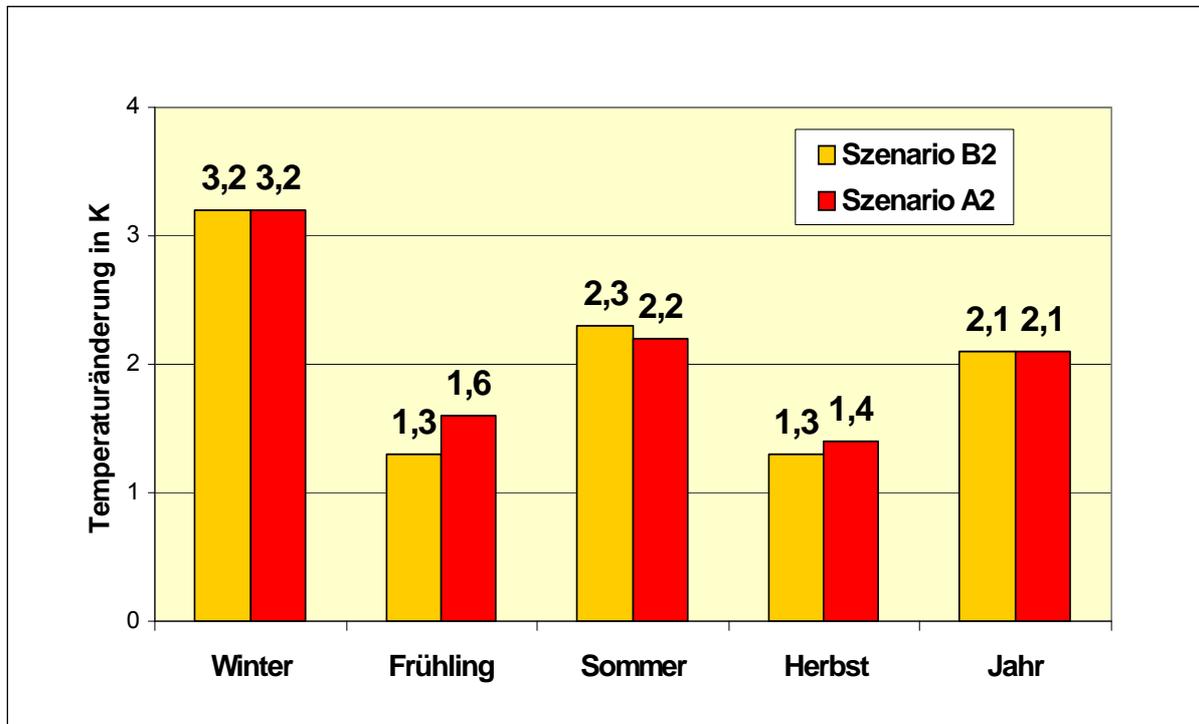


Abb. 2.1.2/1: Projektion der Änderung der Temperatur in Sachsen im Zeitraum 2041 - 2050 gegenüber dem Referenzzeitraum 1981 - 2000; (B2 optimistisch, A2 pessimistisch)

Beschreibung der Emissions-Szenarien

A2: Die A2-Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellen.

B2: Die B2-Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischen Fortschritt.

A1B: Die A1-Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung und rascher Einführung neuer und effizienter Technologien. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die Gruppe A1B unterstellt eine ausgewogene Nutzung aller Energiequellen.

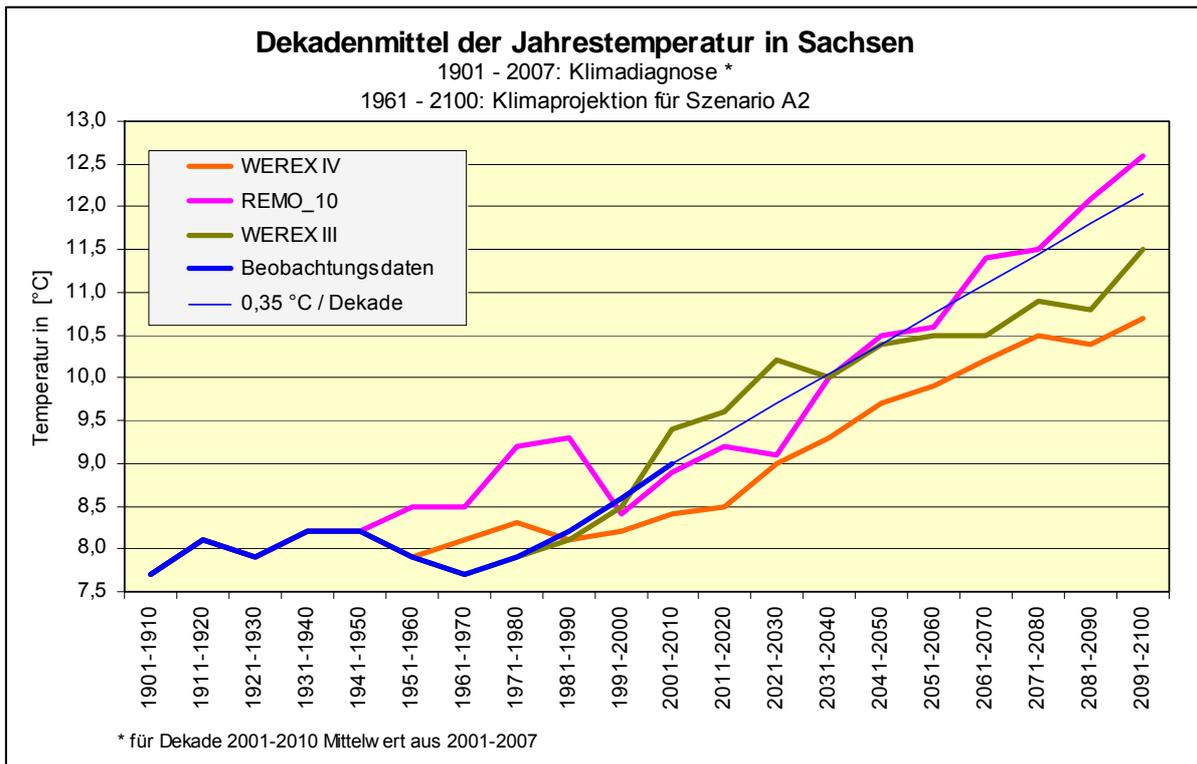


Abb. 2.1.2/2: Vergleich regionaler Projektionsmodelle hinsichtlich Erwärmungstendenzen in Sachsen

In Abb. 2.1.2/3 wird verdeutlicht, welcher Unterschied im Temperaturanstieg bis 2041 - 2050 unabhängig vom Emissionsszenario aus der Auswahl der Klimaprojektion resultieren kann. Der Temperaturunterschied zum Kontrollklima der Referenzperiode liegt für den Ansatz WEREX IV (ECHAM5) bei 0,9 K, für WEREX III (ECHAM 4) bei 1,9 K. Die tatsächliche Temperaturänderung ist nicht prognostizierbar und es kann ein Anstieg von mehr als 1,9 K nicht ausgeschlossen werden.

Bei markanter Erwärmungstendenz in allen Jahreszeiten zeichnen sich deutliche Signale einer projizierten Zunahme der Andauer von „Hitzwellen“ und der Abnahme von „Kälteepisoden“ ab. Veränderungen der Extreme sind besonders klar am Rückgang der Frost- und Eis-tage, aber auch an einer Zunahme der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte zu erkennen.

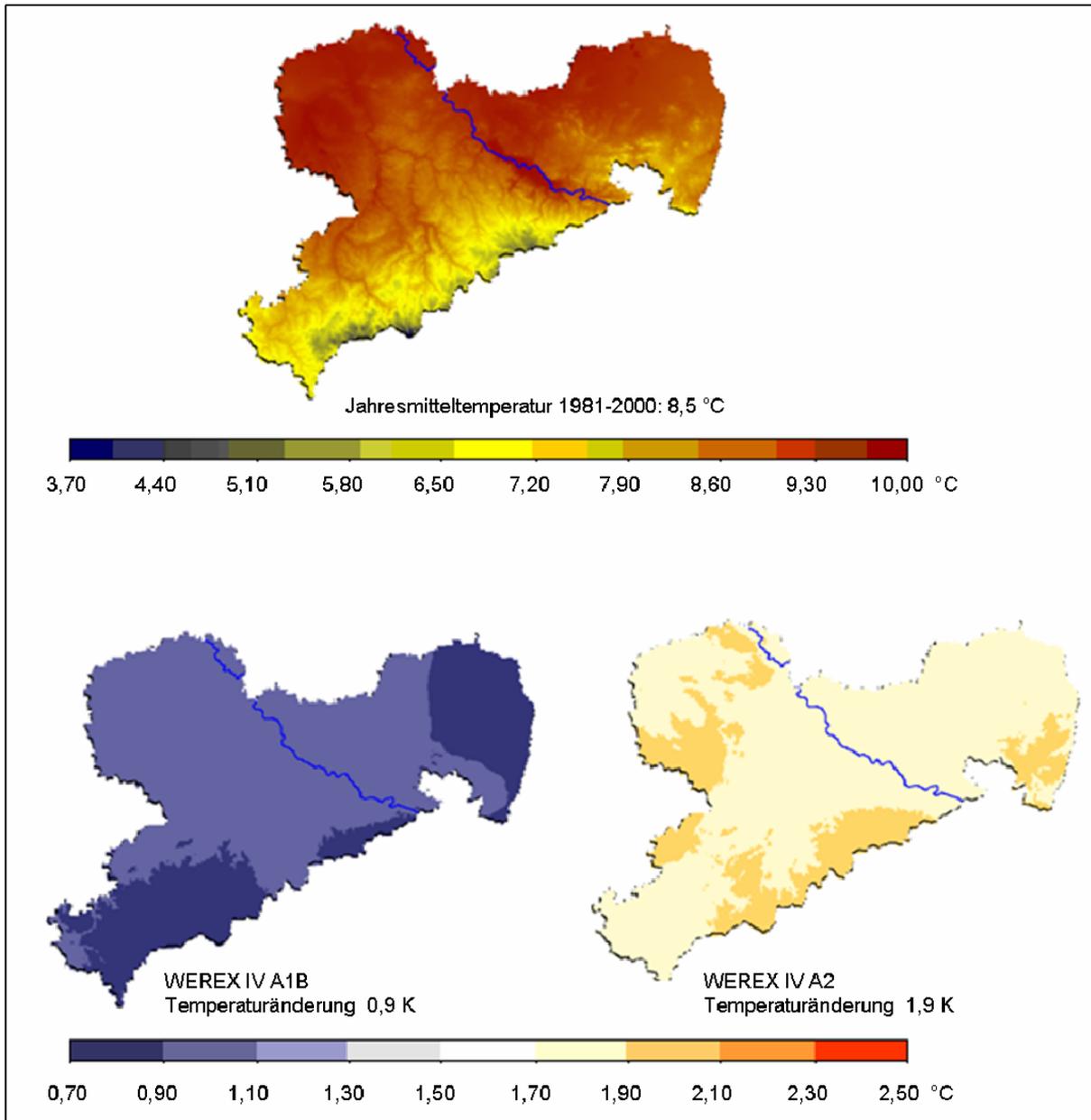


Abb. 2.1.2/3: Temperatur im Referenzzeitraum 1981 - 2000 (oben) und Projektion der Änderung der Temperatur in Sachsen bis 2041 - 2050 mit WEREX IV A1B (unten links) und WEREX III A2 (unten rechts)

2.1.3 Mittlere Dauer der thermischen Vegetationsperiode

In dem F&E-Vorhaben „KLIVEG“ wurde die Änderung der thermischen Vegetationsperiode auf Basis von Beobachtungsdaten und der Klimaprojektionen Werex III analysiert.

Bei hoher annueller Variabilität begann im Zeitraum 1961 - 2000 die thermische Vegetationsperiode im Mittel 2,6 Tage früher je Dekade und endete 0,3 Tage eher je Dekade, so dass sie um ca. 2,2 Tage je Dekade länger wurde.

Die bereits beobachtete Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode wird sich künftig fortsetzen. Höhenabhängig sind Zunahmen der thermischen Vegetationsperiode um 50 Tage im Tiefland bzw. um bis zu 5 Tage in den obersten Kammlagen bis Mitte des Jahrhunderts (Abb. 2.1.3/1) zu erwarten.

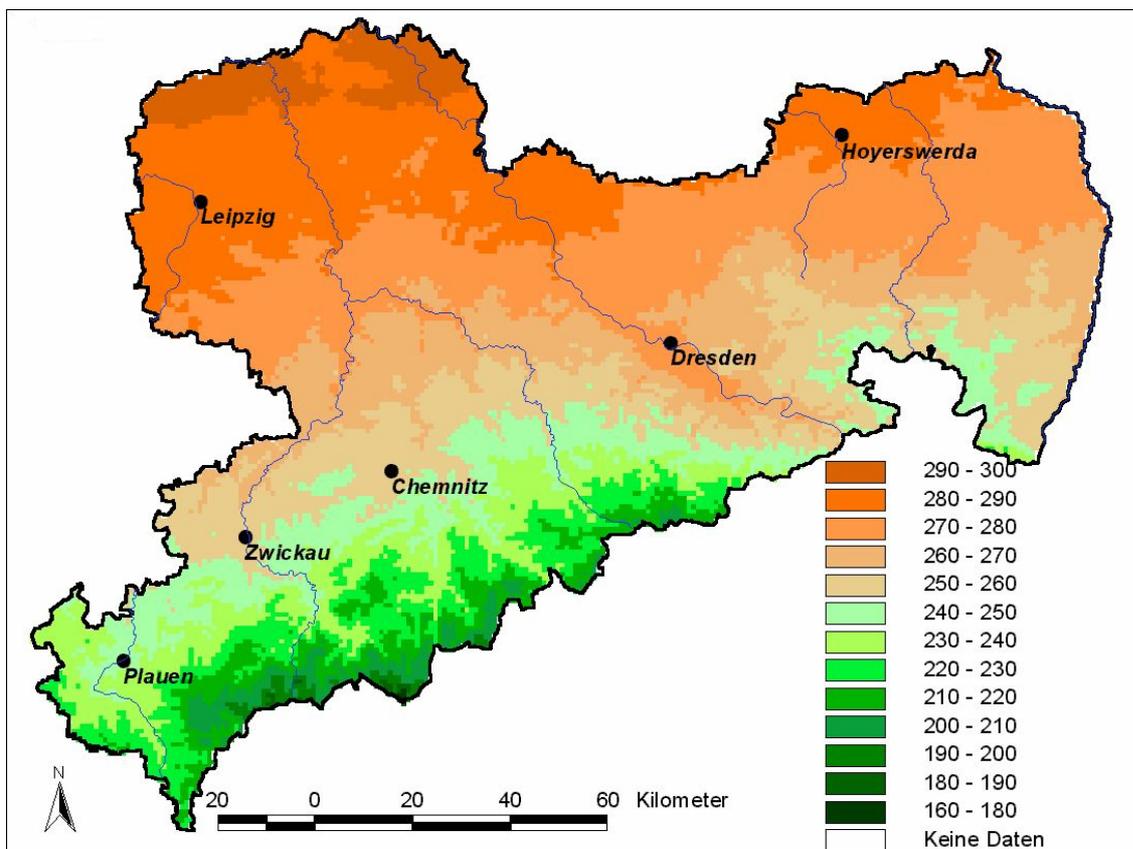
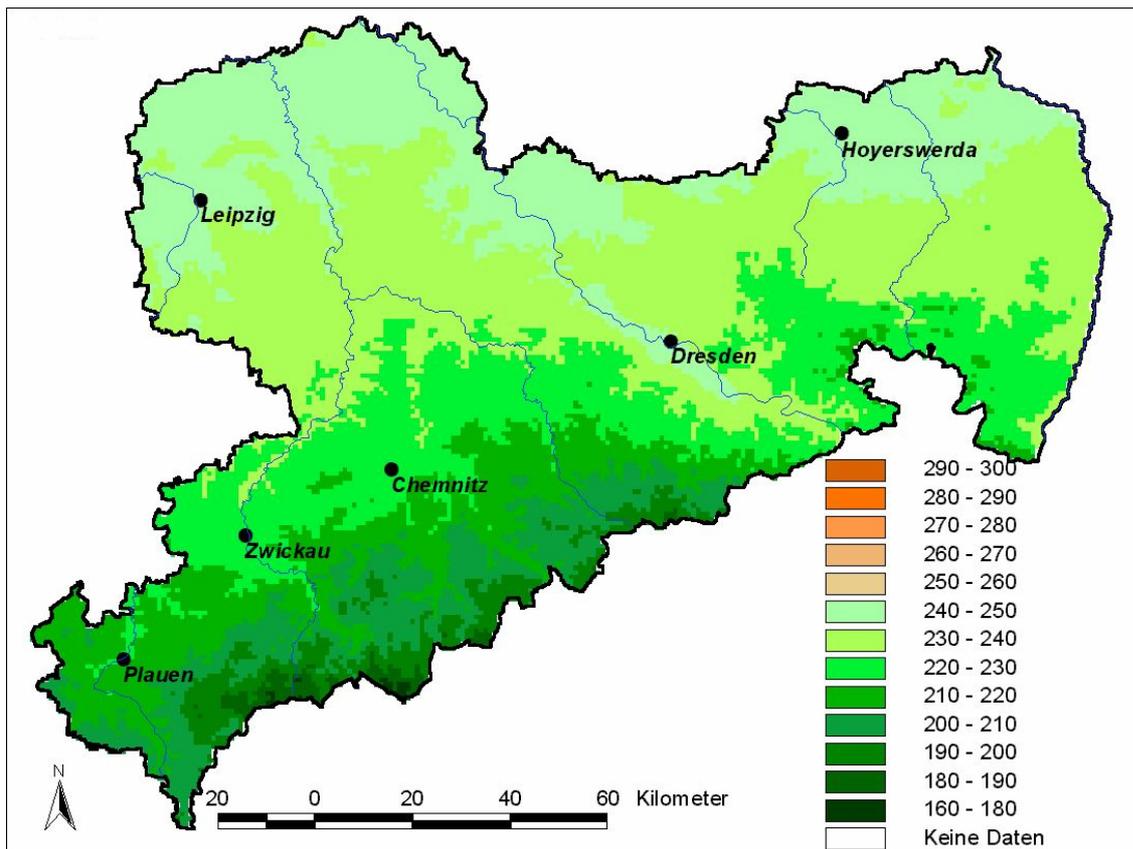


Abb. 2.1.3/1: Dauer der thermischen Vegetationsperiode (Tage) in Sachsen oben für den Zeitraum 1961 - 2000 und unten eine Projektion für 2041 - 2050

2.2 Niederschlag

Allgemeine Bemerkungen:

- Niederschläge weisen kurz-, mittel- und langfristige Schwankungen auf. Um diese Variabilität bewerten zu können, sind langfristige Beobachtungsreihen notwendig.
- Die natürliche dekadische Variabilität des Niederschlages lässt Zu- und Abnahmen von 5 bis 10 % zu, ohne dass ein signifikanter Trend vorliegen muss.
- Beobachtete Trends können nicht in die Zukunft extrapoliert werden.
- Der zeitliche und räumliche Verlauf modellgestützter Projektionen zukünftiger Niederschlagsverhältnisse in Sachsen darf nur als eine Möglichkeit verstanden werden. Zur Abschätzung der Unsicherheit in den Niederschlagsprojektionen wäre die Regionalisierung weiterer globaler Zirkulations-(Klima-)modelle für Sachsen mit dem Modellansatz WEREX notwendig.

2.2.1 Niederschlagstrends in verschiedenen Zeiträumen von 1901 bis 2005

In der für das Pflanzenwachstum wichtigen Vegetationsperiode 1 (April - Mai) treten gegenwärtig die markantesten Rückgänge des Niederschlages auf (Abb. 2.2.1/1).

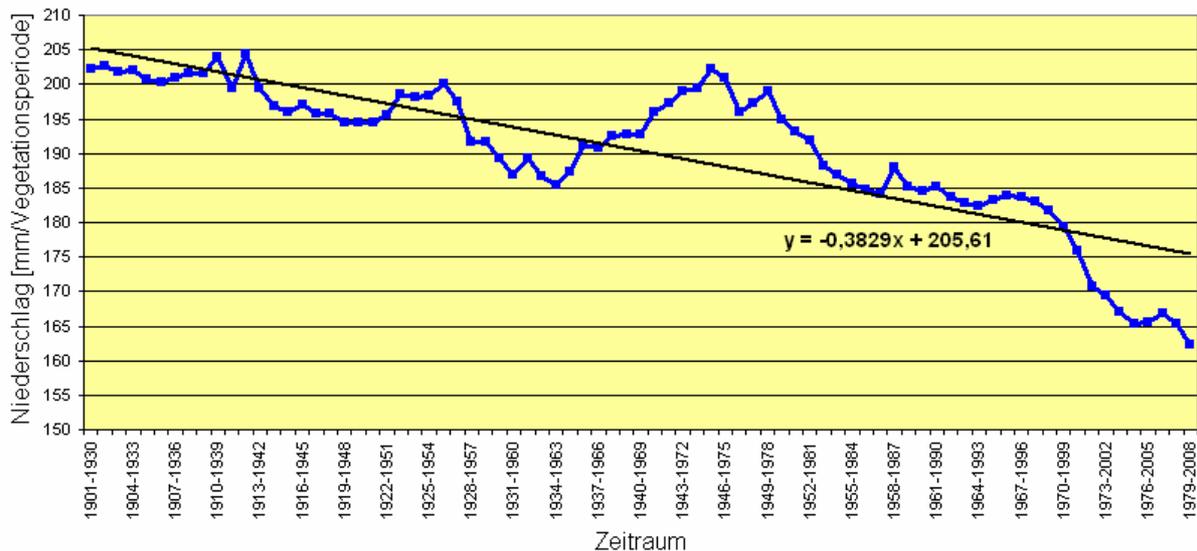
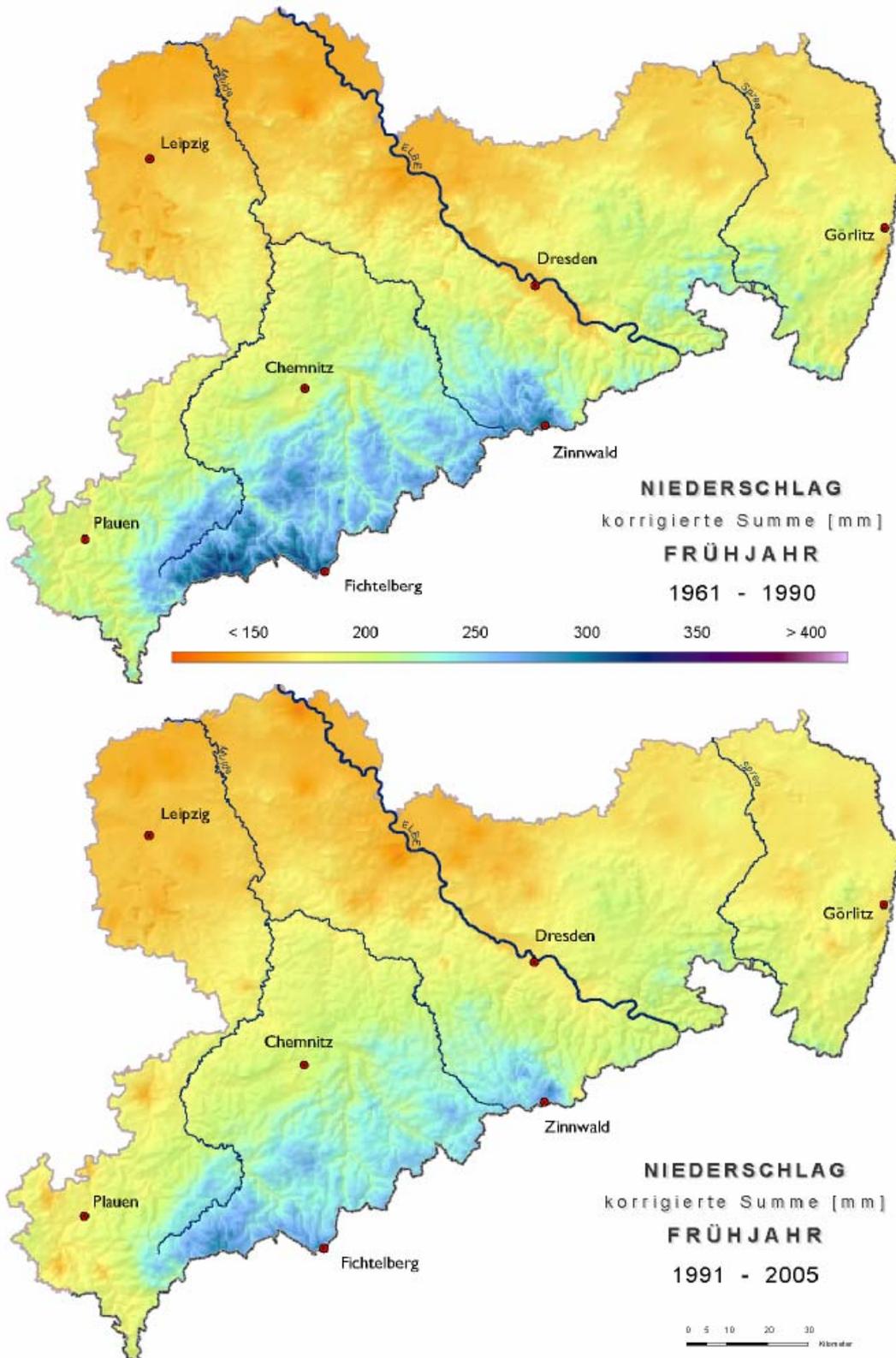


Abb. 2.2.1/1: Gleitendes 30-jähriges Mittel der Niederschlagshöhe der Vegetationsperiode April - Juni an der Station Görlitz im Zeitraum 1901 - 2008

Aktuelle Untersuchungen der Niederschlagstrends in Sachsen (Abb. 2.2.1/3) zeigen, dass gegenwärtig die Monate März und Juli eine Zunahme und April und Juni eine Abnahme der Niederschläge aufweisen. Zunehmende Trockenheit im Sommerhalbjahr steht dabei wegen sich ändernden räumlichen und zeitlichen Verteilungsmustern nicht im Widerspruch zu gegenwärtigen Tendenzen zunehmender Sommerniederschläge. Die Winterniederschläge lassen gegenwärtig keine eindeutige Tendenz erkennen.

Die für die Landwirtschaft besonders bedeutsamen Frühjahrsniederschläge werden in ihrer räumlichen Verteilung in Abb. 2.2.1/2 dargestellt. Die Niederschläge in den Frühjahrsmonaten März, April und Juni sind im Mittel durch einen Rückgang geprägt. In den Jahren 2007 und 2008 wiesen die Monate April und Mai dabei jeweils Extreme in beide Richtungen auf.



**Abb. 2.2.1/2: Mittlerer korrigierter Frühjahrsniederschlag [mm] in Sachsen, 1961 - 1990 (oben), 1991 - 2005 (unten);
Quelle: Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse, 2008**

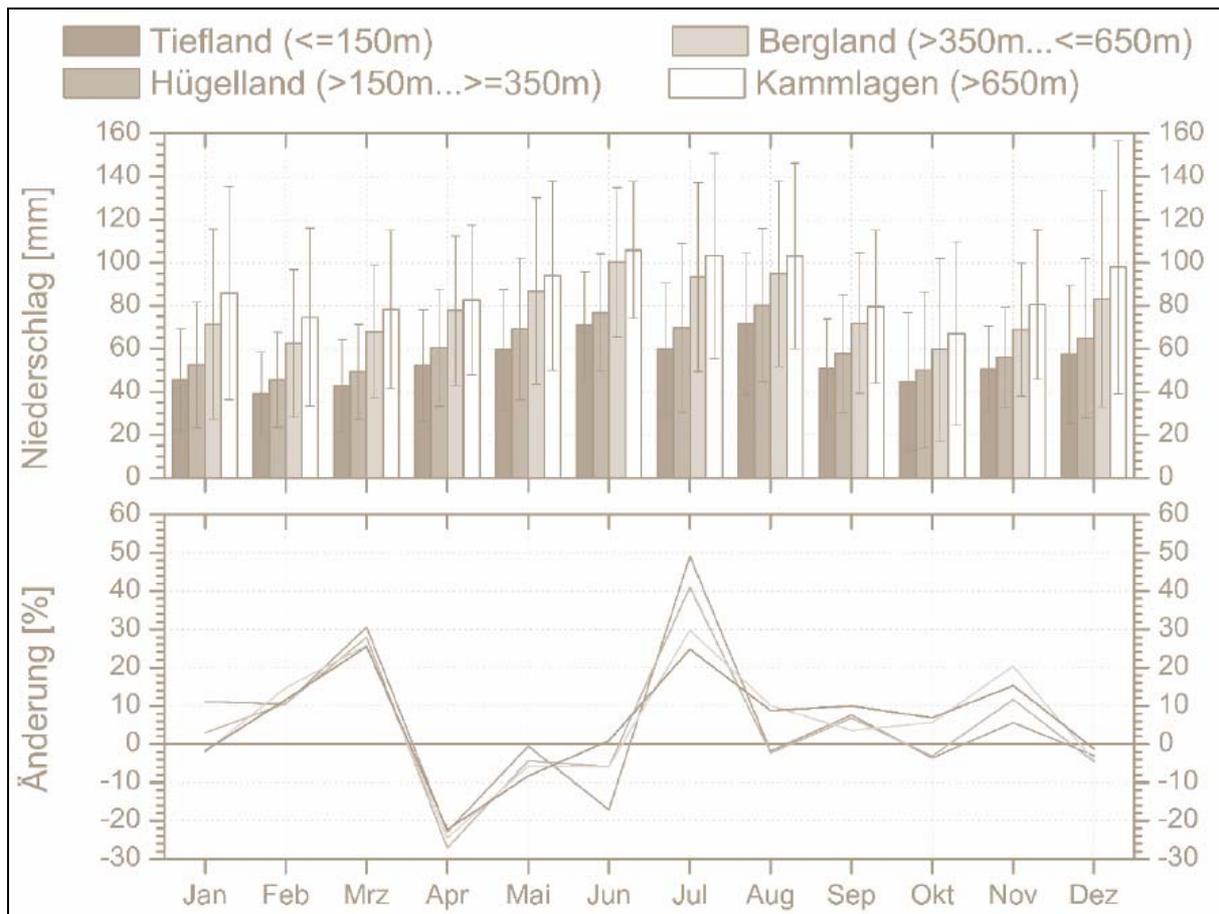


Abb. 2.2.1/3: Mittlerer Jahresgang des Niederschlages [mm] (mit höhenstufen-abhängiger Standardabweichung) in ausgewählten Höhenstufen Sachsens für 1961 - 1990 (oben) und dessen Änderung in [%] für 1991 - 2005 vs. 1961 - 1990; Basis: korrigierte Monatssummen; Quelle: Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse, 2008

2.2.2 Europaprojektionen bis 2100

Abb. 2.2.2/1 zeigt die Ergebnisse der Simulation von 21 Klimamodellen zu den zu erwartenden Niederschlagsänderungen in Europa bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Im Gegensatz zu Süd- und Nordeuropa haben Modellberechnungen der zukünftigen Veränderungen des Niederschlages für den mitteleuropäischen Raum die größte Unsicherheit. Im Mittel über 21 Modelle ist im Raum Deutschland im Sommer eine Abnahme um 5 - 10 % und im Winter eine Zunahme um 10 - 15 % zu erwarten. Im Jahresmittel über alle 21 Modelle liegt die Zunahme des mittleren Jahresniederschlages für Norddeutschland bei 5 - 10 % und für Süddeutschland bei 0 - 5 %.

Die räumlich differenzierte Abschätzung für Europa ist für eine genaue regionale Bewertung sowohl innerhalb Sachsens als auch Deutschlands vollkommen unzureichend, da die aus den Änderungen atmosphärischer Zirkulationsmuster resultierenden Veränderungen der Niederschlagsmenge regional durch die spezifischen orografischen Verhältnisse erheblich modifiziert werden. Das gilt insbesondere für Sachsen.

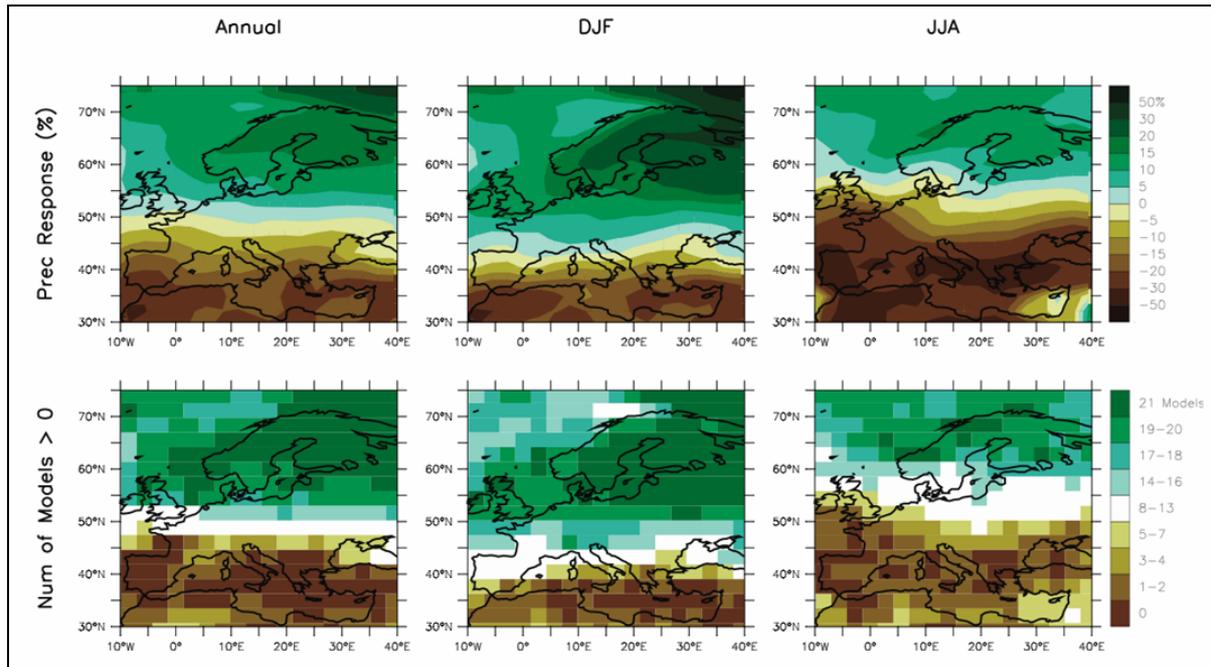


Abb. 2.2.2/1: oben: Niederschlagsänderung von 1980 - 1999 zu 2080 - 2099 aus dem Mittel von 21 Globalen Klimamodellen für das A1B-Emissionsszenario (DJF: Winter, JJA: Sommer), unten: Anzahl der Modelle mit Niederschlagszunahme (Quelle: IPCC)

2.2.3 Projektion des relativen Niederschlagstrends in Sachsen bis 2050

Regionalisierungen des globalen Klimamodells ECHAM 5 mit dem regionalen Klimamodell WETTREG / WEREX IV projizieren im Mittel über Sachsen bis 2050 eine tendenzielle Abnahme des Sommerniederschlages (Abb. 2.2.3/2) und eine geringfügige Zunahme der Winterniederschläge. Dabei prägt sich der jahreszeitliche Gegensatz des Niederschlagstrends bei dem pessimistischen Szenario A2 stärker aus als im optimistischen Emissionsszenario B1 (Abb. 2.2.3/1).

Die Änderung des mittleren Jahresniederschlages lässt jedoch bei beiden Emissionsszenarien Abnahmen im Bereich bis 5 % erwarten.

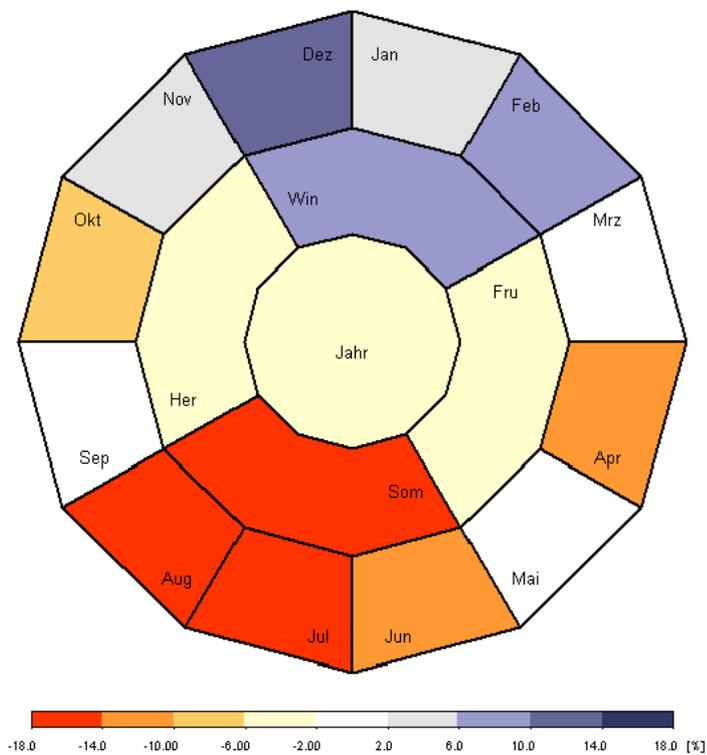
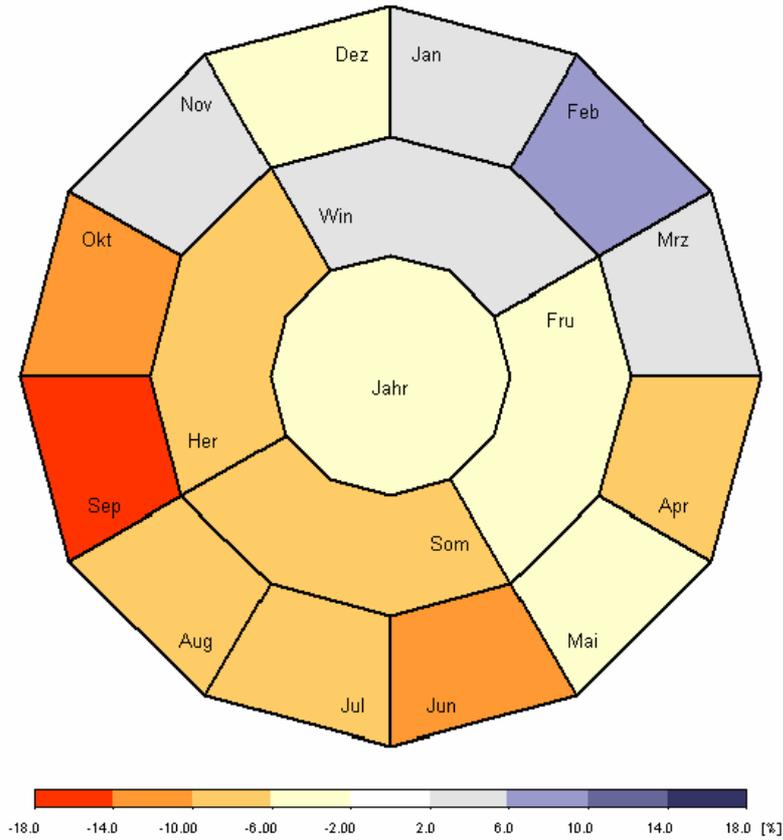
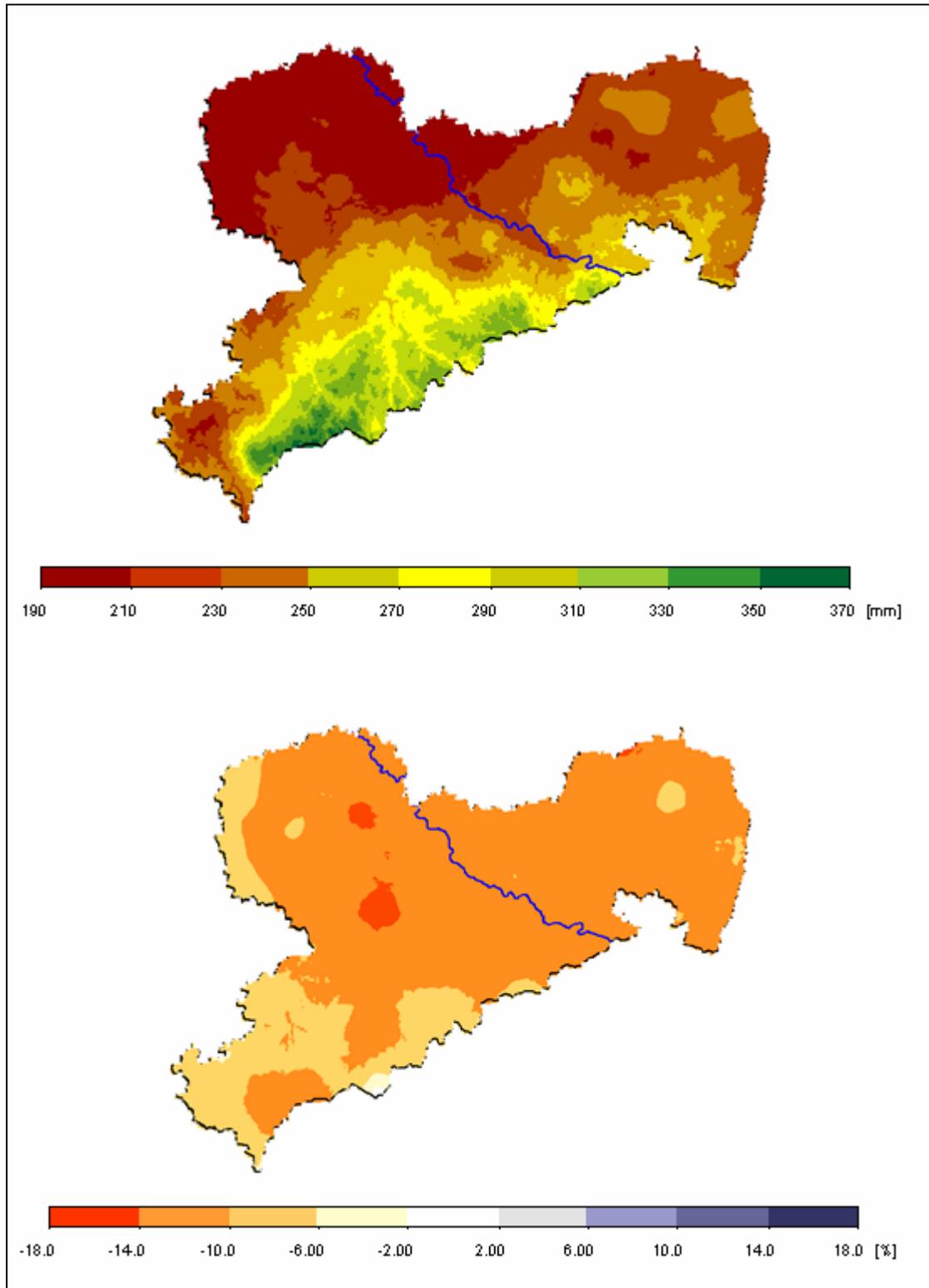


Abb. 2.2.3/1: Änderung im Sachsenmittel des Niederschlages von 1991 - 2000 zu 2041 - 2050 (oben optimistisches Szenario B1, unten pessimistisches Szenario A2)



**Abb. 2.2.3/2: Langjähriges Mittel des Niederschlages im Sommerhalbjahr in Sachsen;
oben: im Referenzzeitraum 1961 – 1990 in [mm];
unten: Projektion der Änderung in [%] bis 2021 – 2050 mit WEREX IV
A1B**

2.3 Klimatische Wasserbilanz

Den stärksten Einfluss auf den Klimawandel hat die signifikante Temperaturzunahme, so dass die Analyse der Trends und Variabilität im Niederschlag alleine die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt nicht beschreiben können. Abschätzungen zur Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzielle Verdunstung) ergeben für Sachsen das Bild einer sich von Westen nach Osten verschärfenden Abnahme der klimatischen Wasserbilanz (Abb. 2.3/1). Dabei würden sich Änderungen gleicher Größenordnung am Fichtelberg anders auswirken als im Raum Oschatz.

Zu beachten ist, dass die modellbasierten Aussagen nur genereller Art sein können und die berechneten langfristigen Mittelwerte die Größenordnung möglicher Veränderungen darstellen.

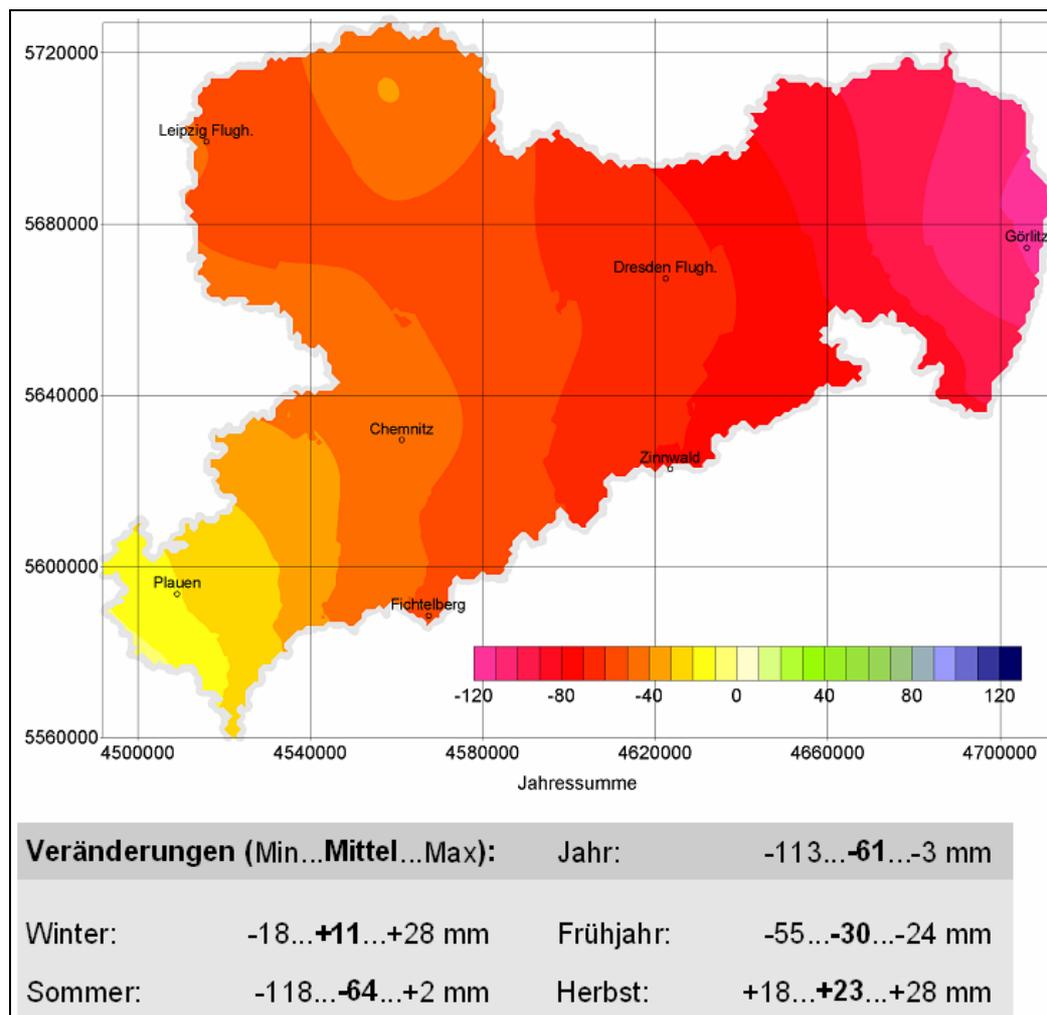


Abb. 2.3/1: Abschätzung der Änderung der klimatischen Wasserbilanz in Sachsen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts

2.4 Kernaussagen der Klimaprojektion bis 2100

Ein Blick über den Zeithorizont 2050 hinaus ist geboten, da projizierte Änderungen auch deutlich eher eintreten können.

Unter dem Emissionsszenario A2 des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zeichnet sich für Sachsen folgende Entwicklung bis zum Jahr 2100 ab:

- Zunahme besonders lang anhaltender Hitzewellen im Sommerhalbjahr
- Gleichzeitige Zunahme von Trockenperioden (Häufigkeit, Andauer) und Starkniederschlägen bei genereller Abnahme des Niederschlages im Sommerhalbjahr
- Die Erwärmungstendenz zeigt sich in allen Jahreszeiten (modellabhängig am stärksten im Winter oder Sommer mit über 4 Grad Celsius, am schwächsten im Frühjahr)
- Zunahme der Dürreereignisse im Sommerhalbjahr; dramatische Zunahme lang anhaltender Dürreperioden und damit erhebliche Verschärfung gegenwärtig zu beobachtender Tendenzen
- Der Rückgang der Niederschläge findet vor allem in Regionen statt, die a priori sehr wenig Niederschlag aufweisen (Nord- und Ostsachsen; südliches Brandenburg; Gebiete in Sachsen-Anhalt und Thüringen)
- Fortschreitende Abnahme der Kälteepisoden im Winterhalbjahr

Strenge Winter, wie man sie aus der Vergangenheit kennt, werden in den letzten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts in Sachsen nicht mehr auftreten.

2.5 Extremereignisse

2.5.1 Witterungsereignisse der Jahre 2006 und 2007

Der Zeitraum 2006/2007 ist aus klimatologisch-statistischer Sicht von einer Reihe für Sachsen außergewöhnlicher Witterungsverläufe geprägt:

- 16. Juni 2006: extreme Hagelschauer über einem ungewöhnlich weit reichenden Raum (Leipzig – Zwickau)
- Juli 2006: der bisher aus historischen Messreihen für Deutschland (ab 1761) nachweisbar wärmste und besonders in Ostsachsen für Sommermonate zusätzlich äußerst ungewöhnlich trockene Monat (Dürre und Hitze)
- September 2006 bis Juni 2007: Abfolge von Monaten mit stark übernormalen Monatsmitteltemperaturen
- Herbst 2006, Winter 2006/2007, Frühjahr 2007: jeweils wärmste Jahreszeit seit Beginn vorliegender Messreihen 1761
- Winter 2006/2007: Wegfall des Winters mit dem bisher wärmsten Januar in Deutschland.
- 18. Januar 2007: Orkantief Kyrill mit einer über ganz Deutschland verlaufenden Gewitterfront von ungewöhnlicher Ausdehnung, Stärke und Geschwindigkeit
- 23. März bis 7. Mai 2007: 45-tägige Phase mit großräumig, nahezu vollständig ausbleibendem Niederschlag sowie für den Zeitraum ungewöhnlich sommerlichen Temperaturen

Mit den Witterungsextremen in Sachsen zum Beginn des 21. Jahrhunderts wird deutlich, dass Klimaprojektionen langfristige Trends vorhersagen, die überraschende Dynamik der gegenwärtigen Entwicklung aber nur bedingt wiedergeben. Um einer Fehlinterpretation von Klimaprojektionen zu begegnen, sind begleitende, diagnostische Untersuchungen anhand langer Klimadatenreihen inklusive der aktuellen Ereignisse notwendig.

Die aktuellen Klimaprojektionen für Sachsen ermöglichen bislang keine zuverlässigen Aussagen zur Entwicklung der Extremereignisse. Im Zusammenhang mit den bislang beobachteten Trends hinsichtlich Trockenheit, Hochwasser oder Spätfrösten werden jedoch künftig wesentlich bedeutsamere Ertrags- und Ausfallrisiken für die Landwirtschaft erwartet.

2.5.2 Meteorologische Trockenheit

Parallel zu den Tendenzen der Änderung der Niederschlagsmengen in den meteorologischen Halbjahren weist auch die meteorologische Trockenheit (mind. 11 d mit ≤ 1 mm/d Niederschlag) klare Tendenzen auf. Die halbjährlichen und regional differenzierten Veränderungen werden aus Abb. 2.5.2/1 ersichtlich.

In jüngster Vergangenheit traten 2003 und 2006 besonders trockene Sommerhalbjahre auf, in denen außerdem hohe Temperaturen gemessen wurden. An den Stationen Dresden und Görlitz reichte das kumulative Niederschlagsdefizit bis zu 160 mm (Abb. 2.5.2/2). Über den Witterungsverlauf und die Ausprägung von Extremen für die Zukunft können Abschätzungen nur tendenziellen Charakter haben.

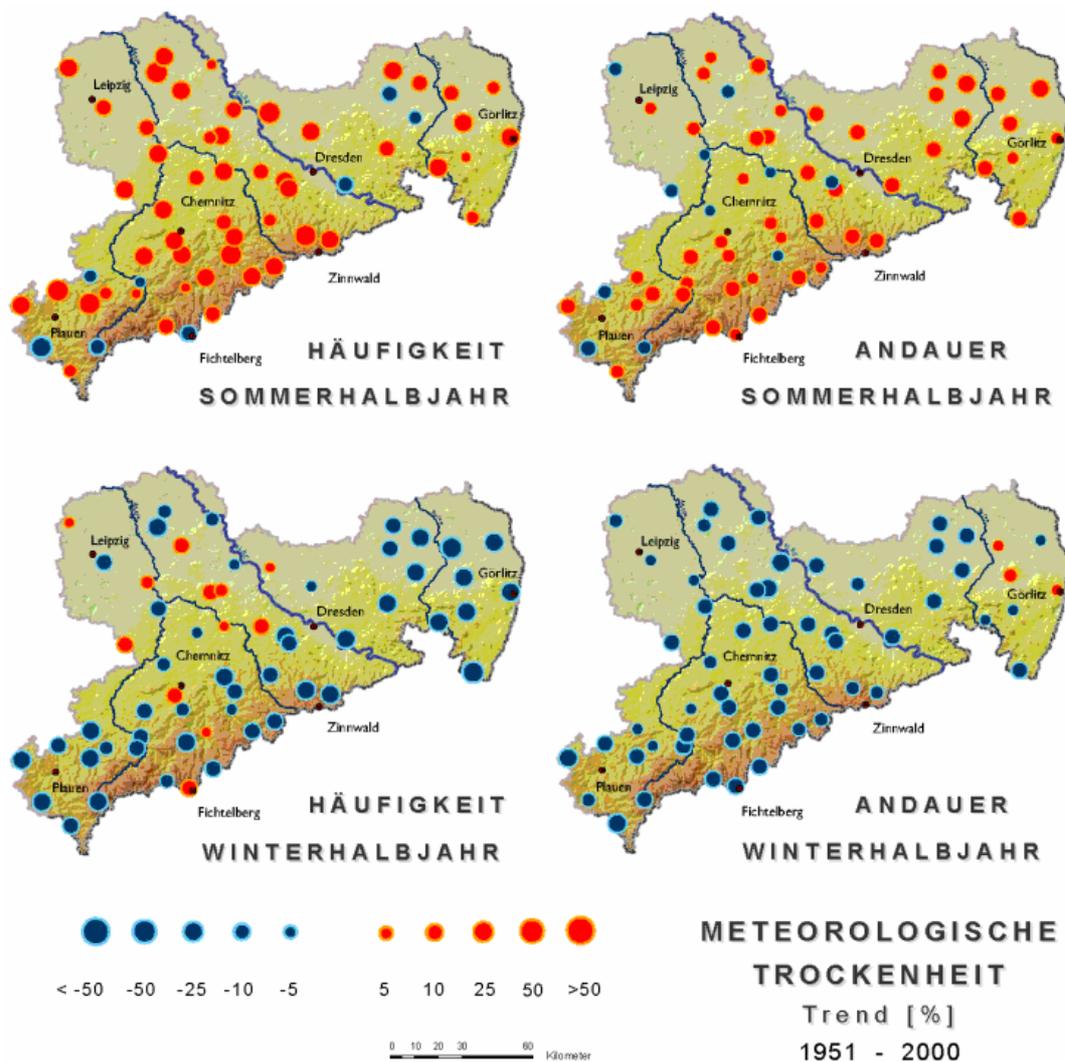


Abb. 2.5.2/1: Meteorologische Trockenheit – Trend der Häufigkeit und Dauer in den Halbjahren (%)

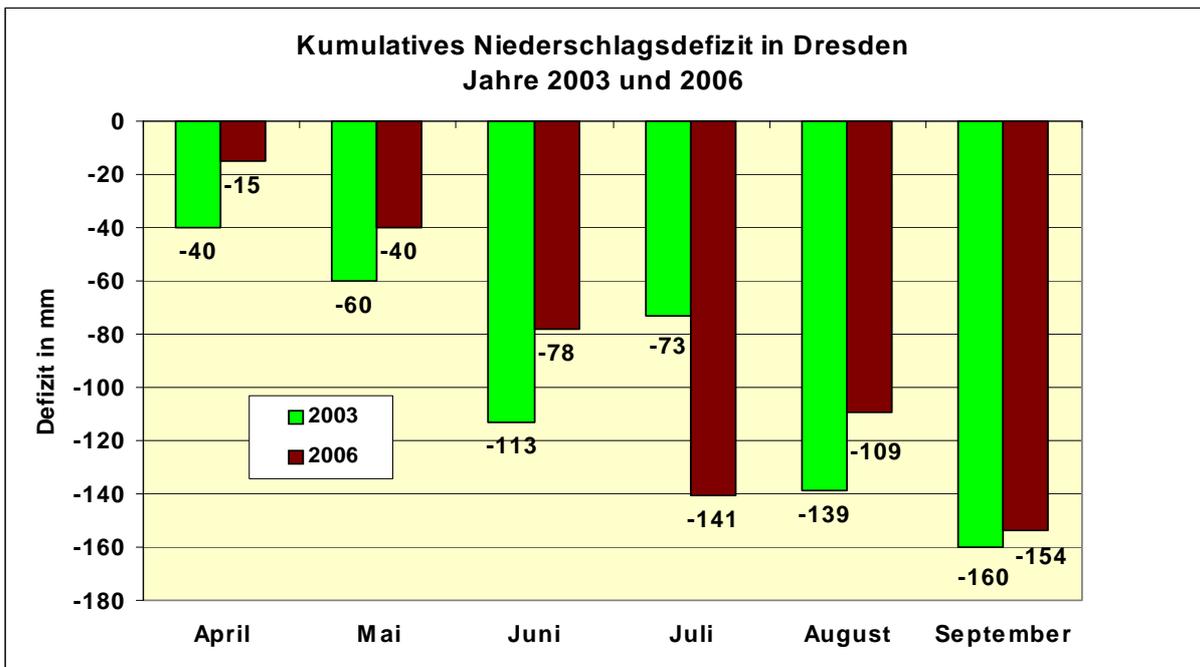
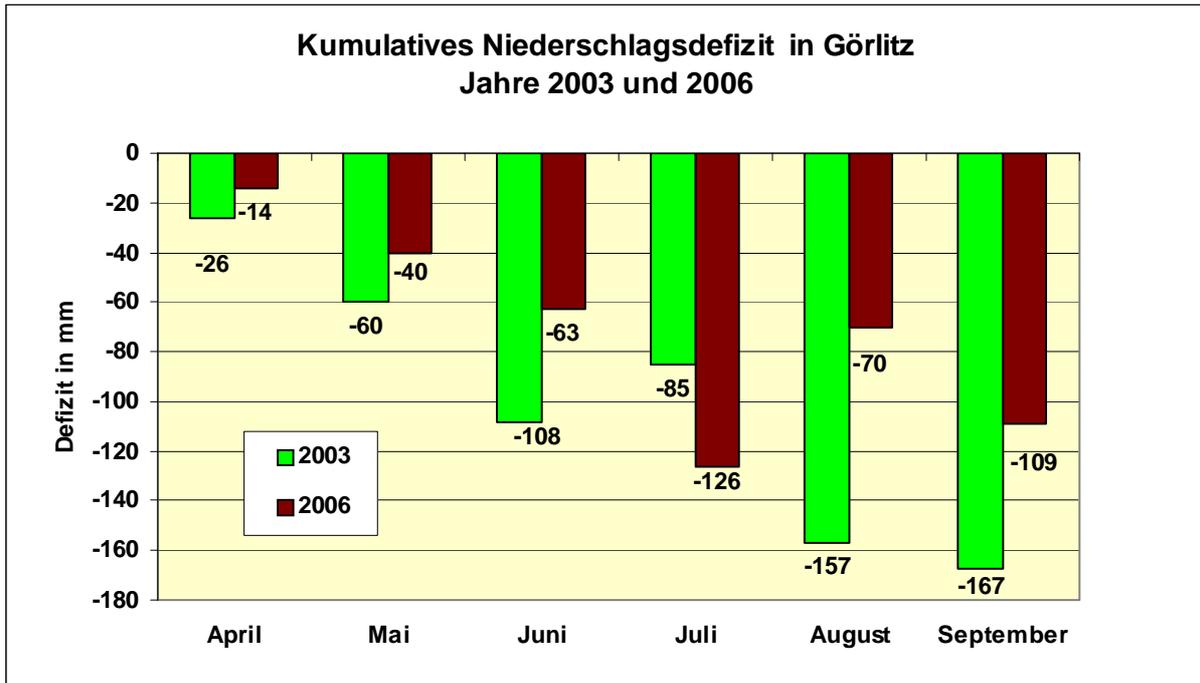


Abb. 2.5.2/2: Kumulatives Niederschlagsdefizit im Zeitraum April – September von 2003 und 2006 an den Stationen Görlitz und Dresden

2.5.3 Hochwasser – meteorologische Aspekte

Sommerhochwasser: Die Sommerhochwasser 1997 (Oder), 2001 (Weichsel), 2002 (Elbe) und 2005 (Bayern/Schweiz) stehen im Einklang mit einer Zunahme der Großwetterlage „Trog Mitteleuropa“ (Vb-Wetterlage) in den letzten Jahrzehnten und zeigen ebenfalls, dass Sachsen als eine betroffene Region einen zu kleinen Raumausschnitt darstellt, um belastbare Aussagen zu veränderten Häufigkeiten zu treffen. Generell wird mit der Erwärmungstendenz die Saison für Sommerhochwässer zukünftig länger. Das regional- und witterungsabhängige Aufeinandertreffen von ausreichender Vorfeuchte im Boden und extremen

Niederschlagsmengen lässt sich nicht vorhersagen, so dass nur prinzipielle Abschätzungen eines zukünftigen Hochwasserpotenziales für den Sommer möglich sind.

Winter- und Frühjahrshochwasser: Wichtig sind die zukünftige Veränderung der Regen- und Schneeanteile am Winterniederschlag, sowie die Tendenz der Höhe des Winterniederschlags. Schneeschmelzhochwässer, wie z. B. im Februar und April 2006, sind weiterhin von ausreichender Winterkälte abhängig.

2.5.4 Spätfröste

Untersuchungen im Zeitraum 1961 - 2005 zum Auftreten der letzten negativen Minimumtemperatur nach dem Winter als Indikator für Spätfrost ergab kaum Änderungen im frühen letzten Spätfrost (Mitte März) und im mittleren Auftreten des letzten Spätfrostes (je nach Region um Mitte April), jedoch eine Tendenz zu 1 bis 3 Wochen vorgerückten späten letzten Spätfrost (Ende April) in den entsprechenden Jahren. Das steht im Einklang mit einem ausgeprägten Temperatursprung Ende April zu Beginn der 1990er-Jahre im Jahresgang der Tagesmitteltemperatur (Abb. 2.1.1/2). Dass es sich dabei um eine vorübergehende Singularität handelt, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Obwohl sich mit dem positiven Temperatortrend des Frühjahres auch die phänologischen Phasen verfrühen, können daraus keine pauschalen Aussagen zu Veränderungen der Spätfrostgefahr für die Vegetation getroffen werden.

2.5.5 Starkniederschlag

Untersuchungen innerhalb der letzten Jahrzehnte ergaben, dass Starkniederschläge in Sachsen zunehmend weniger durch stabile, großräumige, atmosphärische Zirkulationsmuster hervorgerufen werden, sondern im Rahmen kleinräumiger, konvektiver Niederschlagsereignisse. Die Zahl von Tagen mit Starkniederschlägen hat während des Sommerhalbjahres überwiegend abgenommen, während für das Winterhalbjahr an den meisten Stationen ein Zunahmetrend nachzuweisen ist (Abb. 2.5.5/1 bzw. 2.5.5/2).

Die Ergebnisse der Starkniederschlagstrendanalysen sind jedoch von der Größe des gewählten Schwellenwertes abhängig. So zeigen sich für die größten untersuchten Schwellenwerte von 20 mm Tagesniederschlagshöhe und Überschreitungshäufigkeit des 99 %-Quantils auch im Sommerhalbjahr verstärkt Stationen mit positiven Trends, v. a. im Südwesten Sachsens. Extreme Niederschlagsereignisse, wie sie durch das 99 %-Quantil beschrieben werden, treten so selten auf, dass der Trend statistisch wenig abgesichert ist.

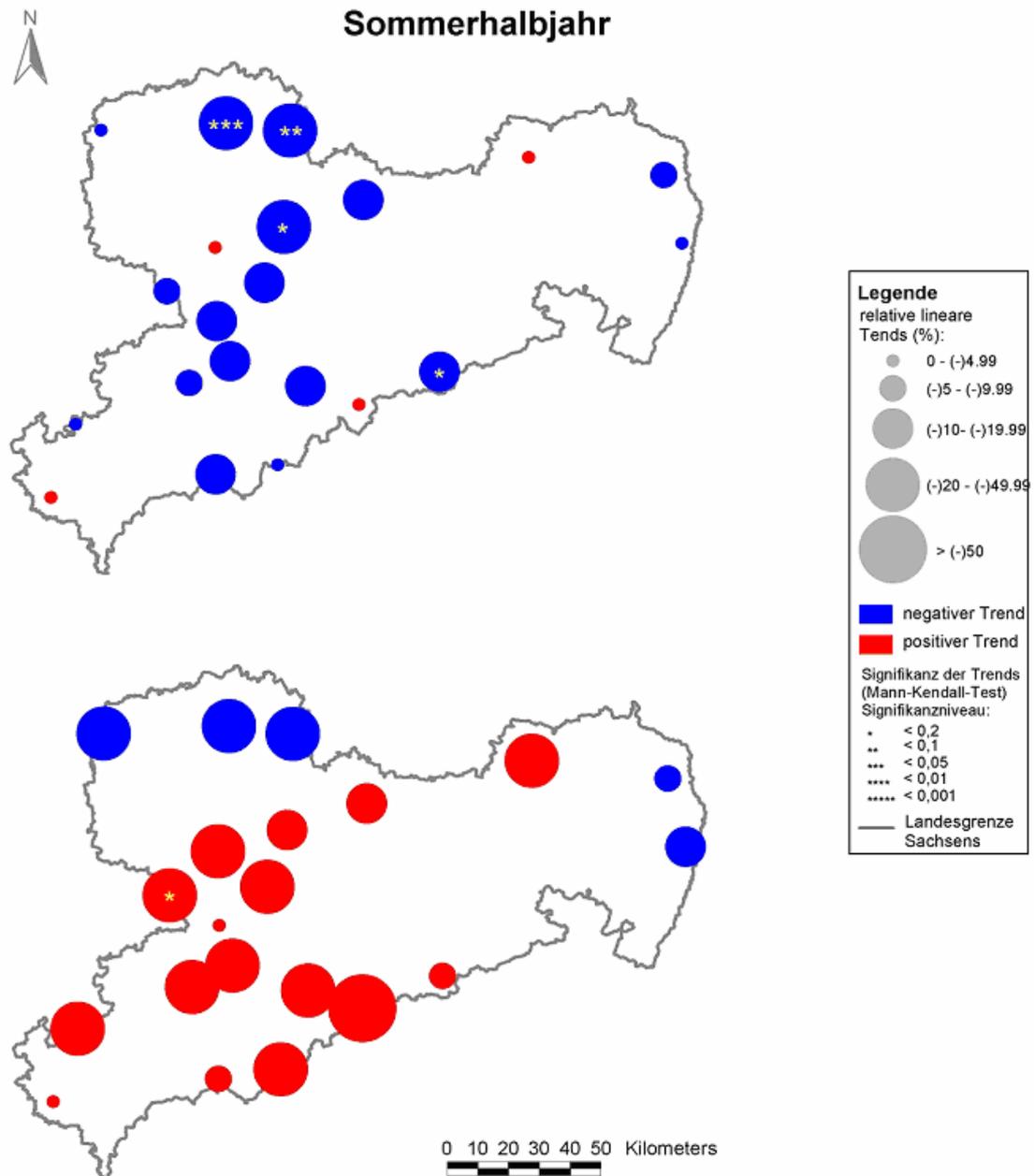


Abb. 2.5.5/1: Trend der Überschreitungshäufigkeit des 90 % (oben) und 99 % (unten) Quantils des Tagesniederschlages der Periode 1961 - 1990 im Sommerhalbjahr (Quelle: HÄNSEL et al. 2005)

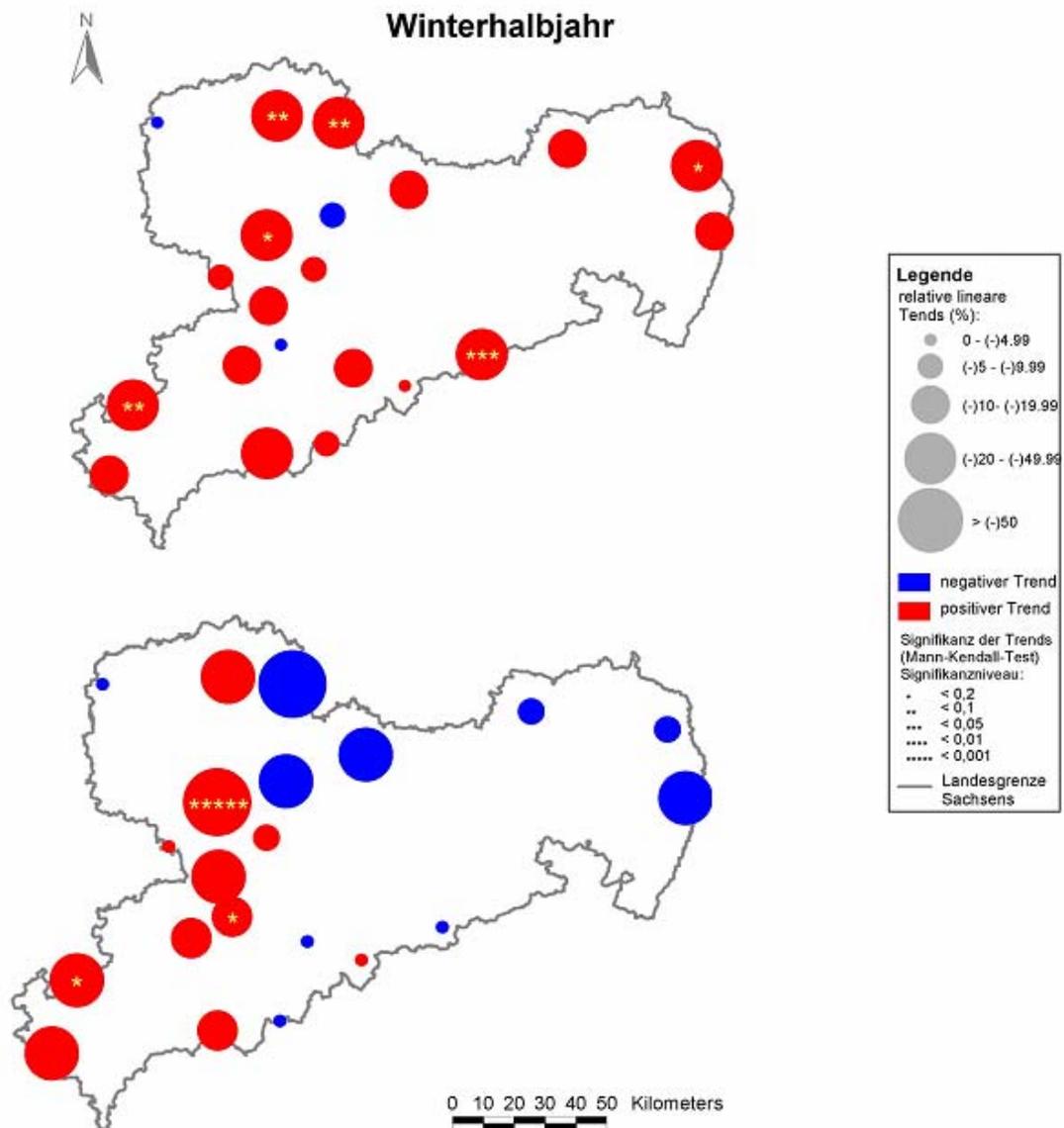


Abb. 2.5.5/2: Trend der Überschreitungshäufigkeit des 90 % (oben) und 99 % (unten) Quantils des Tagesniederschlages der Periode 1961 - 1990 im Winterhalbjahr (Quelle: HÄNSEL et al. 2005)

Aussagen der Klimadiagnosen und Klimaprojektionen für Sachsen

Diagnose

- Stark ausgeprägte Erwärmungstendenz im Flächenmittel seit 1960 und Anstieg der Jahresmitteltemperatur von ca. 1,35 K bei steigender Erwärmungsrate. Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode um 2,2 Tage pro Dekade im Zeitraum 1961 – 2000.
- Kein eindeutiges Trendverhalten bei Jahresniederschlagssummen für Gesamtsachsen, da Niederschlag von hohen zeitlichen und räumlichen Variabilitäten dominiert.
- Zunahme von Trockenperioden (Häufigkeit, Andauer) und Starkniederschlägen bei genereller Abnahme des Niederschlages im Sommerhalbjahr.

Projektion

- Erwärmungstendenz in allen Jahreszeiten (modelldifferenzierte Ausprägungen).
- Rückgang der Niederschläge v. a. in Regionen mit bereits geringen Niederschlägen (Nord- und Ostsachsen).
- Fortschreitende Abnahme der Kälteepisoden im Winterhalbjahr.
- Aussagen stellen nur eine mögliche Entwicklung der Durchschnittswerte dar.

Extremereignisse

- Klimaprojektionen ermöglichen bislang keine zuverlässigen Aussagen zur Entwicklung der Extremereignisse; im Zusammenhang mit den beobachteten Trends sind künftig zunehmende Ertrags- und Ausfallrisiken in der Landwirtschaft zu erwarten.

3 Ertragsentwicklung ausgewählter Fruchtarten in Sachsen

3.1 Ertragstrends für ausgewählte Fruchtarten im Zeitraum 1955 bis 2007

Klimaänderungen in der jüngsten Vergangenheit lassen Auswirkungen auf die Ertragsbildung und -stabilität erwarten.

Für die Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps, Sommergerste, Mais und für das Grünland wurde auf Datenbasis des Statistischen Landesamtes Kamenz sowie von Statistischen Jahrbüchern der DDR die Ertragsentwicklung im Zeitraum von 1955 bis 2007 analysiert. Die Trenduntersuchungen bezogen sich auf Sachsen insgesamt, auf die Regierungsbezirke Chemnitz, Dresden und Leipzig sowie auf die Landkreise Freiberg, Döbeln, Torgau und Bautzen.

Die Auswertung nach Landkreisen ermöglicht eine Betrachtung in Abhängigkeit von den vorherrschenden Standortbedingungen. Die Trendfunktionen wurden je nach Datenverfügbarkeit für den gesamten Zeitraum sowie überwiegend für die Jahre 1955 bis 1991 und 1992 bis 2006 bzw. 2007 berechnet. Der letzte Zeitabschnitt diente der Beantwortung der Frage, ob die Klimaänderungen in der jüngsten Zeit bereits erkennbaren Einfluss auf die Ertragshöhe genommen haben.

Winterweizen (Abb. 3.1/1)

In Sachsen ist Winterweizen von der Anbaubedeutung die wichtigste Fruchtart. Von allen Marktfruchtkulturen erreichte er mit 0,85 dt/ha den höchsten jährlichen Ertragszuwachs seit 1955. Zwischen den Regierungsbezirken bestehen sowohl in der Ertragshöhe als auch in der Wachstumsrate nur geringe Unterschiede. Der bereits stärker durch den Klimawandel beeinflusste Zeitraum 1992 bis 2007 unterschied sich im Wachstumsverhalten kaum von den vorangegangenen Jahren. Diese Aussage trifft auch für die Landkreise Freiberg, Döbeln und Bautzen zu. Für den Landkreis Torgau, der stärker durch leichte, trockene Standorte geprägt ist, deutet sich ein verminderter Ertragszuwachs im Zeitraum 1992 bis 2006 an.

Den Ergebnissen zufolge nahmen im Zeitraum 1992 bis 2007 im Vergleich zu 1955 bis 1991 die Ertragsschwankungen deutlich zu. Jahre mit sehr niedrigen Erträgen wie 2003 und mit sehr hohen wie 2004 sind hierfür mitverantwortlich. Besonders hoch fielen die Ertragsschwankungen im Landkreis Torgau aus, während sie in der feuchten Region Freiberg und auf den guten Lössstandorten in Döbeln wesentlich geringere Ausmaße erreichten.

Aus den Ergebnissen ist für Winterweizen zu schlussfolgern, dass die positive Ertragsentwicklung bislang ungebrochen anhält, allerdings verursachten die Jahre 2003 und 2004 in jüngster Zeit extreme Ertragsschwankungen. In den Kreisen Bautzen und Torgau zusätzlich das Jahr 2006.

Wintergerste (Abb. 3.1/2)

Im Vergleich zu Winterweizen nahmen die Erträge bei Wintergerste mit jährlichen 0,7 dt/ha im Zeitraum 1955 bis 2007 etwas geringer zu.

Für Sachsen insgesamt ist ab 1992 ein etwas verminderter Ertragszuwachs nachzuweisen. Die Ertragsvariabilität wird z. T. durch andere Faktoren bestimmt. Im Kreis Freiberg kennzeichnet das Jahr 1996 einen negativen Extremwert.

Winterroggen (Abb. 3.1/3)

Der jährliche Ertragszuwachs bei Winterroggen seit 1955 in Sachsen erreichte mit 0,7 dt/ha das gleiche Niveau wie bei Wintergerste. Die höchsten Zunahmen wurden im Regierungsbezirk Chemnitz und im Landkreis Döbeln erreicht. Die Erträge im Landkreis Torgau lagen nicht nur auf wesentlich niedrigerem Niveau, sondern auch ihre Wachstumsrate erreichte nur geringe Werte. Im Zeitraum 1992 bis 2006 nahmen zwar die Erträge noch zu, sie zeigten jedoch eine starke Variabilität.

Winterraps (Abb. 3.1/4)

Die wichtige Ölfrucht Winterraps ist seit 1955 durch einen kontinuierlichen Ertragsanstieg mit 0,4 dt/ha pro Jahr gekennzeichnet. Nach 1992 nahmen die Wachstumsraten sogar leicht zu, trotz der Ertragsausfälle in den Jahren 1996 und 2003 durch Auswinterung und Trockenheit. Neue Sorten und verbesserter Pflanzenschutz dürften hauptsächlich zu diesem Ertragsanstieg beigetragen haben. Ebenso wie bei Wintergetreide ist eine Abnahme der Ertragsstabilität zu beobachten.

Sommergerste (Abb. 3.1/5)

Der jährliche Ertragsanstieg von Sommergerste fiel mit 0,5 dt/ha im Vergleich zu den Wintergetreidearten relativ niedrig aus. Mit Beginn der 1990er-Jahre nahm der Ertragszuwachs ab. Während im Landkreis Torgau die Ertragsentwicklung bei hoher Variabilität stagnierte, wurden im Freiburger Raum noch akzeptable Wachstumsraten realisiert.

Silomais (Abb. 3.1/6)

Im Vergleich zu Wintergetreide und Raps fiel bei Silomais der Ertragszuwachs im Betrachtungszeitraum insgesamt wesentlich geringer aus. Mit Beginn der 1990er-Jahre ist sogar ein schwacher Ertragsrückgang festzustellen. Bei Körnermais – hier nicht dargestellt – ist ein leicht positiver Ertragstrend mit allerdings stärkeren Ertragsschwankungen nachzuweisen. Offenbar führte der Temperaturanstieg der letzten Jahrzehnte bei Silomais nicht zu höheren Erträgen. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der häufig geäußerten Meinung, nach der vor allem der Wärme liebende Mais vom Klimawandel am stärksten profitieren wird. Diese Annahme scheint nur dann zu gelten, wenn die Wasserversorgung in sensiblen Wachstumsphasen auch gesichert ist. In den letzten Jahren waren diese Bedingungen oft nicht gegeben, was die negative Trendentwicklung für Silomais erklärt. Die Kornausbildung weicht hier von der Gesamtmasseentwicklung ab.

Grünland (Abb. 3.1/7)

Bis Anfang der 1990er-Jahre sind für Grünland steigende Erträge nachzuweisen. Danach stagnieren in den ersten Jahren die Erträge und sind dann sogar rückläufig. Für diesen Rückgang sind in erster Linie die extensiven Bewirtschaftungsmaßnahmen (KULAP) verantwortlich, die bis 2006 auf bis zu 120.000 ha angewendet wurden. Markant sind die deutlichen Ertragseinbußen in den Trockenjahren 2003 und 2006.

Neben der Darstellung der Ertragsentwicklung mit Trendfunktionen wurde die Ertragsstabilität mit Hilfe von Boxplots untersucht (Abb. 3.1/8 und 3.1/9). Dabei wurde der Betrachtungszeitraum in drei annähernd gleichlange Abschnitte unterteilt. Die Abbildungen zeigen, dass erhöhte Ertragsabweichungen in den betrachteten Zeiträumen zu beobachten sind, wobei Extremwerte und Ausreißer gehäuft von 1990 bis 2007 auftreten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass seit Mitte der 1950er-Jahre die Erträge der Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Raps, Sommergerste, Silomais und Grünland deutlich angestiegen sind. Dieser Ertragszuwachs fiel bei Winterweizen am höchsten und bei Silomais am geringsten aus. Während bei Grünland, hier vor allem bedingt durch Agrarumweltmaßnahmen, und Silomais mit Beginn der 1990er-Jahre die Erträge stagnieren und teilweise sogar zurückgehen, lässt sich für Getreide und Raps eine derartig negative Entwicklung nicht nachweisen. Der in den letzten Jahrzehnten verstärkte Klimawandel hat offenbar noch keine ertragsmindernde Wirkung auf diese Fruchtarten ausgeübt. Allerdings sinkt nahezu durchgängig die Ertragsstabilität. Das trifft besonders für leichte Standorte zu. Die feuchten und kühlen Mittelgebirgsregionen werden sich vermutlich auch künftig durch vergleichsweise stabile Erträge auszeichnen.

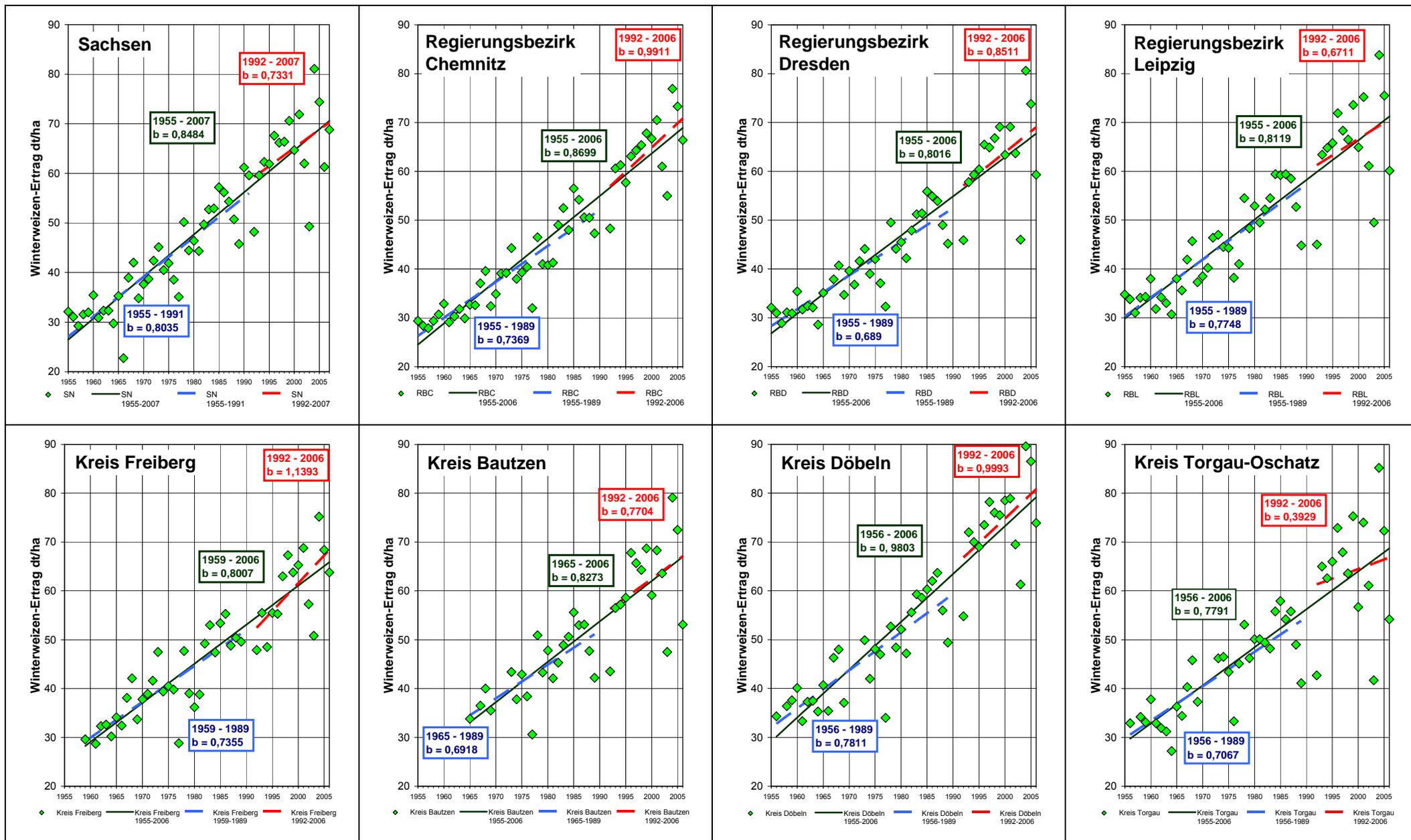


Abb. 3.1/1: Ertragsentwicklung von Winterweizen [dt/ha]

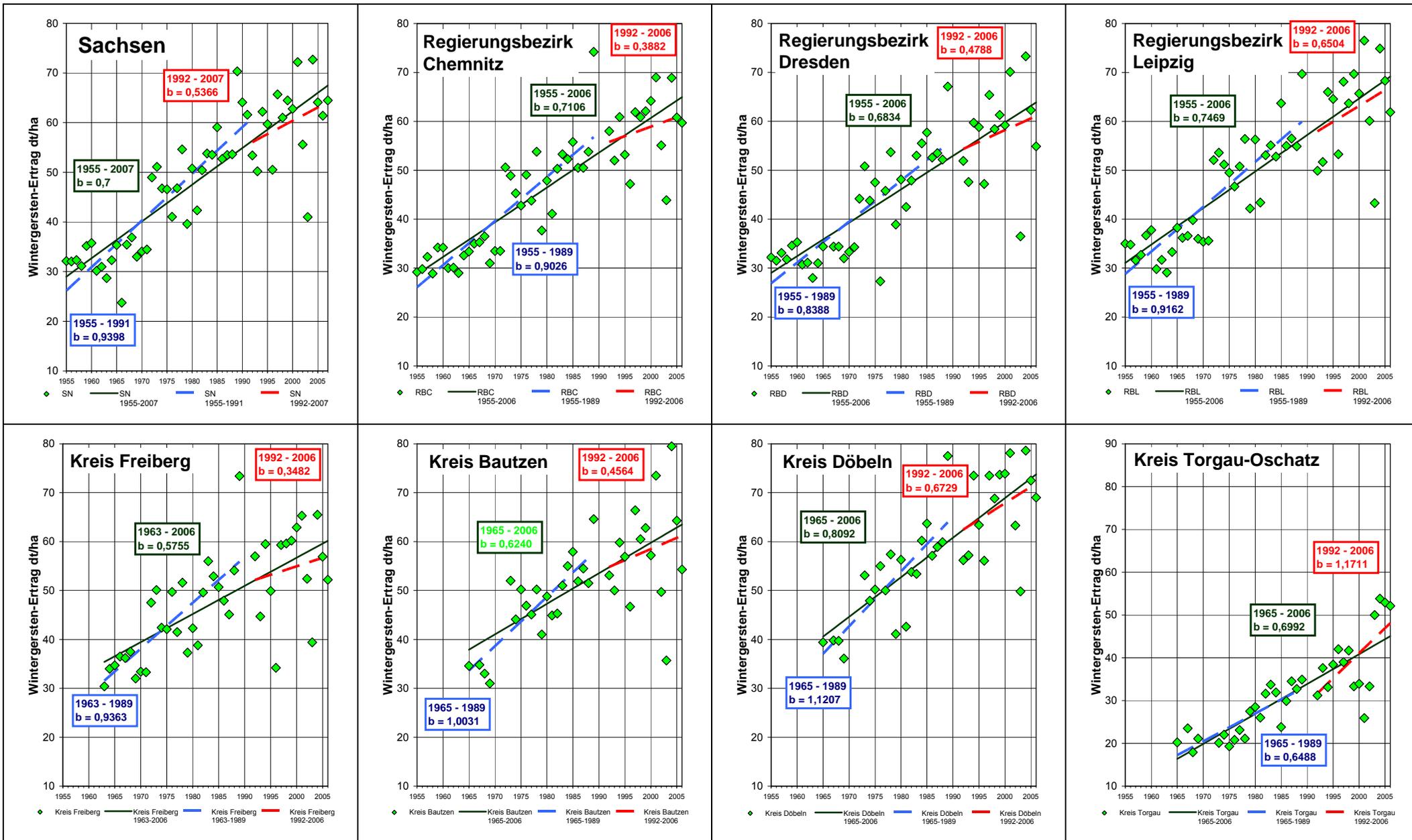


Abb. 3.1/2: Ertragsentwicklung von Wintergerste [dt/ha]

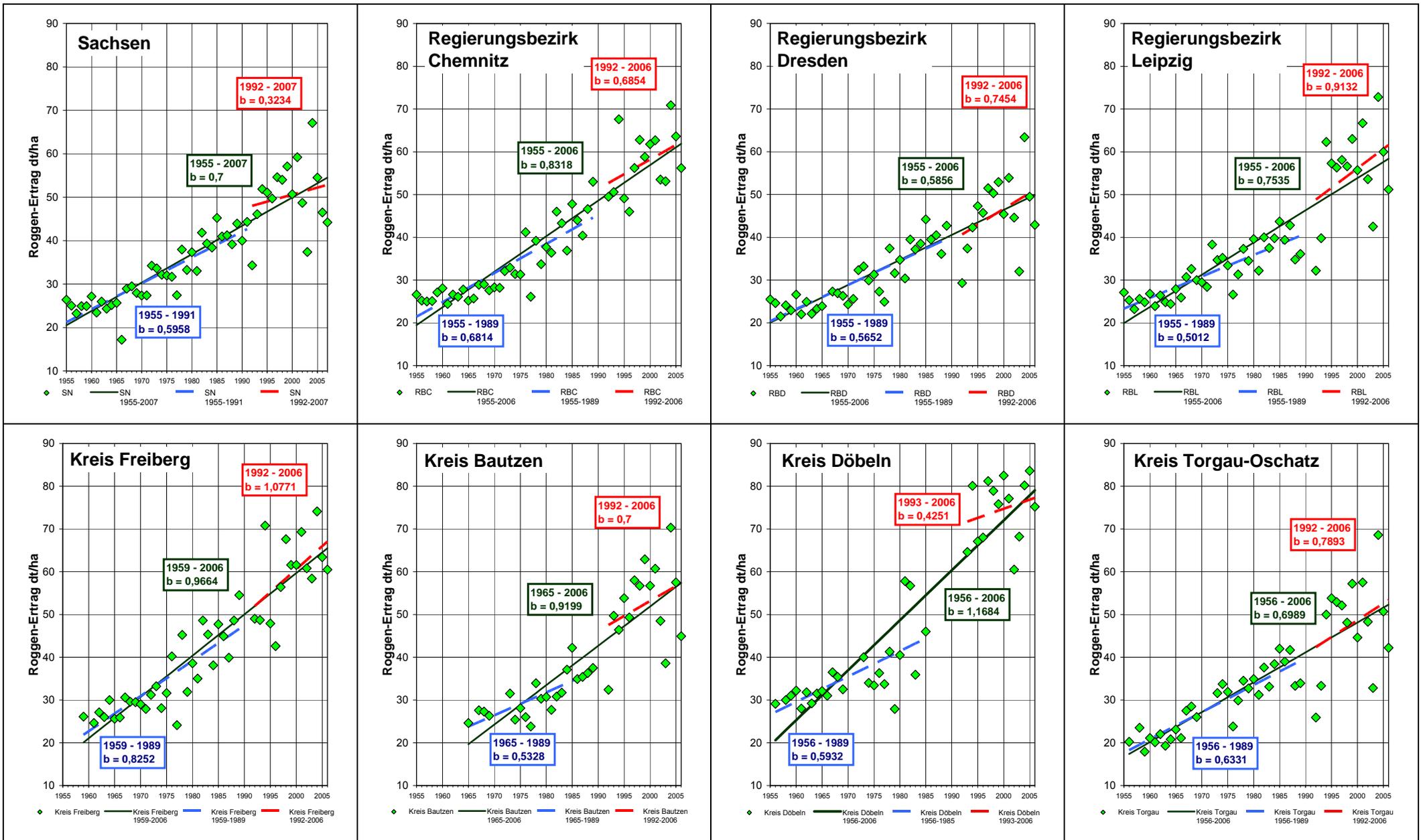


Abb. 3.1/3: Ertragsentwicklung von Roggen [dt/ha]

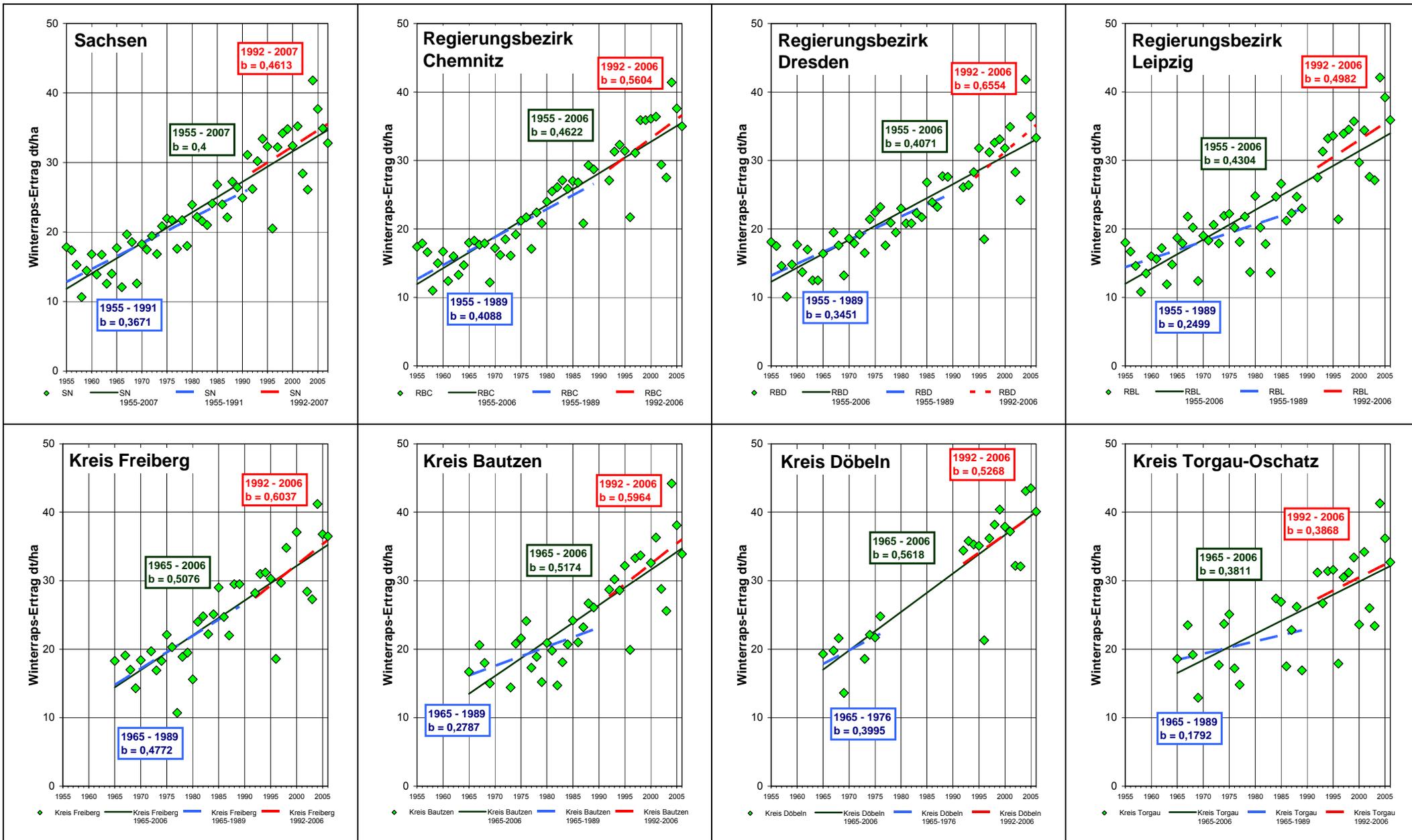


Abb. 3.1/4: Ertragsentwicklung von Winterraps [dt/ha]

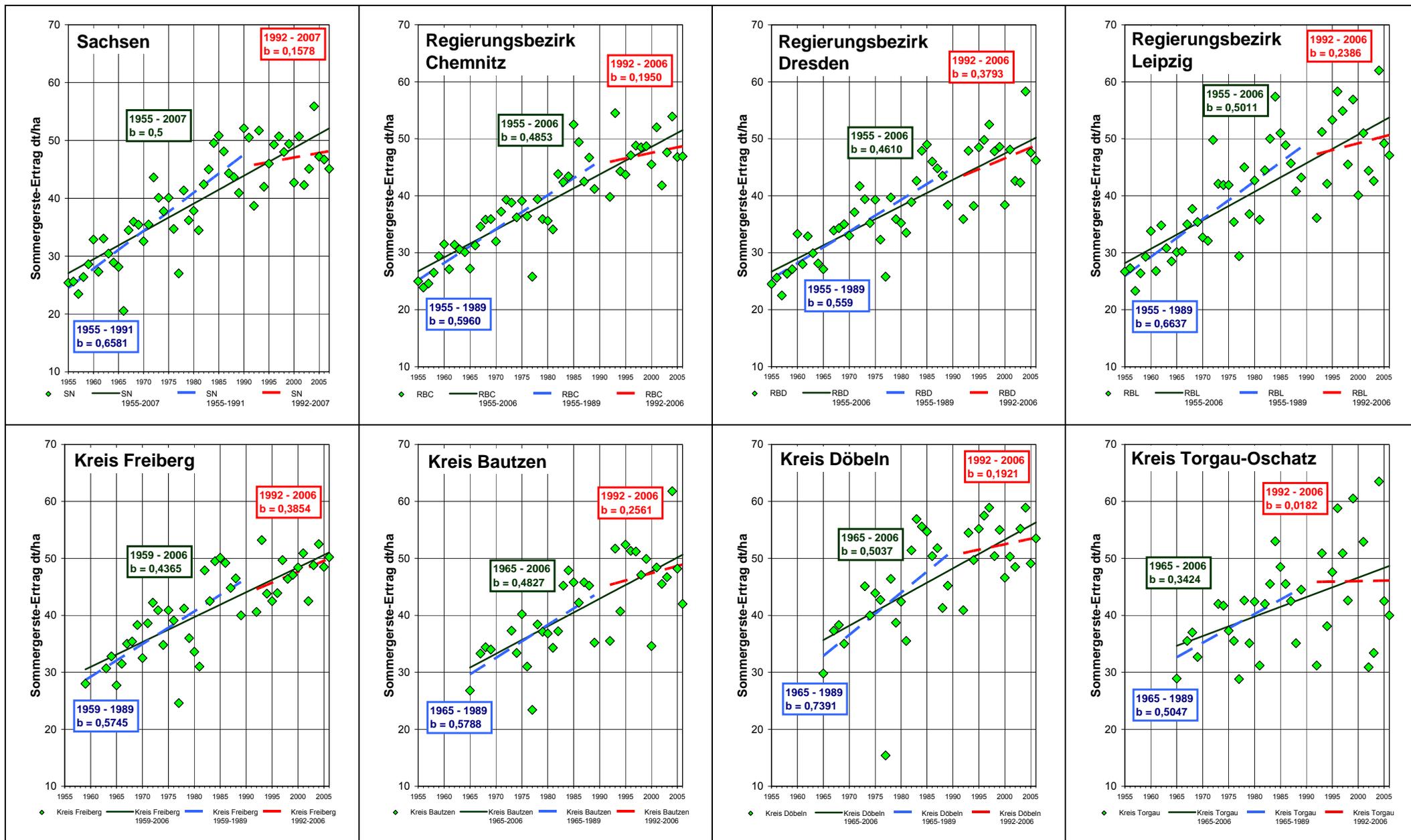


Abb. 3.1/5: Ertragsentwicklung von Sommergerste [dt/ha]

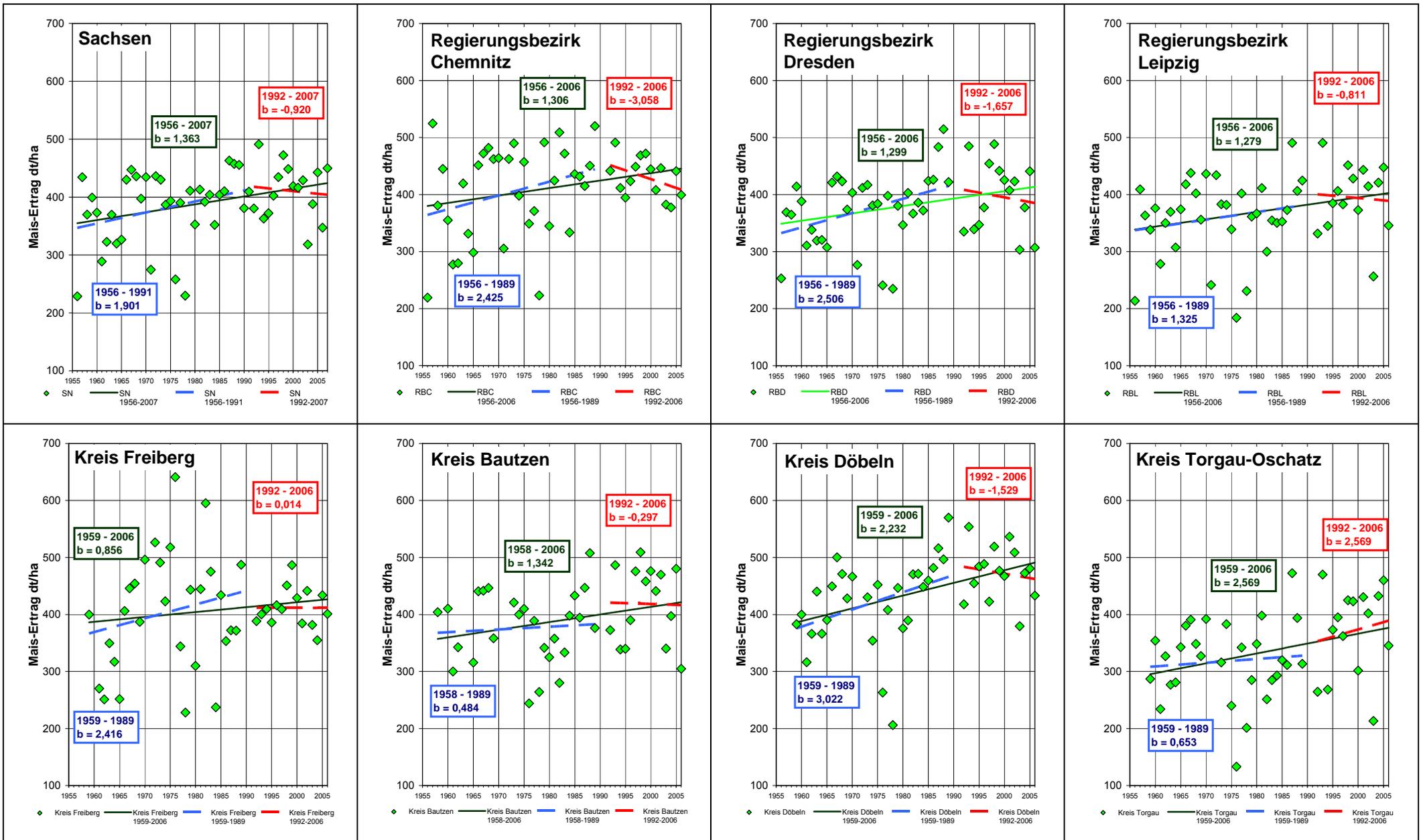


Abb. 3.1/6: Ertragsentwicklung von Mais [dt/ha]

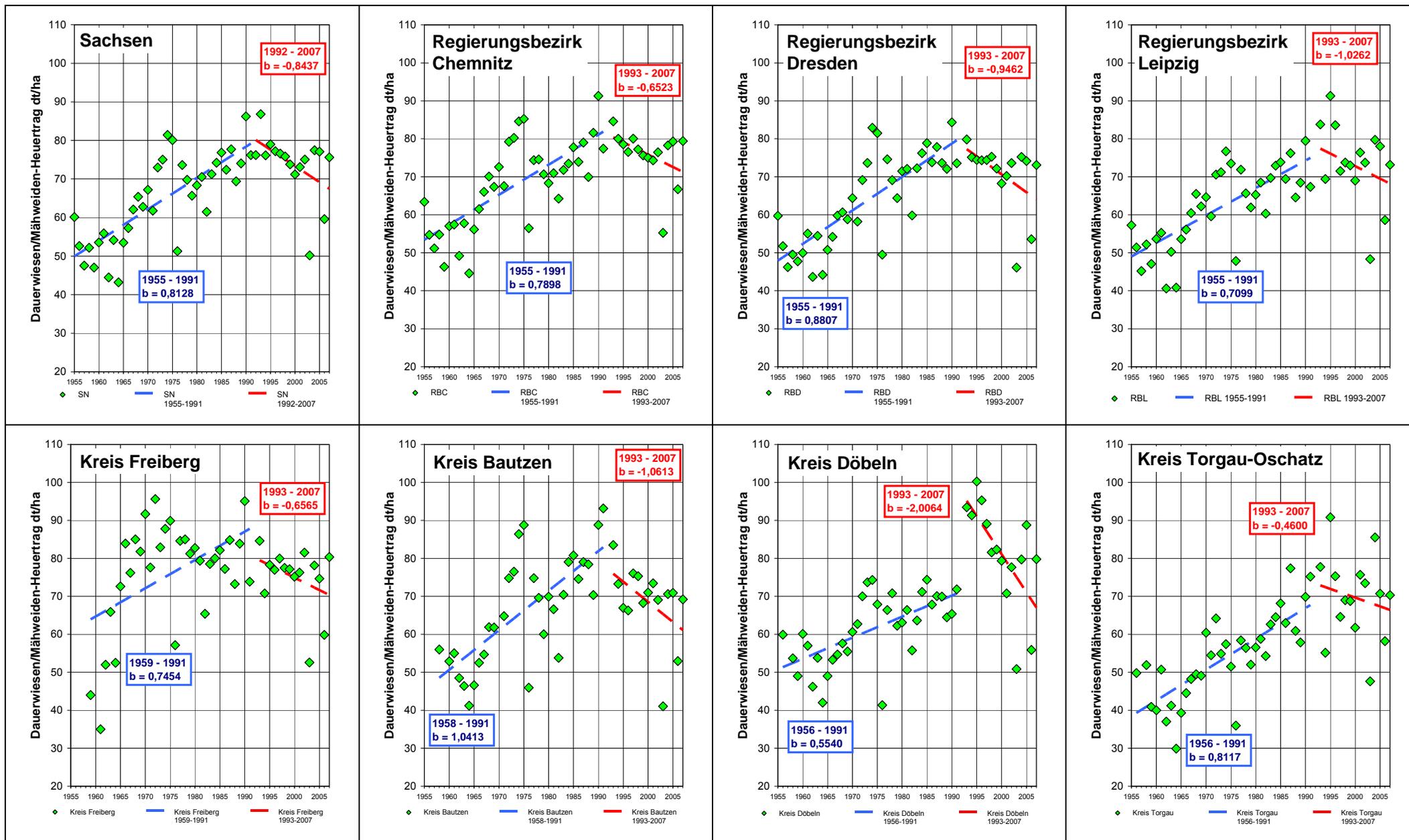


Abb. 3.1/7: Ertragsentwicklung von Grünland [dt/ha]

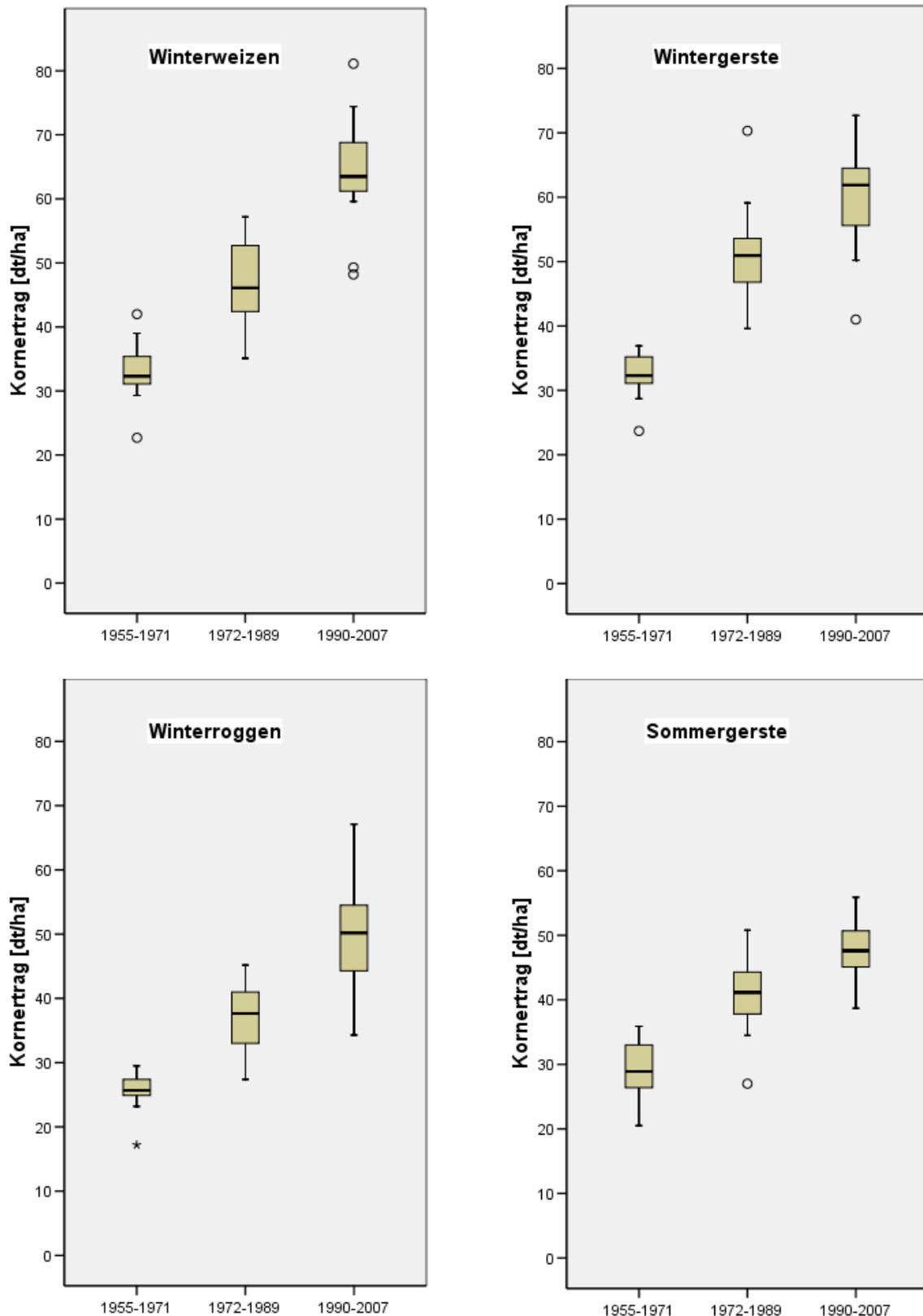


Abb. 3.1/8: Ertragsentwicklung von Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Sommergerste im Freistaat Sachsen zwischen 1955 und 2007

[Ausreißer (° - Werte, die mehr als 1,5 Quartilsabstände außerhalb der mittleren 50 % liegen) und Extremwerte (* - Werte, die mehr als 3 Quartilsabstände außerhalb der mittleren 50 % liegen)]

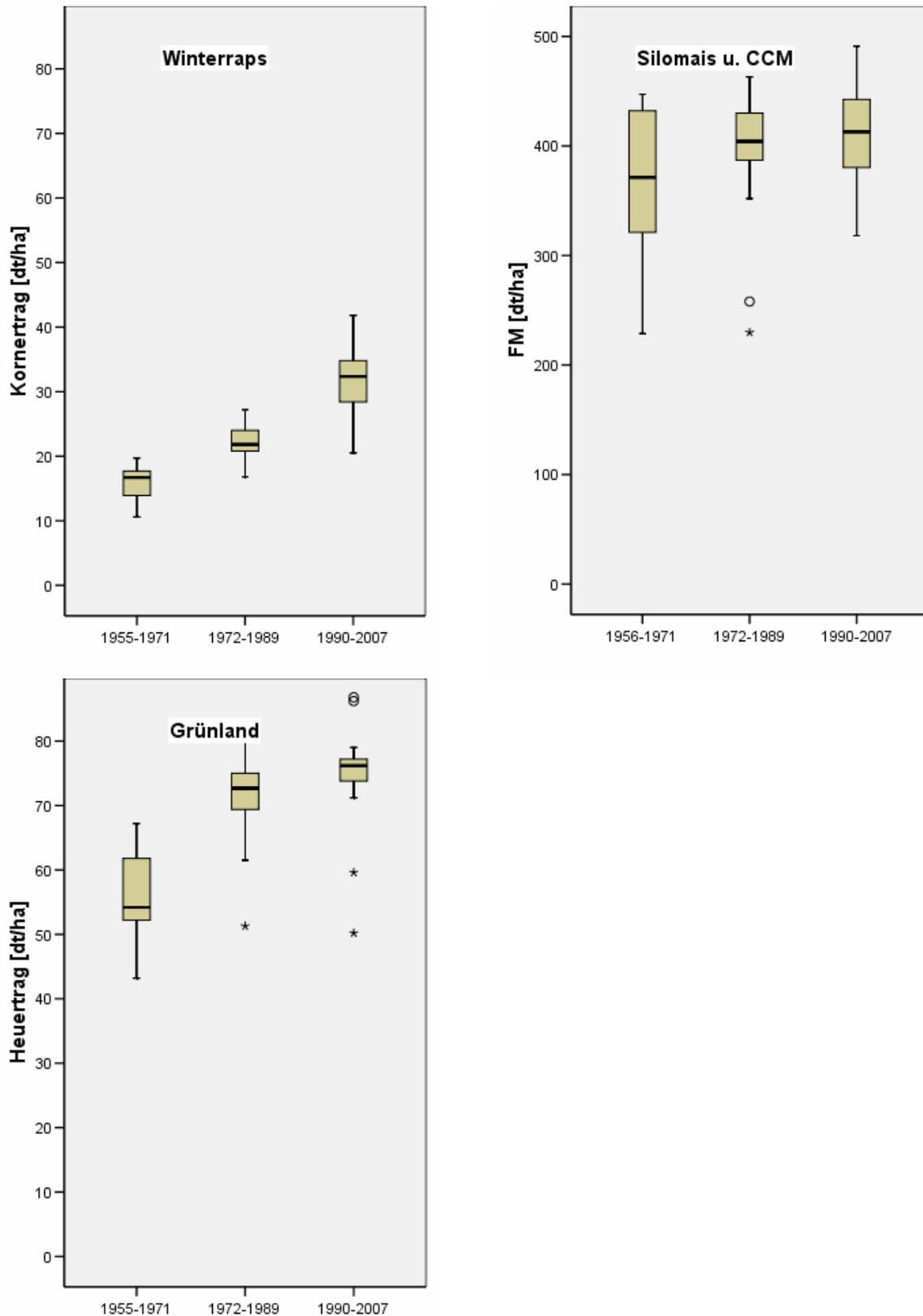


Abb. 3.1/9: Ertragsentwicklung von Winter rapeseed, Silomais/CCM und Grünland im Freistaat Sachsen zwischen 1955 und 2007

[Ausreißer (° - Werte, die mehr als 1,5 Quartilsabstände außerhalb der mittleren 50 % liegen) und Extremwerte (* - Werte, die mehr als 3 Quartilsabstände außerhalb der mittleren 50 % liegen)]

3.2 Simulation der Ernteerträge ausgewählter Fruchtarten für den Zeitraum bis 2050 für Sachsen und für Standortregionen

Die künftige Ertragsentwicklung landwirtschaftlicher Fruchtarten wird weiterhin von der sich vollziehenden Klimaveränderung beeinflusst. Für die Entwicklung geeigneter landwirtschaftlicher Anpassungsstrategien ist die modellgestützte Abschätzung regional unterschiedlicher Ertragsauswirkungen des projizierten Klimawandels von großer Bedeutung. Hierzu wurde eine regionaldifferenzierte Simulation der Ertragsentwicklung bis 2050 vom Institut für Landschaftssystemanalyse des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Münchenberg durchgeführt.

Zur Ertragsabschätzung wird auf die mit der Regionalisierungsmethodik WEREX IV (CEC Potsdam) erstellte Klimaprojektion zurückgegriffen, die auf der globalen Klimasimulation ECHAM5_L1 (MPI-Meteorologie, Hamburg) für das SRES-Emissionsszenario A1B des IPCC basiert. Dabei wurden eine feuchte (WEREX-A1B-FEU) und eine trockene (WEREX-A1B-TRO) Realisierung berücksichtigt.

Grundlage für die modellgestützten Abschätzungen zu erwartender Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Erträge der im Freistaat Sachsen angebauten Hauptfruchtarten (Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps, Silomais) für den Zeitraum bis 2050 bildet das Modell YIELDSTAT. Weitergehende Hinweise zu den methodischen Grundlagen sind dem Ergebnisbericht, erstellt durch das ZALF Münchenberg, Institut für Landschaftssystemanalyse, in Zusammenarbeit mit der TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, zu entnehmen (MIRSCHER et al. 2008).

Für zukunftsbezogene Ertragsabschätzungen auf der Grundlage von WEREX-Daten werden die heute bestehenden Fruchtfolgen beibehalten, d. h. es wird zunächst keine an die jeweilige Marktsituation angepasste Veränderung der Flächennutzungen/Fruchtfolgen/Sorten vorgenommen. Des Weiteren werden auf den Ackerflächen keine Stilllegungen berücksichtigt.

Um für Ertragsabschätzungen in der Zukunft bis 2050 den wahrscheinlichen Fortschritt sowohl in der Pflanzenzüchtung als auch in der Agro-Technologie aus den jetzigen Kenntnissen heraus zu berücksichtigen, wurde in das Modell YIELDSTAT ein mit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft abgestimmter fruchtartspezifischer unterschiedlicher Ertragstrend eingearbeitet. Dieser lineare Trend wurde auf Grundlage der Ertragsstatistik Sachsens für die Jahre 1992 - 2007 berechnet und wird als gültig bis 2010 fortgeschrieben. Da eine unveränderte lineare Extrapolation des Trends nicht realistisch ist, wird der Trend nach 2010 abgeschwächt weitergeführt bis 2050. Dabei werden für 2010 - 2019 nur 60 % des Ausgangstrends (1992 - 2010) angenommen, für 2020 - 2029 nur 40 %, für 2030 - 2039 nur 20 % und für 2040 - 2049 nur noch 10 % des Ausgangstrends (vgl. Tab. 3.2/1).

Tab. 3.2/1: Bis 2050 für den Freistaat Sachsen angenommener jährlicher Ertragstrend für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais

| Fruchtart | 1990 – 2009 (100 %) [dt/ha*a] | 2010 – 2019 (60 %) [dt/ha*a] | 2020 – 2029 (40 %) [dt/ha*a] | 2030 – 2039 (20 %) [dt/ha*a] | 2040 – 2049 (10 %) [dt/ha*a] |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Winterweizen | 0,733 | 0,440 | 0,293 | 0,147 | 0,073 |
| Wintergerste | 0,537 | 0,322 | 0,215 | 0,107 | 0,054 |
| Winterroggen | 0,323 | 0,194 | 0,129 | 0,065 | 0,032 |
| Winterraps | 0,461 | 0,277 | 0,184 | 0,092 | 0,046 |
| Silomais | 1,363 | 0,818 | 0,545 | 0,273 | 0,136 |

Wie von Klima- und Agrarforschern festgestellt, kann ein erhöhter CO₂-Gehalt in der Atmosphäre auch zu Ertragssteigerungen beitragen (Pflanzen nehmen CO₂ auf und geben O₂ ab).

Grundlage für die Berücksichtigung des CO₂-Düngungseffektes auf die Ertragsbildung bis zum Jahr 2050 bilden die Ergebnisse des FACE-Experiments des Johann Heinrich von Thünen-Instituts Braunschweig (vTI), bei denen die Auswirkungen bei einem CO₂-Gehalt von 550 ppm untersucht wurden (WEIGEL et al. 2005). Für die hier realisierten Simulationsszenarios wurde eine Linearität der ertragswirksamen Auswirkungen zwischen dem jetzigen CO₂-Gehalt von ca. 385 ppm und den untersuchten 550 ppm angenommen.

Für die Berechnungen wurde von einer jährlichen Zunahme des CO₂-Gehaltes von 2 ppm/a ausgegangen. Das bedeutet, dass für 2035 ein CO₂-Gehalt von 440 ppm und für 2050 von 470 ppm angenommen wurde.

Die nachfolgende Abschätzung klimabedingter Ertragsänderungen bezieht sich auf die beiden 30-jährigen Zeitperioden 1976 - 2005 und 2021 - 2050. Um auch eine Aussage zur möglichen Variation in den Ertragsänderungen zu erhalten, wurden die Ertragssimulationen für unterschiedliche Kombinationen von Wetterlagen mit den beiden WEREX IV-Realisierungen „feucht“ (WEREX-A1B-FEU) und „trocken“ (WEREX-A1B-TRO) durchgeführt, wobei je drei Varianten gerechnet wurden:

Variante 1: ohne CO₂-Düngungseffekt, ohne wissenschaftlich-technischen Trend,

Variante 2: mit CO₂-Düngungseffekt, ohne wissenschaftlich-technischen Trend,

Variante 3: mit CO₂-Düngungseffekt, mit wissenschaftlich-technischem Trend.

Die dabei erzielten Ergebnisse werden zum einen für den gesamten Freistaat Sachsen zusammengefasst und zum anderen für die Standortregionen:

- Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland,
- Oberlausitz, Sächsische Schweiz,
- Mittelsächsisches Lössgebiet,
- Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (westlicher Teil),
- Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (östlicher Teil).

Die Simulationsergebnisse bringen zum Ausdruck, dass bei den Erträgen zwischen 1976 - 2005 und 2021 - 2050 innerhalb Sachsens deutliche territoriale Unterschiede auftreten. Regionalisiert für Sachsen gibt Abb. 3.2/1 für die Variante 1 die relativen Ertragsunterschiede zwischen den beiden Zeiträumen wieder (als Mittel aus beiden WEREX-Realisierungen (WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO)).

Territorial liegen die Gebiete mit einem zu erwartenden leichten Ertragszuwachs im südlichen und südwestlichen Teil von Sachsen, d. h. im Erzgebirge (bis östlich der Elbe) sowie im südlichen Vogtland und im Elsterbergland. Sie konzentrieren sich dabei auf die Standortregion „Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland“. Die größten relativen Ertragsverluste in der betrachteten Variante 1 finden sich im östlichen Teil der Standortregion „Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal“ (leichte Böden mit geringer Wasserhaltefähigkeit). Nicht ganz so deutlich ausgeprägte Ertragsverluste sind im Vogtland, im Erzgebirgsvorland, im westlichen Teil der Standortregion „Mittelsächsisches Lössgebiet“ und im Gebiet zwischen Torgau und Leipzig zu erkennen.

Werden bei den Szenariosimulationen zusätzlich noch der CO₂-Düngungseffekt und der angenommene züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertragstrend berücksichtigt, dann ergeben sich für alle betrachteten Fruchtarten, außer Silomais, in 2021 - 2050 gegenüber 1976 - 2005 signifikante Ertragszunahmen. Bei Silomais, bei dem mit 1,363 dt/ha/a Ausgangs nur ein relativ geringer Ertragszuwachs infolge Züchtung und Technologie angenommen wurde, ergibt sich danach ein geringer Ertragsverlust in 2021 - 2050 gegenüber 1976 - 2005. Beim Anbau neuer, wesentlich ertragreicherer Sorten (z. B. Energiemais-Sorten), die die verlängerte Vegetationsperiode und die günstigeren Temperaturbedingungen besser in Biomassewachstum bzw. Ertrag umsetzen können, sind für 2021 - 2050 möglicherweise auch positive Ertragsänderungen zu erwarten.

In Tab. 3.2/2 werden für die betrachteten Fruchtarten und beide WEREX-Realisierungen (WEREX-A1B-FEU, WEREX-A1B-TRO) die Ertragsänderungen in 2021 - 2050 gegenüber 1976 - 2005 für die Varianten 1, 2 und 3 zusammengefasst.

Tab. 3.2/2: Ertragsänderungen für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais in 2021 - 2050 gegenüber 1976 - 2005 für Variante 1, Variante 2 und Variante 3, jeweils für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO (Freistaat Sachsen)

| Fruchtart | Realisierung | Ertragsänderung 2021/2050 vs. 1976/2005 | | | | | |
|--------------|---------------|---|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | Variante 1 | | Variante 2 | | Variante 3 | |
| | | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -3,4 | -4,6 | 0,1 | 0,0 | 12,5 | 17,0 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,6 | -5,2 | -0,3 | -0,6 | 12,1 | 17,2 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -3,1 | -5,0 | -0,1 | -0,4 | 5,4 | 8,2 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,4 | -5,7 | -0,5 | -1,1 | 4,9 | 7,9 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -3,4 | -5,2 | -0,3 | -0,5 | 8,9 | 11,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,6 | -5,6 | -0,7 | -1,3 | 8,4 | 13,4 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -2,0 | -6,1 | -0,6 | -2,2 | 7,1 | 19,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,7 | -13,7 | -3,4 | -10,1 | 4,4 | 12,4 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -37,6 | -8,9 | -33,7 | -8,0 | -11,4 | -2,7 |
| | WEREX-A1B-TRO | -42,1 | -10,9 | -38,5 | -9,9 | -16,2 | -4,2 |

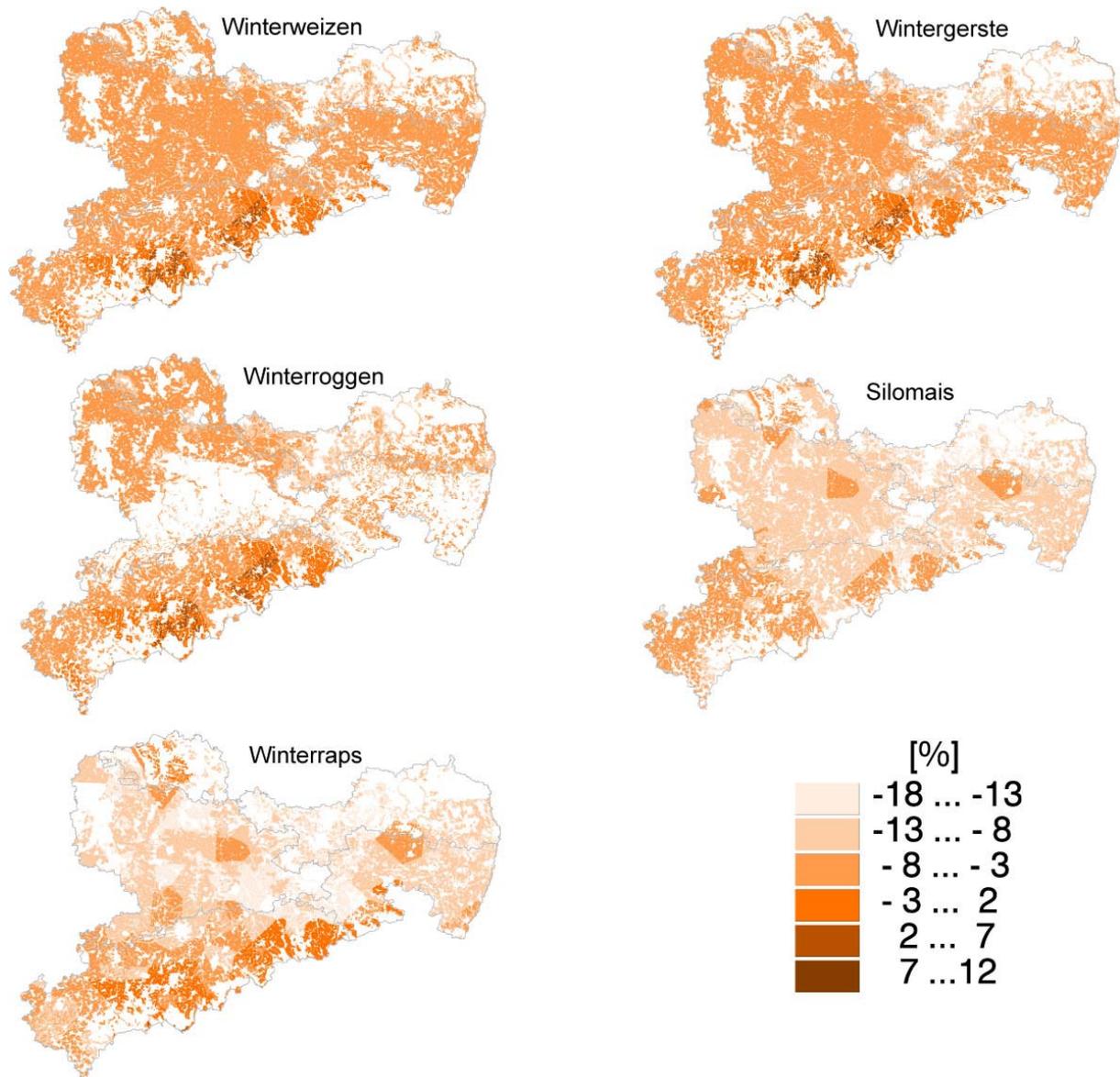


Abb. 3.2/1: Relative Ertragsunterschiede 1976 - 2005 vs. 2021 - 2050 für Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Winterraps und Silomais als Mittel der WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO, regionalisiert für den Freistaat Sachsen (Variante 1)

Die Unterschiede bei den Ertragsänderungen der WEREX-Realisierungen sind bei Wintergetreide und Silomais nicht sehr groß, aber bei Winterraps deutlich größer. Das ist auf den Trockenstress besonders im Frühsommer zurückzuführen.

Ein weiterer sehr wichtiger Faktor für die Landwirtschaft ist die Ertragsstabilität. Weil damit zu rechnen ist, dass Witterungsextreme zunehmen werden, ist auch mit zunehmenden Ertragsschwankungen zwischen den Einzeljahren zu rechnen. Diese Hypothese wird durch die Simulationsrechnungen bestätigt. Die für ganz Sachsen auf den durchschnittlichen Landesertrag bezogenen klimaänderungsbedingten relativen Ertragsschwankungen nehmen zu, mit einem leichten Trend der Zunahme von Jahren mit relativ geringer Ertragshöhe (Tab. 3.2/3). Das trifft bei allen betrachteten Fruchtarten sowohl für die WEREX-Realisierung WEREX-A1B-FEU als auch WEREX-A1B-TRO zu.

Tab. 3.2/3: Klimaänderungsbedingte relative Ertragsschwankungen bezogen auf den durchschnittlichen Landesertrag für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO (Freistaat Sachsen)

| Fruchtart | Realisierung | relative Ertragsschwankung (%) | | |
|--------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | | 1976 - 2005 | 2021 - 2050 | |
| | | | ohne CO ₂ , ohne Trend | mit CO ₂ , ohne Trend |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | 84,2 | 82,2 | 86,2 |
| | WEREX-A1B-TRO | 82,2 | 88,8 | 88,7 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | 93,7 | 96,1 | 96,0 |
| | WEREX-A1B-TRO | 91,9 | 88,7 | 88,6 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | 89,2 | 91,7 | 91,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | 88,9 | 97,3 | 97,1 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | 77,7 | 82,6 | 82,5 |
| | WEREX-A1B-TRO | 84,5 | 101,0 | 95,1 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | 102,1 | 109,0 | 119,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | 101,8 | 104,0 | 104,2 |

Trennt man die auf den gesamten Freistaat Sachsen bezogenen Simulationsergebnisse nach den einzelnen Standortregionen, ergeben sich weitaus differenziertere Aussagen bezüglich der Höhe der Ertragsänderung, aber auch bezüglich des Bereiches der Ertragsvariation in den Einzeljahren. Bei Variante 1 (ohne CO₂, ohne Trend) schneidet die Standortregion „Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland“ bezüglich der Ertragsänderung am besten ab. Hier sind im Regionsmittel bei allen Fruchtarten die geringsten Ertragsverluste zu erwarten. Dann folgen der westliche Teil der Region „Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal“ und die Region „Oberlausitz, Sächsische Schweiz“. Am größten sind die negativen Ertragsänderungen im östlichen Teil der Region „Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal“.

In Tab. 3.2/4 sind für drei Simulationsvarianten Variante 1 (ohne CO₂, ohne Trend), Variante 2 (mit CO₂, ohne Trend), Variante 3 (mit CO₂, mit Trend) die absoluten und relativen Ertragsänderungen in 2021 - 2050 im Vergleich zu 1976 - 2005 für die betrachteten Fruchtarten und die beiden WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO, gesplittet in die einzelnen Standortregionen, dargestellt.

In den Standortregionen „Oberlausitz, Sächsische Schweiz“ und „Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland“ treten für alle betrachteten Fruchtarten in der Variante 1 außer Silomais an einzelnen Standorten sowohl Ertragsverlusten als auch Ertragszunahmen auf. In den restlichen Standortregionen treten an allen einzelnen Standorten nur Ertragsverluste auf. Im Mittel werden bei Variante 1 in allen Standortregionen für alle betrachteten Fruchtarten stets Ertragsverluste nachgewiesen. Dabei liegen für die Wintergetreidearten und für Winterraps die relativen Ertragsauswirkungen in der gleichen Größenordnung. Nur bei Silomais sind die zu erwartenden relativen Ertragsverluste etwas größer.

Berücksichtigt man die CO₂-Düngungswirkung (Variante 2), so liegen die Erträge der betrachteten Fruchtarten mit Ausnahme von Silomais in 2021 - 2050 etwa in der gleichen Größenordnung wie in 1976 - 2005. Eine Ausnahme bilden hier die Standortregionen „Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland“, in der sie im Mittel größer sind als in 1976 - 2005, und die Standortregion „Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (östlicher Teil)“, in der die Erträge in 2021 - 2050 um 2 - 4 Prozentpunkte unter den Erträgen in 1976 - 2005 liegen.

Tab. 3.2/4: Absolute und relative Ertragsänderungen in 2021 - 2050 im Vergleich zu 1976 - 2005 für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais für drei Simulationsvarianten getrennt je für die WEREX-Realisierungen WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO sowie aufgesplittet in die einzelnen Standortregionen.

Variante 1 (ohne CO₂, ohne Trend), Variante 2 (mit CO₂, ohne Trend), Variante 3 (mit CO₂, mit Trend)

| Fruchtart | Realisierung | Ertragsänderung 2021/2050 vs. 1976/2005 | | | | | |
|---|---------------|---|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | Variante 1 | | Variante 2 | | Variante 3 | |
| | | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) |
| <i>Erzgebirgskamm und –vorland, Vogtland, Elsterbergland</i> | | | | | | | |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -1,7 | -2,6 | 1,8 | 2,2 | 14,3 | 18,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -1,4 | -2,8 | 1,7 | 2,0 | 14,1 | 19,1 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -1,5 | -2,5 | 1,8 | 2,2 | 7,3 | 10,3 |
| | WEREX-A1B-TRO | -2,1 | -3,2 | 1,1 | 1,5 | 6,6 | 9,6 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -1,9 | -2,9 | 1,3 | 1,8 | 10,4 | 15,5 |
| | WEREX-A1B-TRO | -2,0 | -3,2 | 1,0 | 1,5 | 10,1 | 15,6 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -0,7 | -2,1 | 0,9 | 1,9 | 8,7 | 22,3 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,5 | -9,9 | -2,1 | -6,2 | 5,7 | 14,9 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -32,4 | -7,3 | -28,2 | -6,4 | -5,9 | -1,3 |
| | WEREX-A1B-TRO | -35,5 | -8,7 | -31,7 | -7,8 | -9,4 | -2,3 |
| <i>Oberlausitz, Sächsische Schweiz</i> | | | | | | | |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -3,6 | -4,8 | -0,1 | -0,2 | 12,4 | 15,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,6 | -5,9 | -0,9 | -1,3 | 11,6 | 15,4 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -3,8 | -5,9 | -0,8 | -1,3 | 4,7 | 7,0 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,3 | -6,9 | -1,4 | -2,3 | 4,1 | 6,4 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -3,9 | -5,7 | -0,7 | -1,1 | 8,4 | 12,0 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,4 | -6,8 | -1,4 | -2,2 | 7,7 | 11,6 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -2,4 | -6,8 | -0,9 | -2,9 | 6,8 | 18,5 |
| | WEREX-A1B-TRO | -5,3 | -15,2 | -4,0 | -11,7 | 3,7 | 10,5 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -40,8 | -9,3 | -36,7 | -8,4 | -14,4 | -3,3 |
| | WEREX-A1B-TRO | -47,0 | -11,7 | -43,4 | -10,8 | -21,1 | -5,3 |

Fortsetzung Tab. 3.2/4

| Fruchtart | Realisierung | Ertragsänderung 2021/2050 vs. 1976/2005 | | | | | |
|---|---------------|---|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | Variante 1 | | Variante 2 | | Variante 3 | |
| | | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) | abs. Abw. (dt/ha) | rel. Abw. (%) |
| Mittelsächsisches Lössgebiet | | | | | | | |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -4,0 | -5,4 | -0,5 | -0,8 | 11,9 | 15,9 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,4 | -6,0 | -1,0 | -1,4 | 11,5 | 16,0 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -4,0 | -6,2 | -1,0 | -1,6 | 4,5 | 7,0 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,0 | -6,8 | -1,3 | -2,3 | 4,2 | 7,1 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -3,9 | -5,8 | -0,7 | -1,2 | 8,4 | 12,3 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,2 | -6,5 | -1,2 | -1,9 | 7,9 | 12,2 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -2,7 | -6,9 | -1,4 | -4,1 | 6,4 | 18,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -5,1 | -15,5 | -4,0 | -12,0 | 3,8 | 12,6 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -36,6 | -9,5 | -35,8 | -8,6 | -13,4 | -3,2 |
| | WEREX-A1B-TRO | -44,0 | -11,4 | -40,5 | -10,5 | -18,2 | -4,7 |
| Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (westlicher Teil) | | | | | | | |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -3,1 | -4,5 | 0,2 | 0,1 | 12,6 | 18,5 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,5 | -5,5 | -0,5 | -0,9 | 11,9 | 18,3 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -3,3 | -5,3 | -0,3 | -0,7 | 5,2 | 8,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,7 | -6,8 | -1,1 | -2,2 | 4,3 | 7,1 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -3,1 | -5,3 | -0,3 | -0,7 | 8,8 | 17,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -3,7 | -6,5 | -1,0 | -2,0 | 8,1 | 14,3 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -1,6 | -5,4 | -0,3 | -1,5 | 7,5 | 22,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,3 | -12,4 | -3,0 | -8,9 | 4,8 | 13,3 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -31,1 | -8,0 | -27,4 | -7,1 | -5,1 | -1,4 |
| | WEREX-A1B-TRO | -37,9 | -10,5 | -34,6 | -9,7 | -12,3 | -3,4 |
| Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (östlicher Teil) | | | | | | | |
| Winterweizen | WEREX-A1B-FEU | -4,3 | -7,1 | -1,5 | -2,6 | 11,0 | 18,2 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,6 | -7,8 | -1,8 | -3,3 | 10,6 | 18,9 |
| Winterroggen | WEREX-A1B-FEU | -4,3 | -7,6 | -1,7 | -3,1 | 3,8 | 6,7 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,5 | -8,5 | -2,1 | -4,0 | 3,4 | 6,4 |
| Wintergerste | WEREX-A1B-FEU | -4,3 | -8,1 | -1,8 | -3,6 | 7,3 | 13,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -4,4 | -9,1 | -2,2 | -4,6 | 6,9 | 14,1 |
| Winterraps | WEREX-A1B-FEU | -3,0 | -9,2 | -1,8 | -5,4 | 6,1 | 17,8 |
| | WEREX-A1B-TRO | -5,4 | -16,5 | -4,2 | -13,1 | 3,5 | 11,0 |
| Silomais | WEREX-A1B-FEU | -42,3 | -11,3 | -38,9 | -10,4 | -16,6 | -4,4 |
| | WEREX-A1B-TRO | -46,0 | -13,6 | -43,0 | -12,8 | -20,7 | -6,1 |

Bei zusätzlicher Berücksichtigung der für Sachsen zu erwartenden Ertragstrends (Variante 3) ergibt sich in allen Standortregionen für alle anderen Fruchtarten mit Ausnahme von Silomais in 2021 - 2050 eine deutlich positive Ertragsänderung, die aber regionsabhängig zwischen den Fruchtarten unterschiedlich stark ausfällt. Aber auch bei Silomais werden in einzelnen Regionen in 2021 - 2050 fast die Erträge von 1976 - 2005 erreicht. In den vier südlichen und westlichen Standortregionen Sachsens lässt sich hinsichtlich der relativen Ertragsänderung für die betrachteten Fruchtarten beginnend bei den stärksten Änderungen folgende Reihenfolge ableiten: Winterweizen, Winterraps, Wintergerste, Winterroggen, Silomais. In der Standortregion „Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal (östlicher Teil)“ tauschen in dieser Reihenfolge nur die Wintergerste und der Winterraps ihre Plätze.

Obwohl der Silomais als C4-Pflanze in seiner Biomasseproduktion positiv auf steigende Temperaturen reagiert, sind die mit YIELDSTAT für den Zeitraum bis 2050 simulierten Ertragsänderungen negativ. Das könnte wie bereits erwähnt darin begründet sein, dass im Modell YIELDSTAT nur mit bisher in der Praxis zum Anbau gekommenen Maissorten gerechnet worden ist. Es wurden keine Energiemais-Hochleistungssorten unterstellt. Dazu kommt, dass in den nächsten Jahren bis 2050 die Temperaturen nur mäßig ansteigen, im Jahresdurchschnitt um + 1 K. Bezogen auf die Hauptwachstumsphase Mai-August liegt der Temperaturanstieg aber deutlich unter + 1 K. Damit wird der im Modell implementierte temperaturabhängige mit steigender Temperatur positiv wirkende Ertragsterm durch den auf der klimatischen Wasserbilanz basierenden mit zunehmendem Trockenstress negativ wirkenden Ertragsterm in seiner Größe deutlich überkompensiert. Und in der Regel nimmt die klimatische Wasserbilanz in der Hauptwachstumsphase tendenziell bis 2050 deutlich ab. Hinzu kommt noch, dass der Mais im Vergleich zu Getreide nicht so tief wurzelt und damit der über den Bodenraum erschlossene Wasservorrat geringer ist, Trockenstress also stärker zum Tragen kommt.

In der Standortregion „Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland“ ist der Wasserversorgungszustand in der Hauptwachstumsperiode deutlich günstiger. Die weniger negativen Auswirkungen auf die Erträge bei Silomais sind im Vergleich zu anderen Standortregionen zu erkennen (vgl. Tab. 3.2/4).

Hinzu kommt auch, dass der Silomais als C4-Pflanze auf eine CO₂-Erhöhung nur sehr mäßig reagiert, da mit 440 – 470 ppm schon fast der Optimalbereich in der CO₂-Biomasse-Kurve erreicht ist. In diesem Bereich reagieren C3-Pflanzen noch deutlich stärker auf eine CO₂-Erhöhung. Ein Vorteil des erhöhten CO₂ für Mais lässt sich vermutlich nur bei Trockenheit durch die mit dem CO₂-Effekt verbundene Wasserersparnis erwarten. Laufende Untersuchungen (FACE-Experiment) am Johann Heinrich von Thünen-Institut in Braunschweig im Rahmen von LandCaRe 2020 sollen dazu weitere Klärung und Modellverbesserungen erbringen.

Ein weiterer Grund für die vergleichsweise negativen Ergebnisse bei Silomais ist der im Modell für den Anfang des Simulationszeitraumes auf der Grundlage der vergangenen Ertragsentwicklung in Sachsen relativ niedrig angesetzte züchtungs- und technologieabhängige Ertragstrend von nur 1,363 dt/ha/a.

Bei der Bewertung der Simulationsergebnisse ist zu beachten, dass mit dem Regionalmodell WEREX IV vergleichsweise geringe Klimaveränderungen bis 2050 projiziert werden. Die mittlere Temperatur steigt im Sommer für die Realisierung „feucht“ um 0,9 bis 1,3 K bzw. für die Realisierung „trocken“ um 0,9 bis 1,5 K an. Der mittlere Niederschlag nimmt im Sommer um 2,5 bis 17,5 % (Realisierung „feucht“) bzw. um 2,5 bis 22,5 % (Realisierung „trocken“) ab, wobei der stärkste Rückgang im Norden und Osten Sachsens auftritt. Die Änderungen der mittleren Jahreswerte liegen überwiegend bei + 1 K für die Temperatur und - 2,5 bis - 12,5 % für den Niederschlag. Infolgedessen sind die Auswirkungen auf die Ertragsbildung meist gering. Mit einer stärkeren Ertragsbeeinflussung ist dann zu rechnen, wenn sich das künftige Klima im betrachteten Zeitraum extremer bzw. schneller verändert als gegenwärtig mit WEREX IV berechnet wurde. Ergebnisse anderer Regionalmodelle deuten darauf hin, dass unter demselben Emissionsszenario A1B auch stärkere Veränderungen im Zeitraum bis 2050 möglich sind.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass auf Grund der nach dem Regionalmodell WEREX IV projizierten moderaten Klimaänderungen für den Freistaat Sachsen relativ geringe Ertragsänderungen im langjährigen Mittel bis 2050 erwartet werden. Vor allem bei Wintergetreide und Winterraps sind bei optimistischen Annahmen auch Ertragssteigerungen möglich.

Klimaprojektionen ermöglichen bislang keine zuverlässigen Aussagen zur Entwicklung der Extremereignisse. Im Zusammenhang mit den beobachteten Trends und der erwarteten Erwärmung der Atmosphäre sind künftig zunehmende Ertrags- und Ausfallrisiken in der Landwirtschaft zu erwarten.

4 Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf die Landwirtschaft

4.1 Pflanzenbau

4.1.1 Ertragsentwicklung und -stabilität

Von besonderem Interesse für die Landwirtschaft sind die künftig zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf Höhe und Stabilität der Erträge landwirtschaftlicher Kulturen.

Anhand der Trendberechnungen (siehe 3.1) konnte gezeigt werden, dass seit Mitte der 1950er-Jahre bis 2007 beachtliche Ertragssteigerungen für die betrachteten Fruchtarten nachzuweisen sind. Sie sind das Ergebnis des Züchtungsfortschrittes und der insgesamt verbesserten Bewirtschaftungsmaßnahmen. Auch für den Zeitabschnitt der 1990er-Jahre bis 2007, der bereits stärker durch Klimaänderungen geprägt war, sind nur unwesentlich verminderte Ertragszuwachsrate bei Getreide und Raps festzustellen. Bei Silomais jedoch stagnierten die Erträge und auf Grünland gingen sie vor allem auf Grund der umfangreichen Nutzung von Extensivierungsmaßnahmen sogar zurück. Weitergehende Untersuchungen bringen deutlich zum Ausdruck, dass mit Beginn der 1990er-Jahre die Spannweite und die Standardabweichung der Erträge bei den meisten Fruchtarten stark zugenommen haben (Tab. 4.1.1/1). Das trifft insbesondere für leichte Standorte zu. Die Ergebnisse für den Landkreis Torgau-Oschatz, der im Norden durch diluviale Böden gekennzeichnet ist, belegen diese Aussagen. Im Landkreis Freiberg, in dem eine feucht-kühle Witterung vorherrscht, werden höhere Ertrags-Zuwachsrate mit geringen Ertragsschwankungen erzielt.

Auf Grund der bisherigen Ergebnisse zur Ertragsentwicklung ist davon auszugehen, dass künftig die Ertragsvariabilität infolge des häufigeren Auftretens längerer Trockenphasen in Verbindung mit hohen Temperaturen weiter zunehmen wird. Häufigere Extremereignisse wie Überschwemmungen, Hitze und Dürreperioden, Hagel und Spätfröste werden die Ertragsstabilität weiter vermindern. In Jahren mit günstiger Niederschlagsverteilung und ohne extrem hohe Temperaturen werden standortabhängig sehr hohe Erträge möglich sein. Unter derartigen Bedingungen kann das gestiegene Ertragspotenzial neuer Sorten gut ausgeschöpft werden. Dagegen sind drastische Ertragsdepressionen bei zeitig einsetzendem Wassermangel in Verbindung mit hohen Temperaturen wie in den Jahren 2003 und 2007 zu erwarten. Vor allem leichte und flachgründige Böden mit geringem Wasserspeichervermögen in Nord- und Ostachsen sind hiervon betroffen.

Die feucht-kühlen Verwitterungsstandorte im Süden von Sachsen werden künftig vom Temperaturanstieg und der verlängerten Vegetationszeit profitieren, vorausgesetzt, die Wasserversorgung ist in den pflanzenbaulich wichtigen Entwicklungsabschnitten ausgeglichen. Auf das längere Ausbleiben von Niederschlägen reagieren jedoch flachgründige Verwitterungsböden auf Grund ihrer geringen Wasserspeicherkapazität mit ähnlichen Ertragsausfällen wie Sandstandorte.

Die tiefgründigen Lössstandorte sind - wie das Jahr 2008 eindrucksvoll zeigt - in der Lage, kürzere Trockenperioden zu kompensieren, so dass hier auch künftig hohe und relativ stabile Erträge zu erwarten sind.

Grundsätzlich wird bei zunehmendem Trockenstress in der Vegetationsperiode das Wasserspeichervermögen des jeweiligen Standortes eine ausschlaggebende Bedeutung für die Höhe und die Stabilität des Ertrages erlangen.

Die Ertragssimulation mit dem Modell YIELDSTAT ergab (siehe 3.2), dass klimabedingte Auswirkungen auf die Ernteerträge der wichtigsten Fruchtarten wahrscheinlich bis 2050 moderat ausfallen werden. Wird bei der Simulation der biologisch-technische Fortschritt im Pflanzenbau, der stärker zum Tragen kommende CO₂-Düngungseffekt sowie die gezielte Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen an den fortschreitenden Klimawandel einbezogen, so ist ein weiterer Ertragsanstieg bei Getreide und Raps bis 2050 zu erwarten. Abschätzungen der Ertragsentwicklung mit dem Modell ArcEGMO-PSCN für die Versuchstandorte Forchheim, Nossen, Pommritz und Baruth führten zu dem Ergebnis, dass die Erträge von Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps, Sommergerste und Silo-

mais bis 2050, selbst ohne Berücksichtigung von Züchtungsfortschritt und CO₂-Düngungseffekt, keinen wesentlichen, durch den Klimawandel induzierten Veränderungen unterliegen (KLÖCKING und FERBER 2008). Zu grundsätzlich ähnlichen Aussagen kommt eine Studie des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung, in der die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter dem Einfluss des Klimawandels untersucht wurde (WECHSUNG et al. 2008). Der Studie zufolge sind jedoch unterschiedliche Ertragsauswirkungen einzelner Fruchtarten gegenüber kritischen Klimaveränderungen zu erwarten. Im Vergleich zur Sommerkultur Mais reagiert die robustere Winterkultur Weizen weniger empfindlich auf Witterungsabläufe mit ausgeprägter Vorsommertrockenheit. Insgesamt kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass die Erträge bis zur Mitte des Jahrhunderts weitestgehend stabil bleiben und die Chancen für die Landwirtschaft größer sind als die Risiken. Allerdings ist zu beachten, dass die simulierten Erträge oft 30-jährige Mittelwerte darstellen. Infolge der zunehmenden Klimavariabilität können die Erträge in einzelnen Jahren bzw. Regionen erheblich schwanken, was die Simulationsberechnungen nicht ausreichend abbilden können. Grundsätzlich ist zu beachten, dass Klimaprojektionen „Wenn-Dann-Aussagen“ in Abhängigkeit des jeweiligen Emissionsszenarios, der Modellsensitivität und der Modulation durch die natürliche Klimavariabilität (Schwankungen der Sonnenaktivität, Vulkantätigkeit, Meeresströmung, Aerosole, Albedo) darstellen. Weiterhin können aus tatsächlichen Witterungsverläufen resultierende Ausprägungen von Extremereignissen sowie nichtlineare Effekte im Klimawandel von Klimamodellen bisher nicht prognostiziert werden. Neben der Unsicherheit der Wirkmodelle (Schwellenwerte, Schädlinge, komplexe Wirkung von Hitze – Trockenheit – Strahlung - Ozon, ...) führt das zu einer erheblichen, unvermeidbaren Unsicherheitsspanne bei den aus den projizierten, mittleren Veränderungen abgeleiteten Auswirkungen in der Landwirtschaft.

Die Zuwachsraten der Erträge werden sehr wahrscheinlich bis 2050 nicht das hohe Niveau der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erreichen, wobei sich Unterschiede zwischen den Fruchtarten und den Standortregionen ergeben werden. So werden die Winterungen in ihrem Ertragsvermögen durch eine längere Herbstentwicklung und das zeitigere Einsetzen des Wachstums im Frühjahr begünstigt und können daher am ehesten noch wesentliche Zuwachsraten erreichen. Hinzu kommt, dass sie die während des Winters aufgefüllten Bodenvorräte gut zur Ertragsbildung nutzen können. Die Sommerkulturen, insbesondere Mais, dürften hingegen künftig zunehmend unter Trockenstress und hohen Temperaturen im Frühjahr und Sommer leiden, was die Höhe und die Stabilität der Erträge negativ beeinflusst.

Im Hinblick auf die Entwicklung der Ernteerträge in Sachsen ist zu beachten, dass die künftig weiter ansteigenden CO₂-Gehalte der Atmosphäre das Pflanzenwachstum eher begünstigen. Steigende CO₂-Gehalte verbessern die Wassereffizienz der Pflanzen, so dass die Negativeffekte von Trockenstress und Temperaturanstieg zumindest teilweise ausgeglichen werden. Besonders C3-Pflanzen wie Getreide, Raps, Rüben und Kartoffeln profitieren vom CO₂-Düngungseffekt. Qualitätsbezogene Parameter wie z. B. der Rohproteingehalt, scheinen bisherigen Erkenntnissen zufolge auf eine CO₂-Zunahme negativ zu reagieren.

Die weitere Ertragsentwicklung in Sachsen wird nicht unwesentlich von den ökonomischen, rechtlichen und betrieblichen Bedingungen beeinflusst. Die künftigen Erzeugerpreise, die Preise für Betriebsmittel und Technik, das Ertragsvermögen neuer Sorten, die Anwendung neuer Applikations- und Bestellverfahren und das Betriebsmanagement sind Faktoren, die das Ausschöpfen des möglichen Ertragspotenzials mitbestimmen. Bei optimaler Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind bis 2050 vergleichsweise geringe Auswirkungen auf den Pflanzenbau in Sachsen zu erwarten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bis 2050 in Sachsen im langjährigen Mittel nur relativ geringe Ertragsänderungen zu erwarten sind und am ehesten bei Winterungen unter optimistischen Annahmen ein weiterer Ertragszuwachs zu erwarten ist. Allerdings wird die Stabilität der Erträge abnehmen. Die Häufigkeit des Auftretens von Extremereignissen, v. a. von Hitze- und Trockenperioden, wird vermutlich künftig das Hauptproblem des Pflanzenbaus darstellen. Das Wasserspeichervermögen der Böden wird zu einem zunehmend ertragsbestimmenden Faktor.

Tab. 4.1.1/1: Entwicklung der Erträge und der Stabilität vorherrschenden Kulturarten im Freistaat Sachsen in drei Zeitabschnitten von 1955 bis 2007

| Region | Freisaat Sachsen | | | | Landkreis Bautzen | | | | Landkreis Döbeln | | | | Landkreis Freiberg | | | | Landkreis Torgau | | | |
|----------------------|------------------|------|------|----|-------------------|------|------|----|------------------|------|------|----|--------------------|------|------|----|------------------|------|------|----|
| | MW dt/ha | V | s | n | MW dt/ha | V | s | n | MW dt/ha | V | s | n | MW dt/ha | V | s | n | MW dt/ha | V | s | n |
| Winterweizen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 33,3 | 18,7 | 4,4 | 17 | 36,5 | 5,3 | 2,2 | 4 | 38,4 | 11,9 | 4,1 | 13 | 34,2 | 9,2 | 2,5 | 12 | 35,0 | 15,6 | 4,2 | 13 |
| 1972 - 1989 | 47,1 | 15,3 | 4,4 | 18 | 45,5 | 19,5 | 5,3 | 17 | 52,1 | 20,0 | 5,8 | 17 | 44,8 | 22,0 | 5,6 | 18 | 48,6 | 20,4 | 5,6 | 17 |
| 1990 - 2007 | 64,3 | 31,0 | 7,2 | 18 | 61,7 | 30,8 | 8,8 | 15 | 73,8 | 27,3 | 7,5 | 15 | 60,4 | 23,6 | 6,5 | 15 | 64,1 | 42,8 | 11,8 | 15 |
| Wintergerste | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 32,6 | 16,2 | 4,2 | 17 | 33,4 | 6,1 | 2,7 | 4 | 38,8 | 6,5 | 2,8 | 4 | 34,2 | 6,1 | 2,5 | 9 | 38,5 | 6,2 | 2,6 | 4 |
| 1972 - 1989 | 50,9 | 24,0 | 5,6 | 18 | 50,3 | 17,4 | 4,6 | 17 | 55,2 | 28,4 | 6,6 | 17 | 48,5 | 31,0 | 7,2 | 18 | 48,5 | 22,6 | 6,7 | 17 |
| 1990 - 2007 | 60,4 | 32,5 | 8,0 | 18 | 58,0 | 43,2 | 10,7 | 15 | 67,2 | 30,1 | 8,5 | 15 | 54,6 | 28,5 | 9,1 | 15 | 59,8 | 39,0 | 10,1 | 15 |
| Winterroggen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 25,6 | 17,4 | 4,0 | 17 | 26,5 | 3,2 | 1,3 | 4 | 31,6 | 14,4 | 4,3 | 13 | 27,7 | 10,7 | 3,2 | 12 | 22,4 | 8,2 | 2,5 | 13 |
| 1972 - 1989 | 36,8 | 11,8 | 3,0 | 18 | 32,0 | 11,4 | 3,4 | 17 | 40,3 | 27,2 | 8,0 | 12 | 39,3 | 20,1 | 5,5 | 18 | 34,3 | 11,7 | 3,8 | 17 |
| 1990 - 2007 | 49,5 | 29,0 | 7,6 | 18 | 52,4 | 30,8 | 9,2 | 15 | 74,5 | 30,6 | 8,2 | 14 | 59,5 | 30,3 | 7,8 | 15 | 47,9 | 35,1 | 10,3 | 15 |
| Sommergerste | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 29,7 | 15,0 | 3,6 | 17 | 32,1 | 6,0 | 2,8 | 4 | 35,1 | 6,9 | 3,2 | 4 | 33,1 | 8,9 | 2,8 | 10 | 33,5 | 7,1 | 3,2 | 4 |
| 1972 - 1989 | 41,0 | 20,4 | 5,2 | 18 | 38,6 | 20,9 | 5,3 | 17 | 44,6 | 38,4 | 9,0 | 17 | 40,8 | 22,1 | 6,2 | 18 | 40,8 | 21,8 | 5,8 | 17 |
| 1990 - 2007 | 47,5 | 15,0 | 5,0 | 18 | 47,1 | 25,1 | 6,9 | 15 | 52,3 | 15,4 | 5,1 | 15 | 47,3 | 14,5 | 3,5 | 15 | 46,0 | 31,9 | 10,9 | 14 |
| Winterraps | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 15,6 | 11,7 | 3,2 | 17 | 17,6 | 6,5 | 2,7 | 4 | 18,6 | 5,6 | 4,0 | 4 | 17,4 | 5,9 | 2,4 | 5 | 18,6 | 11,3 | 4,7 | 4 |
| 1972 - 1989 | 22,1 | 6,0 | 2,0 | 18 | 20,5 | 12,2 | 3,2 | 17 | 21,8 | 4,6 | 1,9 | 4 | 21,8 | 14,5 | 3,6 | 18 | 21,5 | 13,0 | 4,7 | 11 |
| 1990 - 2007 | 31,6 | 17,6 | 4,4 | 18 | 31,9 | 20,6 | 5,1 | 14 | 36,2 | 17,5 | 4,8 | 15 | 31,6 | 18,8 | 5,0 | 13 | 30,1 | 20,6 | 5,5 | 15 |
| Silomais, CCM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 366 | 205 | 65,0 | 16 | 384 | 135 | 55,3 | 9 | 415 | 169 | 47,6 | 12 | 366 | 239 | 83,0 | 11 | 328 | 145 | 46,0 | 12 |
| 1972 - 1989 | 391 | 222 | 60,2 | 18 | 372 | 243 | 66,1 | 17 | 426 | 337 | 82,0 | 17 | 427 | 415 | 113 | 18 | 311 | 318 | 76,7 | 17 |
| 1990 - 2007 | 409 | 185 | 45,3 | 18 | 419 | 218 | 67,7 | 15 | 473 | 199 | 49,6 | 15 | 412 | 137 | 33,3 | 15 | 371 | 277 | 76,9 | 15 |
| Grünland | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 - 1971 | 55,3 | 21,6 | 6,3 | 17 | 53,5 | 21,3 | 6,6 | 12 | 54,3 | 23,2 | 5,9 | 15 | 68,2 | 55,7 | 17,8 | 12 | 45,8 | 26,4 | 7,4 | 15 |
| 1972 - 1989 | 71,4 | 30,9 | 7,3 | 18 | 72,2 | 43,2 | 10,8 | 18 | 66,3 | 34,3 | 8,4 | 18 | 80,6 | 39,0 | 8,9 | 18 | 58,6 | 33,9 | 7,4 | 18 |
| 1990 - 2007 | 74,6 | 41,3 | 9,7 | 18 | 71,2 | 56,0 | 13,2 | 17 | 79,6 | 54,8 | 15,0 | 17 | 76,1 | 44,0 | 9,5 | 17 | 70,0 | 48,7 | 11,8 | 17 |

MW = Mittelwert;

V = Spannweite der Werte [dt/ha], trendbereinigt;

s = Standardabweichung, trendbereinigt;

n = Anzahl der erfassten Jahre im Zeitabschnitt

4.1.2 Entwicklung der Humusgehalte und Auswirkung auf die Bodenfruchtbarkeit

Der Humus bzw. die organische Substanz des Bodens hat eine große Bedeutung u. a. für die Bodenstruktur, als Nährstoffspeicher und in der Nährstoffdynamik im Jahresverlauf. Wichtige Grundnährstoffe (N, P, S) sowie einige Spurenelemente sind direkt im Humus eingebaut, er ist deren Hauptspeicher im Boden. Der Humusumsatz eines Standortes ist von Einflussfaktoren des Klimas bzw. der Witterung (Temperatur, Niederschlag bzw. Wasserversorgung), des Bodens (z. B. Tongehalt) und der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Qualität und Zufuhrhöhe der organischen Substanz etc.) abhängig. Da der Boden in diesem Zusammenhang als Quelle und auch als Senke sowohl für klimawirksame Stoffe (CO_2 , N_2O , CH_4 , NH_3) als auch für landwirtschaftlich bedeutende Produktionsfaktoren (u. a. Nährstoffe) fungiert, können Änderungen des Humusgehaltes große Bedeutung sowohl direkt für den Klimawandel, für weitere Umweltwirkungen (Wasserschutz, Biodiversität) als auch für die Bodenfruchtbarkeit aufweisen.

Die für Sachsen zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Humus- bzw. C_{org} - und N_{t} -Gehalte (C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff im Boden; N_{t} = Gesamtstickstoff im Boden) des Bodens sowie potenzielle Möglichkeiten der Gegensteuerung durch Bewirtschaftungs- und Nutzungsänderungen wurden für folgende drei Standorte im Zeitraum 2000 - 2050 untersucht:

- Agrarstrukturgebiet 1, D-Standort (anlehmiger Sand): Temperatur +0,9 bis +2,1 K, Niederschlag -6 bis -126 mm,
- Agrarstrukturgebiet 3, Lö-Standort (sandiger Lehm): Temperatur +1,0 bis +2,3 K, Niederschlag -25 bis -54 mm,
- Agrarstrukturgebiet 4, V-Standort (sandiger Lehm): Temperatur +1,0 bis +2,4 K, Niederschlag -31 bis -118 mm.

Bei Beibehaltung der augenblicklichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung etc.) ist auf den Sandböden des D-Standortes durch den prognostizierten Klimawandel (Anstieg der Temperatur, Abfall der Niederschläge) zu erwarten, dass die Humusgehalte von ca. 1,36 % im Jahr 2000 um 0,12 % C_{org} (0,06 - 0,17 % je nach Berechnungsverfahren) bis zum Jahr 2050 abnehmen werden. Auf dem Lö-Standort des Mittelsächsischen Lössgebietes werden zwar je nach Verfahren etwas unterschiedliche Ergebnisse berechnet, die zu erwartenden Auswirkungen sind insgesamt aber nicht sehr groß. Es wird bei einem durchschnittlichen Gehalt um 1,38 % C_{org} ein leichter Abfall von rechnerisch 0,04 % (+ 0,06 bis - 0,09 %) C_{org} erwartet.

Entsprechend den postulierten Klimaszenarien wird sich das Klima der Vorgebirgslagen am V-Standort im Jahr 2050 in den Durchschnittswerten der Temperatur und der Niederschlagsmenge immer mehr den klimatischen Bedingungen des Lö-Standortes von heute anpassen. Da für beide Standorte weitgehend ähnliche Bodenverhältnisse zugrunde gelegt werden (sandiger Lehm), liegt es nahe anzunehmen, dass sich die Humusgehalte entsprechend den zu erwartenden klimatischen Bedingungen ebenfalls angleichen werden. Auf Standorten mit Vorgebirgsklima (niedrige Temperaturen, relativ hohe Niederschläge) stellten sich im Allgemeinen mit der Zeit vergleichsweise hohe Gehalte an Humus und hohe Werte an N_{t} im Boden ein. Daher wird heute im Agrarstrukturgebiet 4 ein durchschnittlicher Gehalt von 2,12 % C_{org} vorgefunden. Durch den zu erwartenden Klimawandel werden sich diese Gehalte aller Voraussicht nach deutlich reduzieren. Je nach zugrunde gelegtem Klimaszenario und dem verwendeten Berechnungsverfahren beträgt die Spannbreite der zu erwartenden Gehaltsänderung von weitgehender Aufrechterhaltung (+ 0,02 % C_{org}) bis zu einer Abnahme um 0,43 % C_{org} , bzw. eine Abnahme von bis zu 0,86 % C_{org} bei Zugrundelegung von etwas deutlicheren klimatischen Veränderungen.

Weiterhin ist zu bedenken, dass es in Folge des Klimawandels zu einer parallelen Entwicklung der N_{t} -Gehalte und darüber hinaus voraussichtlich auch mit anderen im Humus gebundene Nährstoffe (P, S) kommen wird. Daher erscheint es sehr plausibel, dass es bei

Erhöhung der Temperatur (und Abfall der Niederschläge) zu einer stärker ausgeprägten Abnahme der C_{org} - und N_{t} -Werte des Bodens von Vorgebirgslagen kommt als in Gebieten, in denen bereits eine relativ hohe Durchschnittstemperatur vorherrscht. Auf Grund der Gesetzmäßigkeit zwischen Temperatur und Humusumsatz wird mit steigenden Temperaturen der Abfall im Humusgehalt und auch im N_{t} -Gehalt immer geringer. Neben der Freisetzung von erheblichen Kohlenstoffmengen dürfte hierbei vor allem auch die Mineralisation an Stickstoff zu beachten sein.

Durch den postulierten Klimawandel kommt es daher zu einem teilweise deutlichen Rückkopplungsprozess, der insbesondere von der angenommenen Temperaturerhöhung ausgeht und dessen Ausmaß in Europa von Süd nach Nord und von den Niederungen zu den Höhenlagen und Bergregionen deutlich zunehmen dürfte. Der Temperaturanstieg bewirkt eine Abnahme des Humusgehaltes durch Freisetzung an CO_2 und aller Voraussicht nach auch eine Erhöhung der N_2O -Emissionen auf Grund der mineralisierten N-Äquivalente aus dem Humus. Die Freisetzung dieser Spurengase kann wiederum in der bekannten Weise zur Verstärkung des Klimawandels beitragen. Bei einer Bodentiefe von 30 cm, einem spezifischen Gewicht von $1,5 \text{ g/cm}^3$ und einem C/N-Verhältnis von durchschnittlich 9:1 werden auf dem V-Standort bei einer Abnahme des C_{org} -Gehaltes von 0,5 % folgende Stoffmengen zusätzlich je Hektar und Jahr entstehen:

- 450 kg C , bzw. $\times 3,66 = 1650 \text{ kg CO}_2$,
- 50 kg N , davon $1,5 \% = 0,75 \text{ kg N}_2\text{O-N}$.

Diese Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff sind im Hinblick auf die Klimawirksamkeit, die N-Düngungsbemessung und den Wasserschutz für den Vorgebirgsstandort nicht zu unterschätzen. Dagegen betragen die freiwerdenden Emissionen auf den D- und Lö-Standorten nur ungefähr $1/5$ der Höhe des V-Standorts. Diese Mengen dürften im Landwirtschaftsbe- reich kaum eine Rolle spielen, während die Klimawirksamkeit auf Grund des relativ hohen Flächenumfangs zu bedenken ist. Allein durch den zu erwartenden Ertragsanstieg (auch infolge des CO_2 -Düngeeffektes) können diese Emissionen auf dem D- und Lö-Standort bereits halbiert werden, auf dem V-Standort ist dieser Effekt allerdings deutlich geringer zu veranschlagen. Es ist daher weiter zu untersuchen, ob diese ersten Berechnungen, insbesondere für das sächsische Vorgebirge, durch andere Untersuchungen bestätigt werden, welche Konsequenzen hieraus für die Düngung und Pflanzenernährung zu ziehen und welche Einflüsse auf Umweltbedingungen (Spurengase, Wasserschutz) zu erwarten sind.

Auf den V-Standorten der Gebirgs- und Vorgebirgslagen werden ein verstärkter Humusabbau und eine damit zusammenhängende Stickstofffreisetzung zu erwarten sein. Auf den D- und Lö-Standorten wird dagegen nur ein geringer Humusabbau eintreten.

4.1.3 Bodenwasserhaushalt

Die für Sachsen projizierten Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse werden auf den Wasserhaushalt der Böden Einfluss nehmen. Dies hat Auswirkungen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse in den Böden.

Es ist wahrscheinlich bzw. nicht auszuschließen, dass regional bzw. standörtlich bedingt

- in die Böden weniger Wasser infiltriert wird (Intensitätszunahme von Starkregen bedeutet mehr Oberflächenabfluss),
- das pflanzenverfügbare Wasser während der Vegetationsperiode abnehmen wird,
- Bodenwassergehalte am permanenten Welkepunkt öfter erreicht werden (Zunahme der Hydrophobizität und in tonreichen Böden öfter Trockenrissbildung) und
- Böden mit hohen Vernässungsgraden weniger stark vernässen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt sind von der Bodenform, der Klimaregion und der Landnutzung abhängig.

Ausgehend von gemessenen (1961 - 2005) und prognostizierten Wetterdaten (bis 2100) von acht Klimastationen werden im Rahmen eines Projektes (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Bodenschutz) für repräsentative Böden Sachsens Modellierungen zum Bodenwasserhaushalt durchgeführt. Im Mittelpunkt der Auswertungen steht die standortbezogene Analyse der Modellierungsergebnisse unter Berücksichtigung klimaregionaler Unterschiede, Eigenschaften von Bodenformen und standortbezogener Landnutzungen.

Die Modellierung erfolgt in Tagesschrittweiten mit dem deterministischen Modell ArcEGMO-PSCN (KLÖCKING, 2008), welches neben einem detaillierten Bodenmodell komplexe Vegetationsmodelle umfasst.

Die klimatischen Zukunftsszenarien für Sachsen wurden mit der Regionalisierungsmethodik WEREX IV auf der Grundlage des globalen Klimamodells ECHAM5, SRES-IPCC-Emissionsszenario A1B, 1961 - 2100 vom CEC Potsdam erstellt.

Insgesamt wurden 10 Klimaszenarien realisiert, aus denen für die Untersuchungen der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung ein trockenes (trocken), ein nasses (feucht) und ein mittleres (normal) Szenario abgeleitet wurden.

Simulationsergebnisse zur Entwicklung des Bodenwasserhaushaltes liegen bisher nur für Böden der Region Chemnitz vor. Diese reagieren in unterschiedlichem Maße auf den Klimawandel.

Betrachtet man die Änderungen der langjährigen mittleren klimatischen Wasserbilanz in der Region Chemnitz (Standortregion Erzgebirgsvorland, Abb. 4.1.3/1), ist erkennbar, dass diese im langjährigen Mittel um 125 – 150 mm/a abnehmen wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz auftreten, wird zunehmen (Abb. 4.1.3/2). Traten im Zeitraum 1961 - 95 zwei Jahre mit negativer klimatischer Wasserbilanz auf, so werden im Zeitraum 2031 - 2065 je nach Szenario vier bis neun Jahre eine negative klimatische Wasserbilanz aufweisen. Die Abschätzung über das Jahr 2065 hinaus zeigt eine Zunahme dieses Trends (Abb. 4.1.3/2).

Die Ermittlung des Verhältnisses von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration (Abb. 4.1.3/3) als Index für die Wasserversorgung eines Bestandes (z. B. Index 1 = optimale Wasserversorgung, Index 0,8 = 80 % der möglichen Verdunstung werden erreicht) zeigt, dass die Wasserversorgung für Pflanzen, durch die Zunahme an Trockenjahren, unsicherer wird. Betroffen sind vor allem flachgründige und skelettreiche Böden mit geringer Feldkapazität im Wurzelraum ($n_{FK} < 120$ mm). Diese Böden der Standortregion Erzgebirgsvorland bewegen sich ab 2030 im Durchschnitt im Bereich einer kritischen Wasserversorgung mit zunehmend negativen Folgen für die Ertragsstabilität (bei Nichtbeachtung des CO_2 -Düngungseffekts und der angenommenen züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertrags-trend). Die vom Institut für Landschaftssystemanalysen des Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Münchenberg durchgeführte regionaldifferenzierte Simulation der Ertragsentwicklung bis 2050 weist für das Erzgebirgsvorland (neben dem Vogtland, dem westlichen Teil der Standortregion „Mittelsächsisches Lössgebiet“ und dem Gebiet zwischen Torgau und Leipzig), für Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterrap und Silomais

für den Zeitraum 2021 - 2050 Ertragsverluste aus (bei Nichtbeachtung des CO₂-Düngungseffekt und der angenommenen züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertrags-trend, siehe Kapitel 3.2). Diese sind besonders ausgeprägt bei der WEREX-Realisierung WEREX-A1B-TRO, treten aber auch bei WEREX-A1B-FEU auf (Tab. 3.2/2, Tab. 3.2/4 sowie Abb. 3.2/1). Bei Berücksichtigung der CO₂-Düngungswirkung (und Nichtbeachtung der angenommenen züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertragstrends) werden für das Erzgebirgsvorland für Winterraps (nur bei WEREX-A1B-TRO) und für Silomais (bei WEREX-A1B-FEU und WEREX-A1B-TRO) im Zeitraum 2021 - 2050 Mindererträge postuliert (Tab. 3.2/4). Werden bei den Szenariosimulationen zusätzlich noch der CO₂-Düngungseffekt und der angenommenen züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertragstrend berücksichtigt (Variante 3 in Kap. 3.2), dann weist nur noch der Silomais einen Ertragsrückgang in der Standortregion Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland auf (Tab. 3.2/4). Hieraus ist abzuleiten, dass Veränderungen im Wasserhaushalt in Wechselwirkungen mit weiteren ertragsbestimmenden Faktoren (CO₂-Düngungseffekt, züchtungs- und anbautechnologiebedingte positive Ertragstrends) stehen.

Auf den tiefgründigen Lössböden (hohe nFK) ist eine ausreichende Wasserversorgung der Vegetation gegeben, so dass Trockenstress sehr selten auftreten wird.

Die Sickerwasserraten gehen erheblich zurück, insbesondere auf Böden mit hoher nFK, z. B. Lössböden von 240 auf 160 (feucht) bis 80 (trocken) mm im Jahresmittel (Abb. 4.1.3/4). Dadurch wird eine 60 – 30 % geringere Grundwasserneubildung erwartet, was zu Veränderungen im Gebietswasserhaushalt führen kann. Darüber hinaus ist mit einer Zunahme der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser zu rechnen, dadurch wird die Einhaltung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie erschwert.

Auffällig ist, dass sich die Sickerwasserraten in den beiden letzten 35-Jahreszeiträumen nicht unterscheiden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in Abhängigkeit vom Wasserspeichervermögen negative Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung zu erwarten sind.

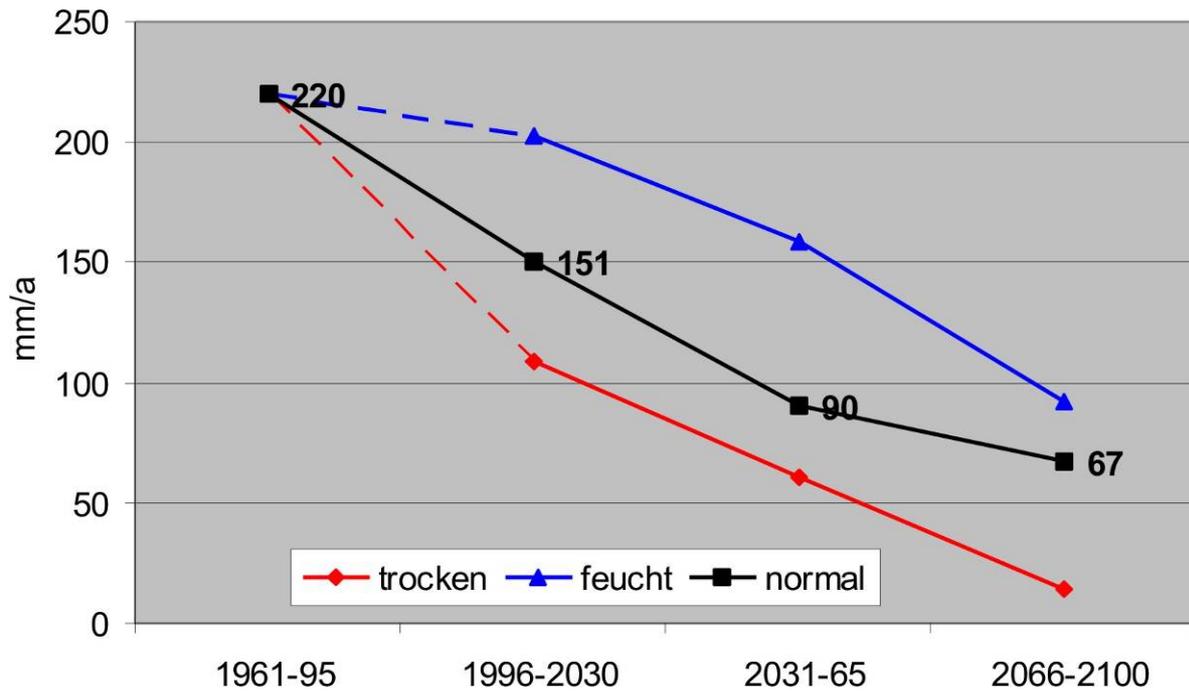


Abb. 4.1.3/1: Abschätzung der langjährigen mittleren klimatischen Wasserbilanz in der Region Chemnitz (1961 - 2100)

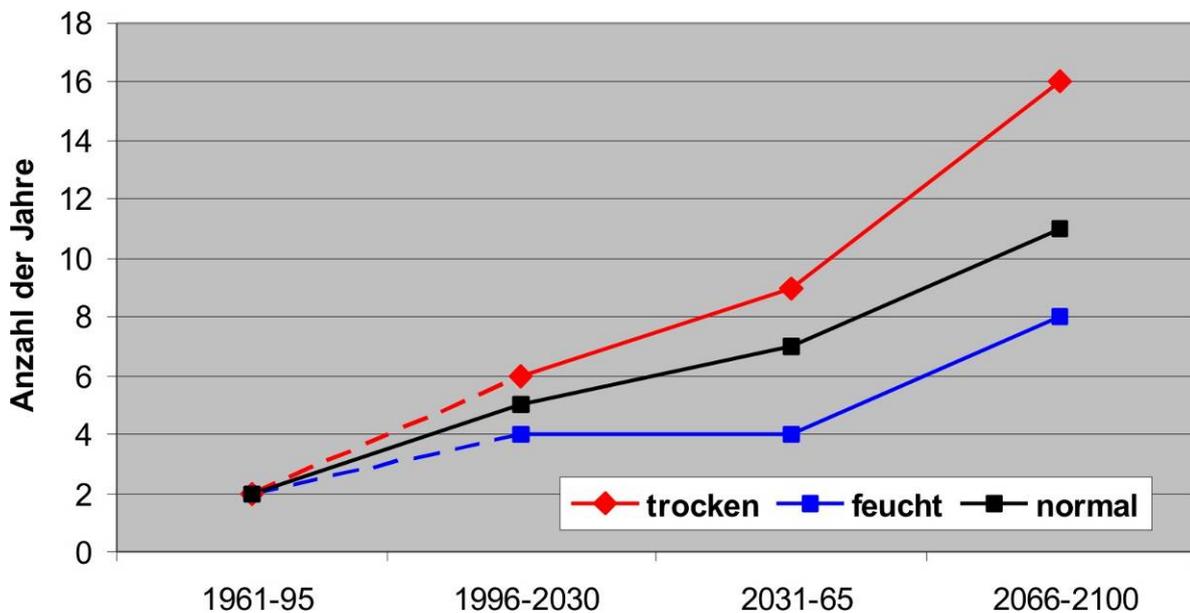


Abb. 4.1.3/2: Abschätzung der Anzahl von Jahren mit negativer klimatischer Wasserbilanz innerhalb von 35-Jahreszeiträumen (Region Chemnitz, 1961 - 2100)

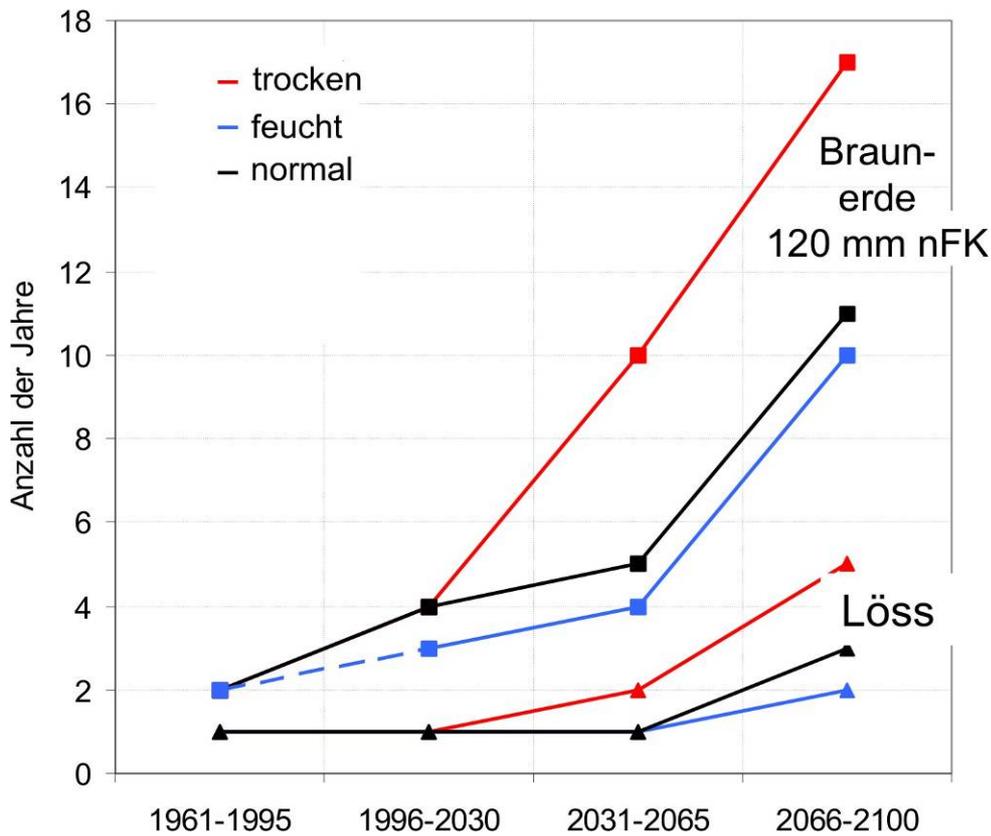


Abb. 4.1.3/3: Abschätzung der Jahre mit einem Verhältnis von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration $< 0,8$ innerhalb von 35-Jahreszeiträumen (Region Chemnitz, 1961 - 2100) 43,51 = LBF-Nr. laut Bodenatlas Sachsen

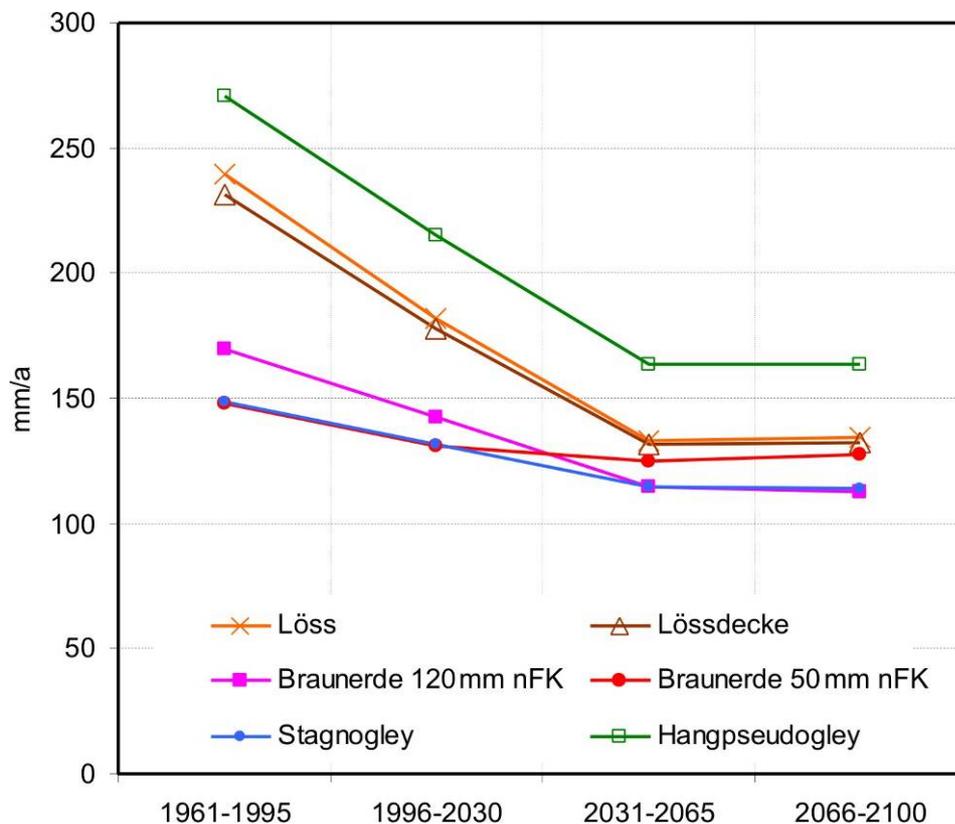


Abb. 4.1.3/4: Abschätzung der Sickerwasserraten auf Ackerböden der Region Chemnitz (1961 - 2100, WEREX IV A1B normal)

4.1.4 Erosionsgefährdung und weitere Agrarumweltprobleme

Erosionsgefährdung

Aktuell sind in Sachsen die schluffreichen, oftmals stärker geneigten Ackerböden der Löss- und Sandlösslandschaften (Mittelsächsisches Lössgebiet) sowie des Berglandes und der Mittelgebirge (Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland, Oberlausitz, Sächsische Schweiz) wassererosionsgefährdet. Für das Einsetzen von Erosion ist das Auftreten von Niederschlägen mit entsprechender Menge oder Intensität notwendig. Als Richtwert gelten eine Menge von 7,5 l/m² oder eine Intensität von 5 l/m² *h Regen. Solche Niederschläge können auf Ackerflächen die infiltrationshemmende Oberflächenverschlammung auslösen. Dies gilt insbesondere für konventionell mit dem Pflug bestellte schluff- und feinsandreiche Ackerflächen direkt nach der Saatbettbereitung bis zur Ausbildung eines schützenden Pflanzenbestandes.

Die diluvialen, weitgehend ebenen Ackerflächen in den nördlichen Landesteilen (Standortregion Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) sind wegen der dort vorherrschenden feinsandreichen Böden winderosionsgefährdet. Besonders betroffen sind trockene, nichtbedeckte Flächen mit hohem Feinstsandanteil bzw. Anmoore in gleichzeitig windoffenen Landschaften. Vergleichbar zur Wassererosion tritt Winderosion besonders auf ausgedehnten und konventionell mit dem Pflug bearbeiteten Ackerflächen im Zeitraum nach der Saatbettbereitung bis zum Aufwuchs einer schützenden Pflanzendecke auf.

Bezogen auf die gesamte Ackerfläche Sachsens sind ca. 60 % (450.000 ha) potenziell wassererosionsgefährdet und ca. 20 % (150.000 ha) potenziell winderosionsgefährdet.

Als Folge von Wasser- und Winderosion treten folgende Schäden im Bodenabtragsbereich auf:

- Verkürzung der Bodenprofile,
- Verarmung an Humus und Feinbodenteilchen,
- Beeinträchtigung der Bodenfunktionen (z. B. Filter-, Puffer- und Speicherfunktion für Nährstoffe und Niederschlagswasser),
- Verletzung, Entwurzelung und Vernichtung von Kulturpflanzen,
- Verlagerung bzw. Verfrachtung von Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln.

Im Bodenauftrags- bzw. Ablagerungsbereich verursachen Wasser- und Winderosion nachstehend aufgeführte Schäden:

- Konzentration von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln,
- Überdeckung von Pflanzen,
- Verschmutzung von Verkehrswegen, Siedlungsflächen und Gräben,
- Eintrag von Sedimenten, Nähr- und Schadstoffen in Gewässer.

Die im Rahmen des Klimawandels für Sachsen projizierte Zunahme der Intensität des Starkregens im Sommerhalbjahr bringt eine über das heute bereits bestehende hohe Gefährdungspotenzial hinausgehende Wassererosionsgefährdung mit sich. Die gleichzeitig ungünstigere Wasserversorgung der Pflanzen (Niederschlagsverteilung, Trockenperioden) führt zu einer weniger dichten Pflanzenbedeckung, welche wiederum das Erosionsrisiko für Wassererosion und Winderosion (insbesondere in Nord- und Ostsachsen) erhöht. Darüber hinaus wirkt ein potenzieller Humusabbau destabilisierend auf das Bodengefüge und verstärkt dadurch die Erosionsempfindlichkeit des Bodens.

Weitere Agrarumweltprobleme

Infolge des prognostizierten Klimawandels ist auch mit erheblichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt auf Einzugsgebietsebene und damit den Nährstoffhaushalt und die Nährstoffversorgung der Böden zu rechnen. In Abhängigkeit von den in den einzelnen Standort-Regionen unterschiedlichen Trends können sich insbesondere für den Stickstoffhaushalt folgende maßgeblichen Änderungen ergeben:

- In den Trockengebieten Nord- und Ost Sachsens (Standort-Region Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) ist durch die prognostizierte Verstärkung der Frühsommertrockenheit mit abnehmender Ertragsstabilität zu rechnen. Dadurch ergeben sich nicht nur Probleme bei der Ausnutzung und Verwertung der ausgebrachten N-Dünger (v. a. bei der 3. N-Gabe zu Qualitätsweizen), sondern bei abnehmender Niederschlagsmenge auch Probleme mit zunehmenden N-Konzentrationen im Sickerwasser, die eine Zielerreichung des „guten Zustands“ für die Grundwasserkörper gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie erschweren könnten.
- Während auf den Lössböden der Standort-Region „Mittelsächsisches Lössgebiet“ die prognostizierte Verlängerung der Vegetationsperiode eher positive Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion haben könnte und bei einer deutlichen Erhöhung der durchschnittlichen Jahrestemperatur lediglich Probleme beim Erhalt und der Sicherung der organischen Bodensubstanz auftreten könnten (verbunden mit der Gefahr der vermehrten N-Freisetzung als Folge der verstärkten Mineralisation der organischen Substanz) ist vor allem in der Standortregion „Erzgebirgskamm und -vorland“ durch die angenommene Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr sowie der Starkniederschläge ein Anstieg der Sickerwassermengen und der damit ausgetragenen Nährstofffrachten sowie beträchtliche Schäden durch hohe Abflussbeiwerte (Eintrag von Sedimenten mit Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer) zu befürchten. Damit verbunden sein kann eine höhere Stickstofffreisetzung auf den Verwitterungsstandorten in Vorgebirgslage durch einen verstärkten Humusabbau in Folge der Temperaturzunahme besonders im Winter.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich in Sachsen bis 2050 ein zunehmendes Risiko der Wassererosion und von Überschwemmungen durch eine erhöhte Intensität von Starkregenereignissen besonders im Frühjahr und Sommer einstellt. Als Folge stark ausgetrockneter Bodenoberflächen durch längere Trockenperioden wird das Winderosionsrisiko zunehmen. Ergänzend dazu ist von einer Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie einem durch Humusabbau bedingten Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorten auszugehen. Auf Verwitterungsstandorten in Vorgebirgslage steigt das Risiko einer höheren Stickstofffreisetzung als Folge eines verstärkten, durch die Temperaturzunahme bedingten Humusabbaus.

4.1.5 Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und tierische Schaderreger

Die klimatischen Veränderungen werden sich auch auf den Druck durch Pflanzenkrankheiten, Unkräuter und Schädlinge auf landwirtschaftliche Kulturen auswirken. Die möglichen Auswirkungen sind dabei weiterhin in starkem Maße von Standort, Anbaustruktur, Bewirtschaftungsart und Züchtung abhängig.

Steigende Temperaturen in Verbindung mit sinkenden Niederschlägen in den entscheidenden Vegetationsabschnitten werden das Spektrum an Krankheitserregern und deren Bedeutung verändern. Entscheidend für den Krankheitsausbruch sind neben dem Vorhandensein und der Aggressivität von Krankheitserregern auch die Prädisposition des Wirts und Umweltfaktoren. So können z. B. Hitze- oder Kältestress, heftige Regenfälle, Schadstoffe, UV-Strahlung und mangelhafte Ernährung der Pflanzenbestände den Krankheitsausbruch begünstigen. Wärmere Temperaturen werden wahrscheinlich einzelne Pathogene fördern und andere schwächen.

Im Trend nehmen bereits Wärme liebende Krankheiten, denen kurze Feuchte- oder Tauphasen zur Ausbreitung ausreichen, zu. Dies belegen auch die langjährigen, im Pflanzenschutz durchgeführten Erhebungen in Sachsen im Rahmen der Schaderregerüberwachung. In Kartoffeln ist in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme der *Alternaria*-Dürrfleckenkrankheit (*Alternaria solani*) feststellbar (KRAATZ 2007). Die Auswertungen zeigen bereits auch tendenziell Verschiebungen bei den Pflanzenkrankheiten hinsichtlich einer Zunahme von Brand- und Rostpilzen. Ein aktuelles Beispiel ist das mit der Dürreperiode von 2006 begünstigte starke Auftreten von Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*). Ebenfalls zu den Wärme liebenden Krankheiten zählt die erst in jüngster Zeit in Sachsen nachgewiesene Blattfleckenkrankheit in Mais (*Setosphaeria turcica*).

Daneben scheint ein abnehmender Trend bei bestimmten Krankheiten, wie z. B. der *Rhynchosporium* Blattfleckenkrankheit der Gerste (*Rhynchosporium secalis*) und der Blatt- und Spelzenbräune des Weizens (*Septoria tritici* und *Septoria nodorum*) sowie der Krautfäule an Kartoffeln (*Phytophthora infestans*) vorhanden zu sein. Diese gehören zur Gruppe der Pilzinfektionen, die für ihre Entwicklung Niederschläge und längere Feuchtephasen und eher mäßig warme Bedingungen benötigen. Dennoch ist in einzelnen Jahren auch mit stärkeren Epidemien solcher Krankheiten zu rechnen.

Erfahrungen der zunehmend milderen Winter belegen auch einen raschen und heftigeren Ausbruch von einzelnen Krankheiten im Frühjahr wie beispielsweise von Echtem Mehltau (*Erysiphe graminis*), Zwergrost (*Puccinia hordei*), Gelb- und Braunrost (*Puccinia striiformis*, *Puccinia recondita*) oder aber auch einen bereits stärkeren Herbstbefall. Die Behandlungsnotwendigkeit von Fuß- und Wurzelkrankheiten im Getreide, wie Halmbruch und Schwarzbeinigkeit, nimmt zu. Weiterhin sind insbesondere nach einem milden Winter häufig Viruskrankheiten zu beobachten, die durch Blattläuse oder Zikaden übertragen werden.

Das Wachstum von Unkräutern wird ebenso wie das landwirtschaftlicher Kulturen durch veränderte Klimabedingungen beeinflusst. Zunächst ist davon auszugehen, dass eine Klimaerwärmung eine Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen bewirkt. Auswertungen für Deutschland zeigten am Vergleich zwischen kälteren und wärmeren Regionen eine deutliche Zunahme der Unkrautarten mit steigendem Temperaturniveau der Regionen (IVA, 2003). Unkräuter können bei einer Erwärmung mehrere Generationen in einem Jahr hervorbringen, damit könnte ihre Verbreitung generell zunehmen. Ein weiterer Trend ergibt sich durch die zunehmend mildere Winterwitterung. Dadurch werden Herbstkeimer, wie z. B. Ackerfuchschwanz, Klettenlabkraut, Taubnessel, Ehrenpreis und Stiefmütterchen bevorzugt und erreichen im Frühjahr ein fortgeschrittenes Entwicklungsstadium. Dies kann zu Minderwirkungen beim Einsatz von Herbiziden führen.

Durch die mit der Klimaveränderung verbundenen höheren Temperaturen und die längere Vegetationsperiode können sich bisher nur in wärmeren Regionen etablierte Arten weiter ausbreiten. Dies gilt v. a. für C4-Pflanzen und damit Unkräuter, die besser an heiße und trockene Bedingungen angepasst sind (SCHALLER und WEIGEL 2008).

Die Zunahme neuer Unkrautarten aus wärmeren Klimaten wird in Sachsen seit einigen Jahren insbesondere in Mais beobachtet. Die Einschleppung erfolgt größtenteils durch Importgüter, z. B. Saat- und Pflanzgut, Tierfutter sowie durch Verkehrsmittel. Ein hohes Vermehrungspotenzial, eine lange Lebensdauer der Samen im Boden, ein kurzer Entwicklungszyklus von der Keimung bis zur Samenreife und ein schnelles Wachstum sind für fast alle dieser neuen Arten charakteristisch. In wärmeren Regionen Europas sind einige dieser Neuankommlinge in bestimmten Kulturen wirtschaftlich bedeutende Ackerunkräuter. In Deutschland kommen die neuen Arten bisher noch relativ selten auf den Ackerflächen vor. Mit der Klimaerwärmung werden deren Entwicklungsmöglichkeiten auch in unseren Regionen begünstigt.

Die Tendenz der Ausbreitung Wärme liebender Arten lässt sich in Sachsen bereits heute am Beispiel der Arten Samtpappel (*Abutilon theophrasti*), Weißer Stechapfel (*Datura stramonium*) oder Giftbeere (*Nicandra physalodes*) erkennen, welche insbesondere im trockenwarmen Jahr 2003 örtlich verstärkt auftraten und wenige Jahre zuvor als Unkraut noch nahezu unbekannt waren.

Die aus China oder Indien stammende Samtpappel zählt zu den weltweit wirtschaftlich bedeutenden Ackerunkräutern und kommt in Deutschland in Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps und Getreide vor. Erschwert wird die Bekämpfung dieser Unkrautart durch das Auflaufen in mehreren Wellen. Die Giftbeere, ein aus Peru stammendes Wärme liebendes Nachtschattengewächs, ist immer öfter in Maisbeständen anzutreffen. Bedingt durch die großen Reihenabstände und die langsame Jugendentwicklung des Mais hat sie dort ungestörte Wachstumsmöglichkeiten.

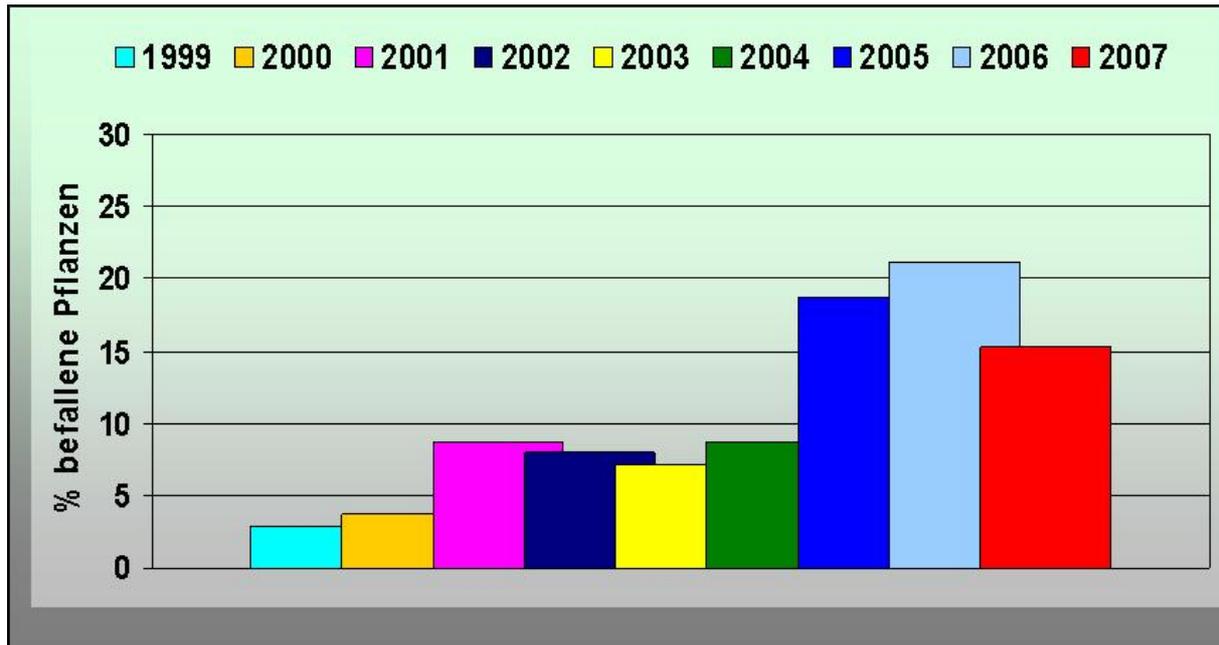
Ein anderer Zuwanderer ist die aus Nordamerika eingeschleppte Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Die Ambrosia ist ein Wärmekeimer. Neben dem Problem als Ackerunkraut kommt bei dieser Art noch hinzu, dass der Pollen der Ambrosia Allergien auslöst, die zu Symptomen wie beim Heuschnupfen führen können.

Örtlich verursachen die neuen Unkrautarten auf den Ackerflächen in Sachsen und in benachbarten Bundesländern bereits Probleme (MEINLSCHMIDT und SCHRÖDER 2008). Insgesamt wird sich mit der erwarteten Klimaänderung der Unkrautdruck auch wegen der zumeist geringeren Konkurrenzkraft der Kulturen erhöhen.

Auch das Schadpotenzial durch Schädlinge wird durch die Klimaveränderungen indirekt und direkt beeinflusst. Sowohl Witterungsschwankungen von Jahr zu Jahr als auch im Jahresverlauf sowie Wetterextreme wirken sich auf die Entwicklung und Größe einer jeweiligen Schädlingspopulation aus.

Allgemein wird mit einer Zunahme des Schädlingsdruckes durch die Klimaerwärmung gerechnet (ROSENZWEIG und HILLEL 1998; PATTERSON et al. 1999).

In Sachsen wird in den letzten Jahren im Rahmen des Monitorings zur Befallssituation ein stärkeres Auftreten von tierischen Schädlingen wie am Beispiel des Kartoffelkäfers oder der Getreideblattläuse sichtbar. Schädlinge wie die Zikaden als Virusvektoren, Thripse oder der Maiszünsler haben erst in den letzten Jahren in unseren Regionen auf sich aufmerksam gemacht bzw. im Auftreten zugenommen (Abb. 4.1.5/1).



**Abb. 4.1.5/1: Maiszünsler-Auftreten in Sachsen 1999 bis 2007 (im Rahmen der Schad-
erregerüberwachung, Boniturtermin Mitte September)**

Insgesamt wird eine zunehmende vitale Überwinterung von Schädlingen erwartet. Daraus resultiert bei befallsfördernder Witterung in Verbindung mit veränderten Anbauverfahren häufig ein höherer und früherer Befallsdruck im darauffolgenden Frühjahr. Dies kann im Frühjahr auch zu einer explosionsartigen Vermehrung mit der Folge einer stärkeren Selektion zur Anpassung an die Wirkmechanismen der Pflanzenschutzmittel führen.

Allgemein wird in den nächsten Jahrzehnten mit einem steigenden Aufwand an Insektiziden gerechnet. Nach FREIER (2004) könnten die durch den erhöhten Schädlingsdruck verursachten Ertragsverluste für die acht wichtigsten Ackerbaukulturen im Jahr 2025 weltweit bei ca. 20 % liegen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von Gegen- und Anpassungsmaßnahmen.

Neben den Auswirkungen auf die Schadorganismen resultieren aus den Klimaveränderungen auch Wirkungsveränderungen von Pflanzenschutzmitteln. Bei hohen Temperaturen und zunehmender Trockenheit im Behandlungszeitraum von Pflanzenschutzmitteln wird deren Wirkung vermindert und unsicherer. Zum Beispiel wirken bei Trockenheit Blattherbizide schlechter wegen der Ausbildung einer starken Wachsschicht der Zielpflanzen und Bodenherbizide schlechter wegen verminderter Wirkstoffaufnahme. Damit verbunden erhöht sich auch die Gefahr von Phytotoxizität bei Anwendung unter trockenen Bedingungen (Herbizide, Wachstumsregulatoren, z. T. auch Fungizide).

Eine regionale Differenziertheit der Auswirkungen des Klimawandels auf Unkräuter, Pflanzenkrankheiten und Schadinsekten lässt sich insgesamt nur sehr grob auf der Grundlage der vorliegenden regionaldifferenzierten Klimaprojektion für Sachsen ableiten.

Insgesamt werden die zuvor beschriebenen Auswirkungen unter Einbeziehung der projizierten Regionsunterschiede für Sachsen vor allem für die Regionen der Sächsischen Heide- und Teichlandschaften mit vorwiegend sehr leichten Böden, die Oberlausitz und Regionen Ostsachsens aber auch teilweise für die Sächsischen Lössgebiete zutreffen.

Dies bezieht sich einerseits auf das bereits gegenwärtig vorhandene unterschiedliche Temperaturniveau zwischen Nord- und Südsachsen, aber auch auf den sich künftig abzeichnenden regional unterschiedlichen Niederschlagsrückgang, der insbesondere bei der extremen Frühjahrs- und Sommertrockenheit 2003 in Sachsen deutlich wurde.

Die Vorgebirgslagen bzw. die kühleren und feuchten Verwitterungsstandorte im Süden Sachsens werden dagegen weniger betroffen sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass neue Schaderreger, die Veränderung im Auftreten bisheriger Schaderreger (Befallsstärke und Verbreitung), schwierigere Anwendungsbedingungen, reduzierte oder eingeschränkte Wirksamkeiten, Resistenzprobleme, nicht genügend Wirkstoffe für chemische Gegenmaßnahmen sowie ein teilweise damit verbundener negativer Einfluss auf Ertrag und Qualität der Produkte die Pflanzenschutzprobleme ansteigen werden lassen.

Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau

- Zunahme der Photosyntheserate bis zum pflanzenartspezifischen Maximumwert
- Verlängerung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode bis zu 30 Tagen vor allem im Frühjahr und damit Zunahme des Früh- und Spätfrosttrisikos
- Verschiebung und Verkürzung des Entwicklungsverlaufes bei determinierten Fruchtarten wie Getreide
- Verkürzung der Kornfüllungsdauer bei zunehmenden Temperaturen
- Verlängerung der Wachstumsperiode bei nicht-determinierten Arten wie Zuckerrüben, Kartoffeln oder Grünland
- Förderung des Pflanzenwachstums durch ansteigende CO₂-Gehalte der Atmosphäre bei nicht-limitierter Wasserversorgung sowie Verbesserung der Wassernutzungseffizienz
- Zunahme der Variabilität der Ernteerträge in den einzelnen Jahren in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen vor allem auf leichten, diluvialen Standorten mit geringer Wasserkapazität in der Oberlausitz und in Nord-West-Sachsen
- Eher positive Ertragsentwicklung auf den bislang kühleren und feuchten Verwitterungsböden im Süden Sachsens
- Vergleichsweise eher geringe Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragshöhe auf den fruchtbaren, tiefgründigen Lössstandorten mit hoher Wasserkapazität
- Abnahme der Ertragsstabilität in allen sächsischen Regionen infolge zunehmender Extremereignisse wie Überschwemmungen, Hitze und Dürreperioden, Hagel und Spätfröste
- Zunehmendes Risiko der Wassererosion und von Überschwemmungen durch erhöhte Intensität von Starkregenereignissen, besonders im Frühjahr und Sommer
- Zunahme der Winderosion auf leichten Standorten bei stark ausgetrockneter Bodenoberfläche
- Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorten
- Verstärkter Humusabbau und damit Stickstofffreisetzung, besonders auf Verwitterungsstandorten in Vorgebirgslage in Folge Temperaturzunahme, besonders im Winter
- Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung Wärme liebender neuer Unkrautarten in Sachsen wie Saumpappel, Giftbeere oder Ambrosia
- Zunahme von Krankheiten mit hohen Temperaturansprüchen wie Rostkrankheiten oder Netzfleckenkrankheiten
- Abnehmender Trend bei Pilzkrankheiten, die auf lange Niederschlags- und Feuchtperioden angewiesen sind
- Verstärktes Auftreten von durch Blattläuse und Zikaden übertragene Viruskrankheiten.
- Zunahme Wärme liebender Insekten wie Kartoffelkäfer und Blattläuse
- Vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr

4.2 Gartenbau

Auf ca. 10.000 ha werden in Sachsen gartenbauliche Kulturen angebaut. Auf den Obstbau entfallen rund 5.000 ha, mit dem Apfel als Hauptkultur (ca. 2.800 ha). Die wichtigsten Anbaugebiete liegen um die Ballungszentren Dresden und Leipzig. Der Gemüseanbau findet auf einer Fläche von ca. 4.700 ha in der Lommatzscher Pflege, im Leipziger Land, im Großraum Dresden sowie im Gebiet um Bautzen/Zittau statt. Zu den wichtigsten Gemüsearten zählen neben Gemüseerbsen vor allem Buschbohnen, Zwiebeln, Spinat, Spargel und verschiedene Kohlgemüsearten. Die bestockte Rebfläche in Sachsen beträgt derzeit 417 ha. Das Anbaugelände erstreckt sich schwerpunktmäßig entlang der Elbe zwischen Pirna und Diesbar-Seußlitz sowie an einzelnen weiteren geeigneten Standorten im Freistaat Sachsen.

4.2.1 Obst- und Weinbau

Im Obstbau wird sich die Vegetationsperiode auf Grund der prognostizierten Erwärmung um bis zu 4 Wochen verlängern, was beim Apfel den Anbau bisher klimabedingt nicht anbauwürdiger, aber wirtschaftlich interessanter Sorten gestattet. Außerdem sorgen lange, warme Herbstperioden für etwa 10 % größere Früchte, so dass der Ertrag und die Fruchtqualität steigen. Bei Erdbeeren werden die Bedingungen für die Blütenknospendifferenzierung günstiger, die Erträge steigen ebenfalls.

Der frühere Knospenaufbruch infolge hoher Wintertemperaturen wird zum Anstieg der Spätfrostgefahr bei allen früh blühenden Obstarten, besonders bei Süßkirschen und Birnen, führen. Gleichzeitig steigt jedoch mit dem Ausbleiben ausreichend langer Perioden mit Temperaturen unter 7 °C die Gefahr von Austriebsstörungen bei den Baumobstarten.

Sommerliche Hitzeperioden mit extrem hohen Temperaturen wie z. B. im Juli 2007 führen zu erheblichen Qualitätseinbußen durch Sonnenbrandschäden bei Kernobst. Der Schaden, Verlust der Marktfähigkeit, beläuft sich zurzeit auf 5 bis 25 % der Früchte. Er wird weiter zunehmen. Auf der anderen Seite werden sich durch die erhöhte Sonneneinstrahlung die Ausfärbung und der Zuckergehalt der Früchte erhöhen.

Langanhaltende Hitzewellen im Sommer in Verbindung mit Trockenheit werden besonders beim Beerenobst zu Ertrags- und Qualitätsverlusten führen. Ein Anbau von qualitativ hochwertigen Früchten wird sowohl bei Erdbeeren als auch beim Strauchbeerenobst nur noch mit Zusatzbewässerung möglich sein. Beim Baumobst kann Trockenheit im Extremfall zu Ertragseinbußen von über 30 % führen, bei Neupflanzungen ist mit Baumausfällen bis zu 50 % zu rechnen. Ohne die Möglichkeit der Tropfbewässerung ist deshalb auch der Kernobstanbau in der Zukunft undenkbar. Durch starken Regen während der Ernte wird nicht nur die Qualität von Süßkirschen (Platzen der Früchte), sondern auch die der Erdbeeren und Himbeeren enorm beeinträchtigt. Besonders gefährlich für alle Obstarten sind Hagelschläge, die zunehmen werden und wie sich bereits abzeichnet, früher im Jahr auftreten. Obwohl Hagelschlag für den Ort ein seltenes Ereignis bleiben wird, sind die Folgen verheerend. Der Schutz der Apfelanlagen vor Hagel wird ein zentrales Problem im Kernobstanbau.

Beim Pflanzenschutz ist mit der Einwanderung bisher in Sachsen nicht vorkommender Wärme liebender Arten zu rechnen. Die Verlängerung der Vegetationsperiode hat bei Schädlingen mit mehreren Generationen stärkere Populationen in den einzelnen Generationen zur Folge. Beim Apfelwickler ist diese Tendenz schon heute nachweisbar. Ansteigen wird die Bedeutung von Krankheiten wie Feuerbrand und Apfeltriebsucht, die zurzeit ihr Hauptschadensgebiet in südlicheren Regionen haben.

Im Weinbau werden auf Grund des prognostizierten Temperaturanstiegs der Rebaustrieb und die Traubenreife in Zukunft früher einsetzen. Bestehen bleibt die Gefahr durch Spätfröste. Die Anbauwürdigkeit von Sorten mit hohem Temperaturanspruch steigt. Der Rebsortenspiegel wird sich dadurch verändern. Spät reifende Sorten wie 'Riesling' und 'Spätburgunder' werden profitieren. Für Rotweinsorten wird sich die Anbaueignung in Sachsen verbessern. Die Erträge werden steigen und die für den Weinbau geeigneten Flächen im Anbaugelände Sachsen werden sich ausweiten. Extrem hohe Temperaturen

führen jedoch auch hier zu Qualitätseinbußen durch Sonnenbrandschäden. Hohe Temperaturen bei gleichzeitig lang anhaltender Trockenheit erzeugen Stresssituationen bei den Reben, die in Verbindung mit sehr hohen Erträgen zu einer schlechteren Weinqualität (z. B. untypische Alterungsnote) führen können. Die Gefahr von Trockenstress wird besonders an Standorten mit flachgründigen Böden steigen. Durch die Zunahme von Starkregen erhöht sich die Erosionsgefahr besonders in Steillagen. Auf Grund von extremen Hagelereignissen sind hohe Ertrags- und Qualitätsverluste zu erwarten. Die Intensität der UV-B-Strahlung wird zunehmen. Eine veränderte Zusammensetzung von Most- und Weinhaltstoffen ist die Konsequenz.

Im Schaderregerspektrum ist mit der Zunahme des Auftretens von Zikaden zu rechnen. Die bisher in Sachsen nicht bekämpfungswürdigen Traubenwicklerarten werden bekämpfungsrelevante Populationsdichten aufbauen. Die Veränderungen in den Niederschlagsverhältnissen lassen eine Verschiebung der Gewichtung vom Falschen zum Echten Mehltau erwarten.

4.2.2 Gemüsebau

Einhergehend mit den prognostizierten Temperatursteigerungen und der Verlängerung der Vegetationsperiode wird es im Gemüsebau zu einer Verlängerung der Anbaudauer sowie zur Ernteverfrühung bei vielen Gemüsearten kommen. Als unmittelbare Folge ist insgesamt mit höheren Erträgen bei allen Gemüsearten sowie einer längeren Marktpräsenz sächsischer Produkte zu rechnen. Die derzeitigen Gemüsestandorte in Sachsen werden in Anbetracht der zu erwartenden Klimaänderungen weiterhin Bestand haben. Die Ausdehnung des Gemüsebaus in zukünftig klimatisch begünstigte Vorgebirgslagen wird wegen der Steinigkeit und der Hanglagen der Anbauflächen dort nur begrenzt möglich sein. Unter den Gemüsearten wird es Verschiebungen in Richtung Wärme liebende Arten geben. Der Anbau von Buschbohnen, Freilandgurken, Kürbisgewächsen, Tomaten sowie Spargel wird profitieren. Im Zeitraum bis 2020/30 werden sich allerdings bei der überwiegenden Zahl der Gemüsearten keine wesentlichen Verschiebungen ergeben. Langanhaltende Hitzewellen in Verbindung mit Trockenheit führen zu erheblichen Ertragsverlusten. So sanken z. B. bei Gemüseeerbsen im Trockenjahr 2003 die Erträge im Vergleich zum langjährigen Mittel um rund 65 %. Hitze und Trockenheit bedingen neben Ertragsminderungen zusätzlich qualitative Beeinträchtigungen an den Ernteprodukten, wodurch ihre Vermarktungsfähigkeit stark eingeschränkt wird.

Die abnehmende Verfügbarkeit von Wasser, insbesondere in der Vegetationsperiode 1, sowie länger anhaltende Dürreperioden im Sommer werden den Anbau von Gemüse ohne Zusatzbewässerung unmöglich machen. Schon heute wird in Sachsen der Anbau von Gemüse ohne Zusatzbewässerung, mit Ausnahme bei Gemüseeerbsen und Zwiebeln, nicht empfohlen, da er wirtschaftlich nicht zu vertreten ist. Um Ertragssicherheit auch in der Zukunft zu gewährleisten, werden auch diese beiden Hauptkulturen, die derzeit rund 60 % der sächsischen Anbaufläche einnehmen, in die Zusatzbewässerung einbezogen werden müssen. Ergebnisse aus Thüringen belegen, dass z. B. bei Zwiebeln in trockenen Jahren bis 40 % Mehrertrag im Vergleich zur unbewässerten Kontrolle erzielt wurden.

Ertragssteigerungen im Freilandanbau infolge der Anreicherung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre werden sich im Bereich der Annahmen des Ackerbaus bewegen. Aus dem Gewächshausgemüsebau ist allerdings bekannt, dass merkliche Ertragssteigerungen erst ab einem CO₂-Gehalt von ca. 500 ppm eintreten. Hinzu kommt, dass viele Gemüsearten nicht als Gewichts- sondern als Stückware gehandelt werden. Geringfügige Massezuwächse wären dann ohnehin nicht spürbar und würden ohne wirtschaftliche Konsequenz bleiben.

Extreme Wetterereignisse (Hagel, Starkregen) haben auf das Gemüse katastrophale Auswirkungen. Neben erosionsbedingten Schäden (siehe Ackerbau) ist meist mit dem Verlust der Vermarktungsfähigkeit der Produkte zu rechnen. Erhöhte O₃-Konzentrationen führen durch Blattverbrennungen bei Blattgemüsearten zum Ausfall der Ernte. Bei Buschbohnen können zusätzlich durch das Absterben der jungen Triebe erhebliche Ertragsverluste auftreten.

Schäden durch Krankheiten und Schädlinge werden in der Zukunft zunehmen. Besonders ist ein Ansteigen von Bakteriosen sowie vektorenübertragbaren Virose zu erwarten. Auf Grund der zunehmenden Trockenheit sollten Mykosen eine weniger wichtige Rolle als heute spielen. Einzelne Pilzarten jedoch, wie z. B. Echte Mehltaupilze oder Wärme und Trockenheit liebende bodenbürtige Arten (*Phoma* spp., *Fusarium* spp.), werden in ihrer Schadwirkung stärker in Erscheinung treten. Ein zunehmendes Auftreten tierischer Schaderreger wegen der zu milden Winter zeichnet sich heute schon ab. Die Populationsentwicklung der meisten Arten (Kohlmottenschildlaus, Thripse, Schad-Lepidopteren) wird rasanter als bisher verlaufen. Parallel ist mit stärkeren Schäden an den Kulturen zu rechnen.

Auswirkungen des Klimawandels auf den Gartenbau

- Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums sowie Verlängerung der Anbauzeit durch die Ausdehnung der Vegetationsperiode führen zu ansteigenden Erträgen und zu einer teilweise höheren Ertragssicherheit.
- Wirtschaftlich bedeutsame Ertragsausfälle durch:
 - Anstieg der Spätfrostgefahr,
 - Hitzeschäden an den Ernteprodukten,
 - Trockenschäden,
 - extreme Witterungsereignisse (Hagel, Starkregen, Sturm),
 - neue, schwer bekämpfbare Schaderreger.

4.3 Grünland und Feldfutterbau

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Feldfutterbau und das Grünland können auf zwei Großräume projiziert werden: Den Nordosten (NO) mit seinen leichten Böden und niederschlagsarmen Standorten sowie dem Südwesten (SW) mit den tiefgründigen Lössböden Mittelsachsens und den Vorgebirgs- und Mittelgebirgslagen (Abb. 4.3/1).

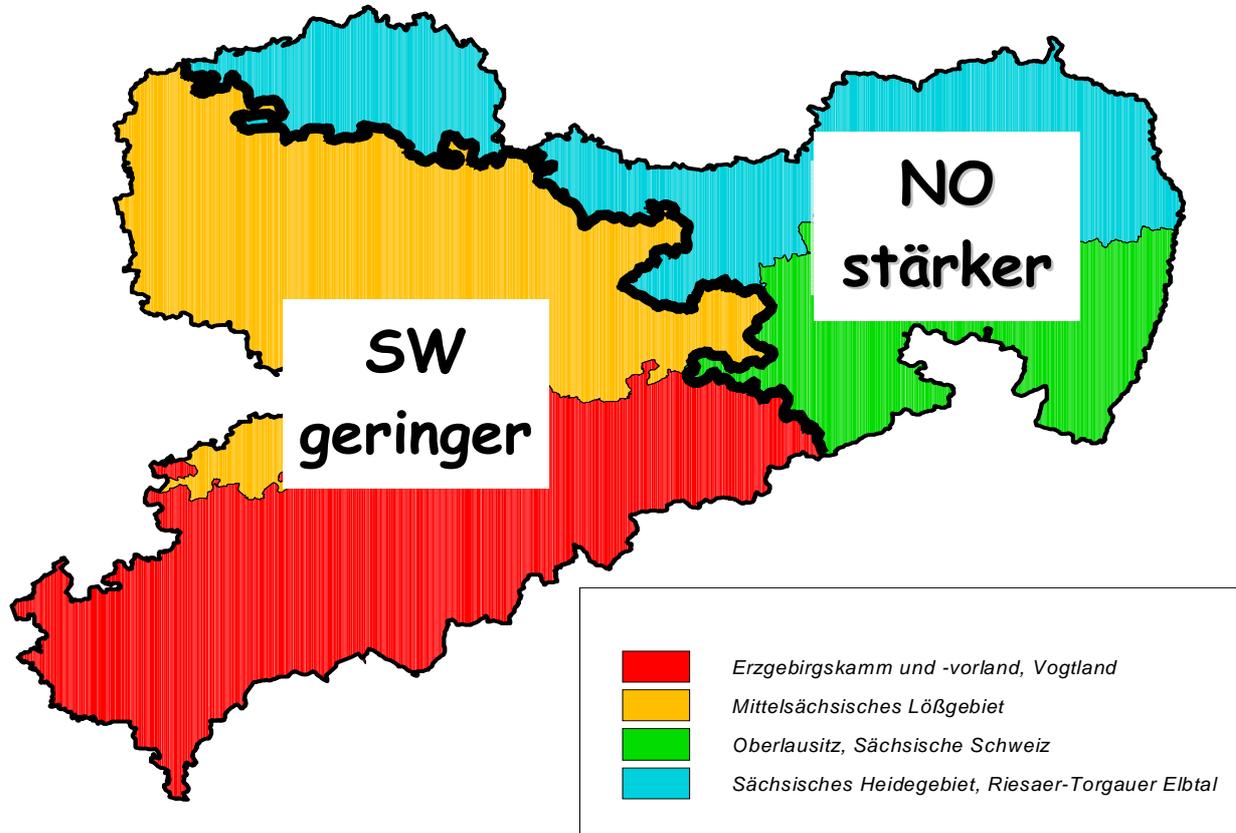


Abb. 4.3/1: Regionale Betroffenheit (Niederschlagsverteilung und Temperaturänderung) des Futterbaus durch den Klimawandel

4.3.1 Grünland

Dauergrünland zeichnet sich in Abhängigkeit vom Standort und der Bewirtschaftung durch das Vorkommen zahlreicher Pflanzenarten aus, die den Artengruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen zugeordnet werden können. Diese Artenvielfalt verleiht dem Grünland eine hohe Anpassungsfähigkeit, auch gegenüber klimatischen Änderungen.

Trotz der hohen Anpassungsfähigkeit der Grünlandbestände ist eine mehr oder weniger starke Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse zu erwarten:

- Bei fehlenden Niederschlägen und schlechter Wasserversorgung haben tief wurzelnde Pflanzen einen erheblichen Konkurrenzvorteil gegenüber Arten mit flachen Wurzelsystemen: es droht die Zunahme von Wurzelunkräutern wie Stumpflättriger Ampfer, Schafgarbe, Wegwarte, ...
- Die erwünschten Bestandesbildner (wertvolle Gräser und Kräuter) haben meist ein flaches Wurzelsystem und sind demzufolge anfälliger gegenüber Trockenstress, sie reagieren dann mit vermindertem Wachstum bis hin zum Totalverlust.
- Zunahme trockenheitsverträglicher Gräser und bisher nicht verbreiteter Futterleguminosen.
- Lückenbildung durch abgestorbene Futtergräser, aber auch abgestorbene Unkräuter und Ungräser (z. B. Gemeine Rispe).

- Verzögerung oder Verhinderung der Keimung sowohl angesäter als auch im Boden befindlicher Samen.
- Die Dauer und Intensität der Hitze und Trockenheit lassen vermuten, dass sich viele Gräser gar nicht oder nur unzulänglich und langsam erholen werden. Feldversuchsergebnisse weisen darauf hin, dass v. a. Deutsches Weidelgras und Wiesenrispe nach ausgeprägter Sommertrockenheit nur noch bis max. 30 % wieder ergrünen.

Durch wechselnde Staunässe, Trockenheit oder Verschiebungen der Artenanteile werden die Restriktionen der Grünlandwirtschaft zunehmen. Auf Grund häufiger Extremwetterereignisse wird die hochwassergefährdete Grünlandnutzung in Flussauen stärker belastet.

Ebenso sind positive wie auch negative Effekte auf die Futtererträge und -qualität möglich. Die Erträge der meisten heutigen wertvollen Arten (u. a. auch Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Weißklee (*Trifolium repens*)) können zurückgehen, Luzerne wird bei Trockenheit dagegen begünstigt. Der Futterzuwachs je Tag ist bei Trockenheit deutlich niedriger und damit auch die potenzielle tierische Leistung bei Weide.

Die Zunahme des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre bewirkt eine erhöhte Photosyntheseaktivität und Stoffproduktion der Pflanzen auf dem Grünland (CO₂-Düngeeffekt), allerdings stark unterschiedlich bei den einzelnen Artengruppen. Es kommt zu einer Zunahme von Kohlenhydraten (Stärke) vor allem in den Blättern sowie einer Abnahme der N-Konzentration in der gesamten Pflanze. Es deutet sich an, dass wichtige Inhaltstoffe wie zum Beispiel Eiweiß einem „Verdünnungseffekt“ unterliegen. Einem höheren Ertrag würde demnach ein geringerer Energiegehalt gegenüberstehen. Vor allem die Leguminosen könnten auf nährstoffreichen Böden von einer CO₂-Erhöhung profitieren, da sie zur Luftstickstofffixierung befähigt sind und daher eine (bis zu fünfmal) höhere Ertragsleistung im Vergleich zu Arten, die keinen Luftstickstoff binden, erreichen können. Dadurch sind Verschiebungen in den Art- und Ertragsanteilen (Konkurrenzverhältnisse) in den Grünlandbeständen zu erwarten, wobei die Wirkungen auf den Bestand nicht der Summe der Wirkung auf die Einzelpflanzen entsprechen. Allerdings ist noch unklar, ob sich der Temperaturanstieg und die „CO₂-Wirkung“ gegenseitig aufheben werden, insbesondere wenn die Wasserversorgung stark begrenzt ist.

Probleme werden generell auftreten in Gebieten und auf Flächen, die künftig deutlich weniger Niederschläge erhalten werden sowie in jetzt schon trockenen Gebieten, die noch trockener werden.

In der Region Süd-West-Sachsen ist daher bei der zu erwartenden rascheren Frühjahrs-erwärmung und dem erhöhten CO₂-Angebot eine längere Vegetationsperiode und damit höhere Flächenproduktivität möglich. Allerdings ist in gräserreichen Beständen auf Grund des erhöhten CO₂-Angebots eine schlechtere Futterqualität (niedrigere Rohproteingehalte) zu erwarten, wenn nicht gleichzeitig die Leguminosen zunehmen. Eventuell besteht sogar die Möglichkeit, dass künftig durch den CO₂-Anstieg der Atmosphäre, durch höhere Temperaturen und mildere Winter mit einem höheren Ertragspotenzial zu rechnen ist.

In der Region Nord-Ost-Sachsen werden die erwarteten drastisch zurückgehenden Sommerniederschläge die Flächenproduktivität und vor allem Ertragssicherheit der einzelnen Aufwüchse während der Vegetationsperiode stark einschränken. Es ist anzunehmen, dass durch die prognostizierten Witterungsextreme die bereits heute feststellbare Ertragsvarianz in Zukunft noch weiter zunehmen wird.

4.3.2 Feldfutterbau

Der Nordosten des Freistaates wird im Feldfutterbau wesentlich stärker vom Klimawandel beeinflusst als der Südwesten. Dazu tragen nicht nur die relativ leichten Böden bei, sondern auch der verminderte Niederschlag und die höhere Durchschnittstemperatur in dieser Region.

Zwar verlängert sich die Vegetationszeit hier noch deutlicher als im Südwesten, dies führt jedoch nicht automatisch zu einem höheren Ertrag. Es gibt Anhaltspunkte dafür, dass insbesondere bei mehrschnittigen Futtergräsern unter Trockenstress die vegetative Wachstumsphase (Massebildung) schneller durchlaufen wird und bei hohen Temperaturen auf Grund verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung weniger Inhaltsstoffe gespeichert werden. Zum optimalen Schnittzeitpunkt für hohe Futterqualitäten (z. B. Siloreife) ist dann vor allem weniger Erntemasse vorhanden. Zum Teil kann das durch einen zusätzlichen Schnitt in der Vegetationsphase kompensiert werden, aber durch den geringeren Ertrag je Schnitt wird das Grundfutter teurer.

Das Spektrum der angebauten Futterpflanzenarten wird sich kurz- bis mittelfristig nicht wesentlich verschieben. Die Anbaubedeutung von Luzerne wird auf tiefgründigen und gut mit Kalk versorgten Böden der Löss- und Diluvial-Standorte wachsen. Weniger trockenheitsempfindliche Gräser wie Knautgras und einige Schwingelarten können ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Ihr Futterwert ist aber differenziert zu betrachten, weil bei den derzeit vorhandenen Sorten Verdaulichkeit und Trockenheitsverträglichkeit in reziprokem Zusammenhang stehen. Feldgrasgemenge und Silomais werden nur noch auf Standorten angebaut, wo die Wasserversorgung der Pflanzen nicht zu stark schwankt. Beim Silomais könnte es zu Ertragssteigerungen kommen, wenn nicht Witterungsextreme in den entscheidenden Wachstumsphasen zu Störungen führen. Mais ist und bleibt trotz aller Züchtungsfortschritte eine C4-Pflanze, deren Wachstum enorm von Temperatur und Wasserversorgung (insbesondere in der Phase Blütenschieben bis Reifebeginn) beeinflusst wird. Das macht ihn sehr witterungsabhängig und unsicher im Ertragsverhalten.

Süd-West-Sachsen mit seinen Mittel- und Vorgebirgslagen wird vom Grundsatz her zu den „Gunstgebieten“ des Feldfutterbaus zählen, weil sich Niederschlagsverteilung und Temperaturänderung nicht so nachteilig auswirken wie in Nord-Ost-Sachsen.

Die etwas längere Vegetationszeit und eine mäßige Temperaturerhöhung verbessern die Wachstumsbedingungen für die meisten Ackerfutterpflanzen. Dazu zählen besonders der Silomais und die Leguminosengemenge. Die in ihrer Intensität geringeren Temperatur- und Niederschlagsschwankungen lassen den Futterbau in dieser Region relativ ertragssicher erscheinen, ein enorm wichtiger Faktor für die Grundfütterversorgung der Betriebe.

In den Vorgebirgslagen und grundwassernahen Niederungen können weidelgrasbetonte Ackerfüttermischungen ihr Leistungspotenzial entfalten, in den Höhenlagen dagegen wird der Anbau dieser wertvollen Futtergräser unsicher bleiben. Ursache dafür wird weniger die Schneebedeckung sein als der zunehmende Pilzbefall in milden Wintern und die Gefahr von Kahlfrösten im Frühjahr. Fehlt der typische Kältereiz des Winters, sind auch die wertvollen Futtergräser weniger abgehärtet („Vegetationsruhe“) und damit anfällig bei Kälteeinbrüchen. Die traditionell in dieser Region anzutreffenden Kleeegrasgemenge werden in ihrer Anbaubedeutung zulegen, weil sie ertragssicherer und nutzungselastischer sind, auch wenn sie in Bezug auf Ertrag und Silierfähigkeit nicht an die Weidelgrasmischungen heranreichen. Der Silomaisanbau wird sich auch in höheren Lagen etablieren können, das Risiko einer verspäteten Silierreife wird sich jedoch nicht verringern (frühe, aber sichere Reife = geringerer Massen- und Energieertrag, späte Reifegruppen = hoher Ertrag, aber unsicher).

Der Anbau von Zwischenfrüchten wird sich regional weiter differenzieren. In Nord- und Ost-sachsen wird der fehlende Niederschlag zum begrenzenden Faktor werden, obwohl die verlängerte Vegetationszeit den Anbau begünstigen würde.

Für die Vorgebirgslagen und Mittelgebirge ist dagegen mit einer Verbesserung der Anbauwürdigkeit von Sommer- und Winterzwischenfrüchten zu rechnen (Auflockerung der Fruchtfolgen). Die verlängerte Vegetationszeit wird auch dazu führen, dass in manchen Anbaugebieten eine Zweitfruchtfutterpflanze (z. B. Winter-Futterroggen) noch vor der Hauptfrucht Silomais angebaut und genutzt werden kann.

Auswirkungen des Klimawandels auf Grünland und Feldfutterbau

- Dauergrünland und der Feldfutterbau werden hinsichtlich der Biomasseproduktion vom Temperatur- und CO₂-Anstieg positiv beeinflusst, solange die Wasserversorgung gewährleistet ist.
- Längere Trockenstressphasen beeinträchtigen die Bestandeszusammensetzung sowie Ertragssicherheit und Futterqualität.
- Die Wachstumsbedingungen werden sich in den Vorgebirgs- und Höhenlagen verbessern, in den wechselfeuchten Lagen und auf leichteren Standorten dagegen eher ungünstiger gestalten.
- Auf Grund verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen können weniger Inhaltsstoffe gespeichert werden, d. h. die Futterqualität nimmt ab.
- Die Dauer der phänologischen Entwicklungsstadien, insbesondere der Zeitraum für die Massebildung der Futtergräser, kann sich bei Trockenstress verkürzen. Es wird insbesondere im Feldfutterbau schwieriger werden, den optimalen Erntezeitpunkt zu definieren.
- Die stabile Erzeugung von qualitativ hochwertigem Grundfutter wird bei zunehmenden Extremen schwieriger.
- Die Bedeutung der Leguminosen wird zunehmen.

4.4 Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere

4.4.1 Futterlagerung und –konservierung

Durch verstärkte Staubbelastung bzw. Anhaftung von Schmutzpartikeln nach Starkregen kann es zu einer unerwünschten Kontamination von Futtermitteln kommen, welche die Futtermittelhygiene und die Konservierfähigkeit der Futterpflanzen negativ beeinflussen. Die Folge ist eine Beeinträchtigung von Tiergesundheit, Leistung und letztlich des Verbraucherschutzes.

Die aerobe Instabilität der Futtermittel wird durch die Zunahme der Außentemperaturen größer werden. Durch das Veratmen von Nährstoffen durch Mikroorganismen wird zudem weitere Wärme erzeugt. Durch wechselnde Niederschlagsereignisse werden die Trockenmasse-Extreme bei den Grobfuttermitteln zunehmen. Nasse Futtermittel sind schwer silierbar und aerob anfälliger. Trockenere Grobfuttermittel sind schwer verdichtbar (höherer technischer Aufwand, Zusatz von Konserviermitteln) und werden schlechter gefressen (Rationsoptimalbereich 45 – 55 % TM).

4.4.2 Fütterung

Neben anderen Entwicklungen (Nachfragewandel: Lebensmittel, Bioenergie, nachwachsende Rohstoffe, Naturschutz) wird der Klimawandel zu Ertrags- und Qualitätsschwankungen bei Futterkulturen führen, welche eine wechselnde Verknappung und Überproduktion und damit eine unberechenbare Nachfragedynamik am Futtermittelmarkt provozieren. Die nachfolgenden Preisschwankungen machen die tierische Veredlung wirtschaftlich noch anfälliger.

Durch ein verändertes Spektrum an Schädlingen, Unkräutern oder pilzlichen Schaderregern wird eine Anreicherung von Futtermitteln mit unerwünschten bzw. antinutritiven Stoffen wahrscheinlicher. Die in den letzten Jahren enorm gewachsenen Anforderungen an die Futterqualität und -hygiene machen hier weitere Konflikte sehr wahrscheinlich. Ein Großteil der Futterenergie wird im Tier in Wärme umgewandelt. Durch steigende Außentemperaturen und die mit der Leistungsfähigkeit der Tiere ansteigende Wärmebildung im Tier wird bei Nutztieren eine Zunahme oxidativer bzw. hitzebedingter Stresssituationen ergeben.

4.4.3 Tierhaltung

Witterungsbedingte Extreme (Temperatur, Niederschläge, Windbewegung, Globalstrahlung, UV, Ozon, Staub) werden die Nutztiere zunehmend stressen und infolge dessen die Tiergesundheit beeinträchtigen. Die daraus im Interesse des Tierschutzes formulierten neuen Anforderungen an das Betreiben bzw. die Neueinrichtung von Tierproduktionsanlagen werden die Tierhaltung verteuern. Die ganzjährige stalllose Freilandhaltung auf Weiden wird zunehmen. Dabei ist jedoch mit einer stärkeren Hitze-, UV- und Ozonbelastung der Weidetiere zu rechnen.

Die Wasserversorgung gewinnt einen anderen Stellenwert in der Tierhaltung. Der Wasserverbrauch und die Abwasseraufbereitung werden die Tierhaltung wirtschaftlich stärker belasten als bisher. Der derzeit kostengünstigen Grundwassernutzung werden verstärkt Grenzen gesetzt.

Bedingt durch klimatische Erwärmung können im mikrobiellen Stallmilieu zwei Extreme auftreten. Bei geringer Niederschlagsmenge und Luftfeuchtigkeit wird es zu einer durchaus erwünschten Erregerverdünnung kommen. Auch die Emissionsbelastung wird sinken. Aber die Staubbelastung wird unter diesen Bedingungen deutlich zunehmen. Mit dem Staub können aber auch Mikroorganismen, unbelebte als auch belebte Partikel, als gemeinsames Konglomerat über die Luft transportiert und somit schneller übertragen werden. Ca. 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen sind an Partikel angelagert und bilden mit ihnen so genannte Cluster. Bei hoher Niederschlagsmenge und/oder hoher Luftfeuchtigkeit ist eher mit einem

erhöhten Erregerdruck und stärkeren Emissionen zu rechnen. Auch das Erregerspektrum wird dadurch mehr oder weniger stark verändert. Es ergeben sich auch differenzierte Betrachtungsweisen für die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Bekämpfung von Tierseuchen. Viele Tierseuchen werden durch Vektoren übertragen. Trockene Luft bedeutet auch oft Wind, und damit breitet sich Vieles schneller aus.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutztiere

- Die Futterlagerung und -konservierung wird zunehmend mit Ertragsschwankungen, wachsender aerober Instabilität, zunehmender Verunreinigung durch Staub und Schmutz sowie Trockenmasseextremen kämpfen.
- Durch wechselnde Verknappung und Überproduktion wird eine unberechenbare Nachfragedynamik Preisschwankungen im Futtermittelmarkt provozieren, welche die tierische Veredlung wirtschaftlich anfälliger machen.
- Durch ein verändertes Spektrum an Schädlingen, Unkräutern oder pilzlichen Schadern wird eine Anreicherung von Futtermitteln mit unerwünschten bzw. antinutritiven Stoffen wahrscheinlicher.
- Steigende Außentemperaturen und mit steigender Leistungsfähigkeit der Tiere steigende Wärmebildung im Tier erzeugen bei Nutztieren zunehmend Hitzestress.
- Zum Schutz der Nutztiere vor witterungsbedingten Extremen werden an die Stall- und Tierhaltungsanlagen neue Anforderungen gestellt, welche die Tierhaltung verteuern.
- Die Wasserversorgung und Abwasseraufbereitung gewinnt einen höheren Stellenwert in der Tierhaltung.
- Die Ausbreitung von erregerbedingten Tierkrankheiten wird durch eine zunehmende Staubverlagerung (Staub, Thermik, Wind) verstärkt, da über 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen an Partikel angelagert sind und über so genannte Cluster transportiert werden.

4.5 Teichwirtschaft

4.5.1 Einfluss auf die Flächenerträge

Von den in Sachsen erzeugten Fischarten ist der Karpfen mit etwa 70 % die wichtigste Fischart. Daneben produzieren die sächsischen Fischereiunternehmen Forellen, Schleien, Welse und andere Speisefische.

Der Karpfen (*Cyprinus carpio* L.) ist ein Wärme liebender Fisch, der sein Temperaturoptimum unter Teichbedingungen im Bereich zwischen 20 und 25°C findet. Wassertemperaturen von über 20°C werden in der Karpfenteichwirtschaft Mitteleuropas allerdings im Mittel nur in einem relativ kurzen Zeitraum des Jahres erreicht. An der Station Königswartha überschreitet die Teichwassertemperatur in 10 cm Tiefe beispielsweise nur an 8 Dekaden im Mittel die 20°C-Marke. In Deutschland erreicht deshalb die Aufzucht von Karpfen in Teichen für mitteleuropäische Verhältnisse gegenwärtig ihre nördlichste Verbreitung. Grundsätzlich beschleunigt sich das Wachstum des Karpfens bei steigenden Wassertemperaturen. Bei 30°C verdoppelt sich gegenüber 20°C gemäß der RGT-Regel (Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel) die Stoffwechselrate des Karpfens. In diesem Zusammenhang konnte für Teichverhältnisse nachgewiesen werden, dass ein Grad Erhöhung der Wassertemperatur im Zeitraum Juni bis August für eine Ertragserhöhung von mehr als 100 kg/ha bei der K1-Erzeugung, 70 kg/ha bei der Satzkarpfenerzeugung und etwa 50 kg/ha bei der Speisekarpfenerzeugung verantwortlich ist (FÜLLNER 1990).

Die Teichwassertemperatur tendiert in Königswartha in den vergangenen knapp 50 Jahren nicht nur in eine Richtung (Abb. 4.5.1/1). Vielmehr ist für den Zeitraum 1959 bis 1980 ein eher negativer Trend bei der Teichwassertemperatur zu erkennen. Erst ab dem Jahr 1980 kann ein leichter Anstieg bei der mittleren Teichwassertemperatur für den produktionswirksamen Zeitraum Juni bis August nachgewiesen werden.

Bei Betrachtung größerer historischer Zeiträume zeigt sich sogar, dass weder der sinkende Temperaturtrend zwischen 1960 und 1980 noch die steigenden Teichwassertemperaturen im Zeitraum 1980 bis heute wirkliche Extremereignisse für die Oberlausitzer Karpfenteichwirtschaft darstellen. Vielmehr schwankten die mittleren sommerlichen Teichwassertemperaturen in den letzten 300 Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit insgesamt in deutlich größeren Amplituden als in den letzten 50 Jahren (FÜLLNER 2008).

Trotzdem ist es angezeigt, auf das wahrscheinlichste Klimaszenario für die nahe Zukunft und seine Auswirkungen auf die Karpfenteichwirtschaft vorbereitet zu sein. Steigen die sommerlichen Luft- (und Wasser-) temperaturen tatsächlich im jetzigen Trend bzw. in der von vielen Klimamodellen vorausgesagten Weise weiter an, ist dies primär für die Karpfenteichwirtschaft von Vorteil, solange ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

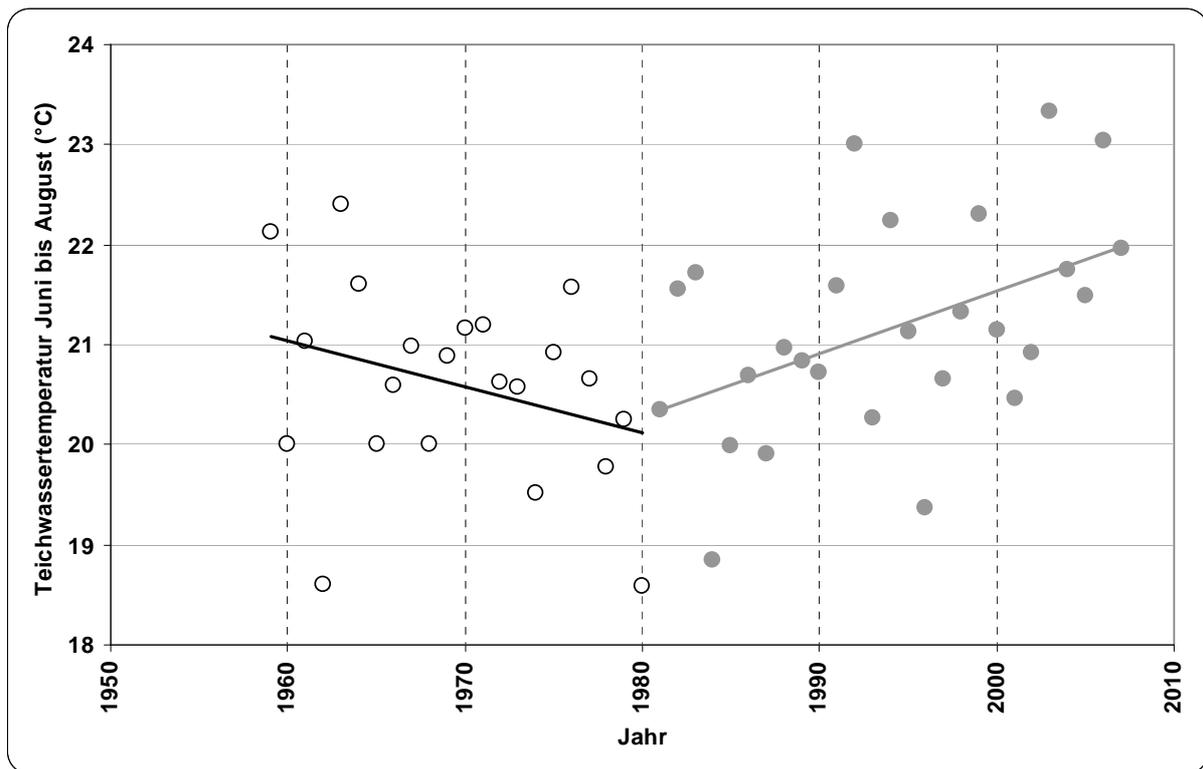


Abb. 4.5.1/1: Mittlere Teichwassertemperatur an der Messstation Königswartha Juni bis August im Zeitraum 1959 bis 2007. Wassertemperaturmessung in 10 cm Wassertiefe. Leere Punkte: Werte bis einschließlich 1980, graue Punkte: Werte ab 1981.

4.5.2 Einfluss auf den Wasserhaushalt

Treten die für die nächsten Jahre prognostizierten niedrigeren sommerlichen Niederschläge vor allem in Nordostsachsen ein, dürfte dies wie in ähnlichen historischen Zeitabschnitten zu einem erheblichen Wassermangelproblem gerade in der Karpfenteichwirtschaft der Oberlausitz führen. Die Lausitzer Teiche erlangen ihr Wasserhaltevermögen vielfach nur durch den anstehenden hydraulischen Druck der oberflächennahen Grundwasserhorizonte, so dass auch bei wasserdurchlässigen sandigen Böden die Wasserstände gehalten werden können. Längerfristig sinkende Niederschläge haben aber sinkende Grundwasserstände zur Folge, so dass sich das Wassermangelproblem in warmen Sommern neben der ohnehin schon höheren Verdunstungsrate noch verstärkt.

4.5.3 Einfluss auf Fischkrankheiten/Parasiten

Auf Fischkrankheiten sind bei Fortsetzung der gegenwärtigen Klimaentwicklungen differenzierte Auswirkungen zu erwarten. Es gibt Fischkrankheiten mit völlig unterschiedlichen Temperaturoptima. Bei bestimmten Wassertemperaturen finden jeweils andere Parasiten und pathogene Bakterien oder Viren ihr Entwicklungsoptimum. Die Immunreaktion des Karpfens funktioniert andererseits generell erst bei Wassertemperaturen von über 16°C und wird mit steigenden Temperaturen immer rascher und effektiver.

Die gegenwärtig wirtschaftlich bedeutendste Fischkrankheit, die Koi-Herpesvirose (KHV) bricht beispielsweise vor allem bei Wassertemperaturen zwischen 16 und 25°C aus. Die höheren Temperaturen der letzten Jahre haben demnach den Einfluss der Erkrankung wahrscheinlich verstärkt. Andererseits führen nach israelischen Untersuchungen Wassertempe-

peraturen von über 30°C zur Immunität gegenüber dem KHV-Virus. So hohe Wassertemperaturen treten als Spitzenwerte in den letzten Jahren auch in sächsischen Teichen verstärkt auf.

Problematisch waren in den letzten Jahren die fehlenden Starkfröste im Winter. Das „Ausfrieren“ von Teichen ist eine in der Karpfenteichwirtschaft bewährte Desinfektionsmaßnahme, die den Einsatz chemischer Desinfektionsmittel bisher minimiert hat.

Wassersparende Produktionsverfahren mit mehrjähriger Umtriebsweide auf Grund von Wassermangel begünstigen die Entwicklung von Zwischenwirten von Parasiten. Mit Parasitosen ist also in Zukunft wohl in stärkerem Maße zu rechnen.

Nach jetzigem Stand ist die künftige Entwicklung des Einflusses von Fischkrankheiten von zu vielen Faktoren abhängig und daher schwer abzuschätzen.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Teichwirtschaft

- Grundsätzlich beschleunigt sich das Wachstum der Karpfen bei zunehmenden Temperaturen, der steigende Trend ist für die Karpfenwirtschaft Sachsens von Vorteil, solange ausreichend Wasser zur Verfügung steht.
- Niedrigere Sommerniederschläge können zu einem erheblichen Wassermangel führen, da die Teiche in der Regel durch die oberflächennahen Grundwasserhorizonte gespeist werden und diese bei Niederschlagsdefizit weniger nachliefern können.
- Auf Fischkrankheiten wird sich der Klimawandel differenziert auswirken, so bricht beispielsweise die fischwirtschaftlich bedeutendste Koi-Herpesvirose im Bereich zwischen 16 und 25°C aus, andererseits können Wassertemperaturen > 30°C zu einer Immunität gegenüber dem Virus führen.
- Wassersparende Produktionsverfahren (mehrjährige Umtriebsweide) begünstigen Parasitosen.

4.6 Betriebswirtschaft

4.6.1 Ökonomische Bewertung von Zukunftsszenarien

4.6.1.1 Prognostizierte Änderungen in der Anbauvorzüglichkeit ausgewählter Fruchtarten

Die Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Produktion wird durch eine Vielzahl in- und externer Faktoren bestimmt. Um die ökonomische Wirkung der klimatisch bedingten Ertragsänderungen zu ermitteln, werden sämtliche anderen Einflussfaktoren, insbesondere die kaum vorhersehbare Entwicklung der Produkt- und Betriebsmittelmärkte bis 2030, vollständig ausgeblendet. Das in 2008 bestehende Kosten-Leistungs-Verhältnis wird in die Zukunftsszenarien projiziert.

Die Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Klimaänderungen basiert auf den Ergebnissen der Ertragssimulation durch ZALF (siehe Punkt 3.2). Die prognostizierten Ertragsänderungen sind somit die einzige variable Größe bei der Berechnung der Deckungsbeiträge für die Zukunftsszenarien.

Folgende Zukunftsszenarien werden definiert und ökonomisch bewertet:

- I Pessimistische Variante: ohne wissenschaftlich-technischem Trend, ohne CO₂-Düngeeffekt, trockene Realisierung (WEREX-Daten Variante I),
- II Optimistische Variante: mit wissenschaftlich-technischem Trend, mit CO₂-Düngeeffekt, feuchte Realisierung (WEREX-Daten Variante III).

Der Status quo, als Vergleichsbasis für die Szenarien, basiert auf den im Internet veröffentlichten Planungsdaten (Datenbank Planungsrichtwerte, Stand 06/2008: www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft) für das Planungsjahr 2008. Anhand der Ertragsdaten für die analysierten Fruchtarten von 1997 bis 2006 (Ausgangsdaten für die Simulationsrechnung) wurden mittels der Planungsrechnung die Deckungsbeiträge der Fruchtarten ermittelt.

Die Vorzüglichkeit der Fruchtarten wird anhand der Deckungsbeiträge (DB) je ha sowohl für Sachsen insgesamt als auch für die Standortregionen bestimmt (Abb. 4.6.1.1/1).

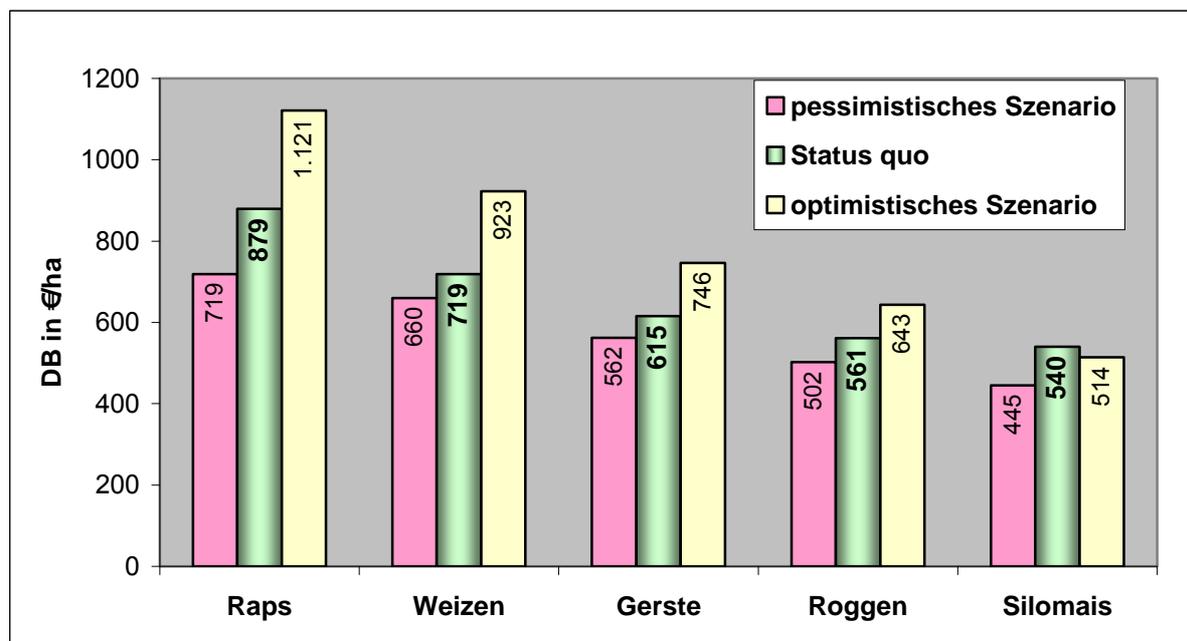


Abb. 4.6.1.1/1: Vorzüglichkeit der Fruchtarten nach Szenarien für Sachsen

Für gesamt Sachsen ist und bleibt Winterraps die vorzüglichste Ackerbaukultur, gefolgt von Winterweizen. Danach rangieren Wintergerste, Winterroggen und der Silomais.

Auf Grund der hohen Erzeugerpreise im Jahr 2008 für Raps wird ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag von 879 €/ha in Sachsen erwirtschaftet. An der Vorzüglichkeit von Winterraps ändert sich auch bei veränderten klimatischen Bedingungen nichts. Im pessimistischen Szenario hat Raps zwar höhere Ertragsseinbußen (- 13,7 %) aufzuweisen als Winterweizen (- 5,2 %), kann aber seine Vorrangstellung behaupten. Für das optimistische Szenario steigt der Deckungsbeitrag von Raps um 28 %. Die prozentuale Erhöhung des Deckungsbeitrages für Weizen beträgt 28 % für das optimistische Szenario.

Die Rangfolge der vorzüglichen Fruchtarten ändert sich durch die klimabedingten Ertragsänderungen für Gesamt-Sachsen nicht. Für alle analysierten Fruchtarten sinken die Erträge zwischen 5 und 14 % unter ungünstigen Klimabedingungen (Szenario I). Für das optimistische Szenario werden für Wintergetreide und Raps deutliche Ertragssteigerungen prognostiziert (zwischen 3 und 20 %). Der Silomais ist lt. Szenarienberechnungen der Verlierer der Klimaänderung. Er weist in allen Szenarien Ertragsseinbußen auf (zwischen - 3 % und - 11 %) und verliert an Vorzüglichkeit.

Für die vier Standortregionen ergibt sich hinsichtlich der Vorzüglichkeit der Ackerbaukulturen ein ähnliches Bild. Winterraps ist in allen Regionen die Fruchtart mit dem höchsten Deckungsbeitrag. Dieser variiert zwischen 770 €/ha (Heidegebiet) und 929 €/ha (Lössgebiet) im Status quo.

Der Winterweizen bleibt trotz klimatisch bedingter Ertragsänderungen in allen Standortregionen die wirtschaftlichste Getreideart, insbesondere auch, weil Winterweizen die Fruchtart mit der positivsten Ertragsentwicklung im optimistischen Szenario (bis 19 %) ist.

Änderungen in der Vorzüglichkeit der Fruchtarten treten über alle Szenarien nur in den Standortregionen Hügелgebiet und Gebirge auf (Tab. 4.6.1.1/1).

Für das optimistische Szenario wird im Hügелgebiet der Roggen von der Wintergerste auf Rang 4 verdrängt. In den Gebirgsstandorten geht die Vorzüglichkeit des Silomaises (3. Rang) verloren. Auf Grund höherer Erträge von Gerste (+ 16 %) und Roggen (+ 10 %) verbessert sich für diese Fruchtarten der Deckungsbeitrag um ca. 30 %.

Tab. 4.6.1.1/1: Änderung der Vorzüglichkeit der Fruchtarten für das optimistische Szenario

| Status quo | | | | | optimistisches Szenario | | | | |
|------------|------------------|-------------|------------|---------|-------------------------|------------------|-------------|------------|---------|
| Rang | Standortregionen | | | | Rang | Standortregionen | | | |
| | Heidegebiet | Hügелgebiet | Lössgebiet | Gebirge | | Heidegebiet | Hügелgebiet | Lössgebiet | Gebirge |
| 1 | Raps | Raps | Raps | Raps | 1 | Raps | Raps | Raps | Raps |
| 2 | WW | WW | WW | WW | 2 | WW | WW | WW | WW |
| 3 | WG | WR | WG | SM | 3 | WG | WG | WG | WG |
| 4 | WR | WG | WR | WG | 4 | WR | WR | WR | WR |
| 5 | SM | SM | SM | WR | 5 | SM | SM | SM | SM |

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die prognostizierten klimatisch bedingten Ertragsänderungen die Kosten-Leistungs-Relationen der einzelnen Fruchtarten unter Zugrundelegung der gegenwärtigen Planungsdaten und der relativ unsicheren und vereinfachenden (keine Berücksichtigung von Extremereignissen) Klimaprojektionen und Ertragsimulationen nicht so beeinflussen, dass es zu Verschiebungen in der Vorzüglichkeit der analysierten Marktfrüchte kommt. Grundlegende Änderungen in der Anbaustruktur Sachsens sind aus wirtschaftlichen Gründen (Deckungsbeitragsänderung) auf der Grundlage dieser modellmäßigen Betrachtung nicht zu erwarten.

4.6.1.2 Prognostizierte Änderungen des durchschnittlichen Deckungsbeitrages und mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolge

Die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels werden auf der Basis des durchschnittlichen Gesamt-Deckungsbeitrages (Gesamt-DB) in der jeweiligen Standortregion quantifiziert. Dieser errechnet sich aus dem erzielten Deckungsbeitrag der Fruchtart und dem jeweiligen Anbauumfang (Anbauumfang: 3-jähriges Mittel der Anbaufläche aus 2005 bis 2007, Agrarförderung) in der Standortregion bzw. in Sachsen gesamt. Da in den Berechnungen nur die klimatisch bedingten Ertragsänderungen der 5 Hauptfruchtarten prognostiziert wurden, bildet der durchschnittliche Deckungsbeitrag zwischen 54 % (Gebirgsregion) und 77 % (Lössgebiet) des Anbauumfangs in der Standortregion ab. Dies ist bei der Wertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Für Sachsen gesamt wird ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag in Höhe von 493 €/ha berechnet, welcher 70 % des Anbauumfangs in Sachsen repräsentiert (Abb. 4.6.1.2/1). Winterweizen leistet auf Grund eines Anbauumfangs von 24 % in Sachsen den größten Anteil am Gesamtdeckungsbeitrag. Raps mit einem Anbauumfang von 18 % trägt 161 €/ha bei. Der Beitrag aller anderen analysierten Fruchtarten ist mit < 100 €/ha deutlich geringer.

Status quo 2008 – Grundlage der Szenarienberechnung

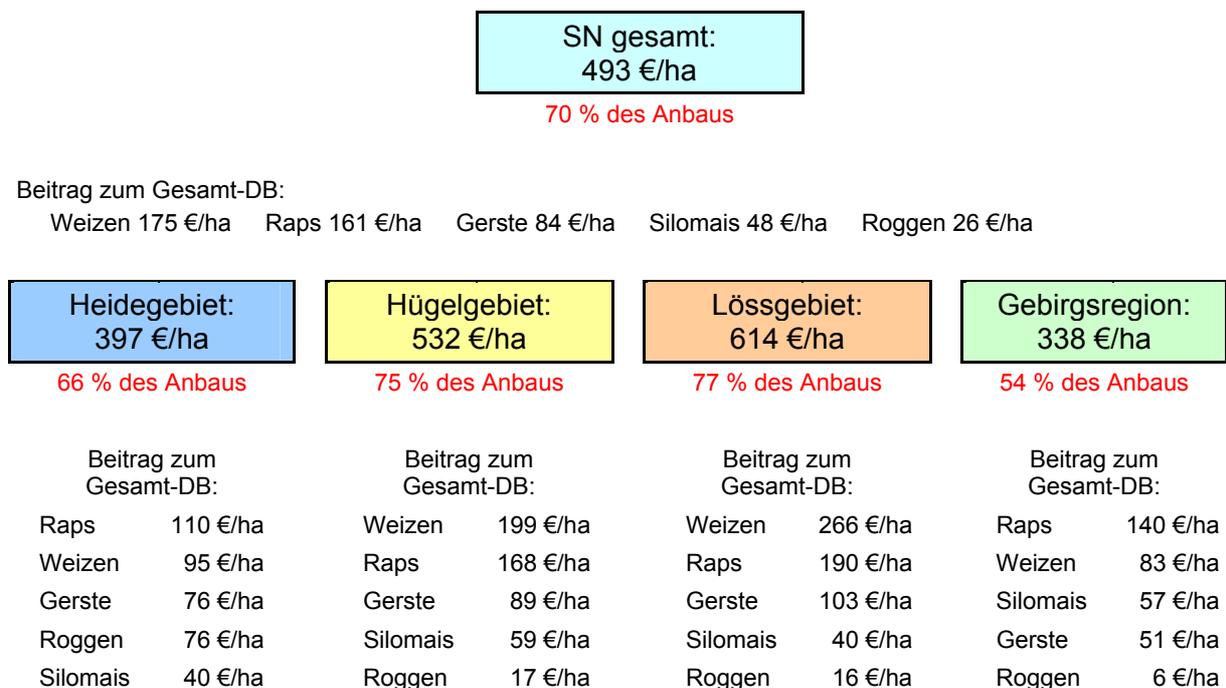


Abb. 4.6.1.2/1: Übersicht zur Ausgangssituation (Status quo) für die ökonomische Szenarienbewertung

Im Lössgebiet wird der höchste Gesamt-Deckungsbeitrag je ha LF erwirtschaftet, in der Gebirgsregion der niedrigste. Da die Repräsentanz der Anbauumfänge in der Standortregion berücksichtigt wurde, ist ein horizontaler Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Regionen nur unter Beachtung der Fruchtfolge möglich.

In den Szenarienberechnungen werden die Gesamt-Deckungsbeiträge für die Standortregionen dem Status quo gegenübergestellt und die Änderungen innerhalb der Regionen bewertet. Bei unterstellten konstanten Anbauanteilen wirken in den Szenarienberechnungen ausschließlich die prognostizierten Ertragsänderungen der Fruchtarten auf den Beitrag zum durchschnittlichen Deckungsbeitrag der Standortregionen.

Standortregion Sächsisches Heide- und Teichgebiet

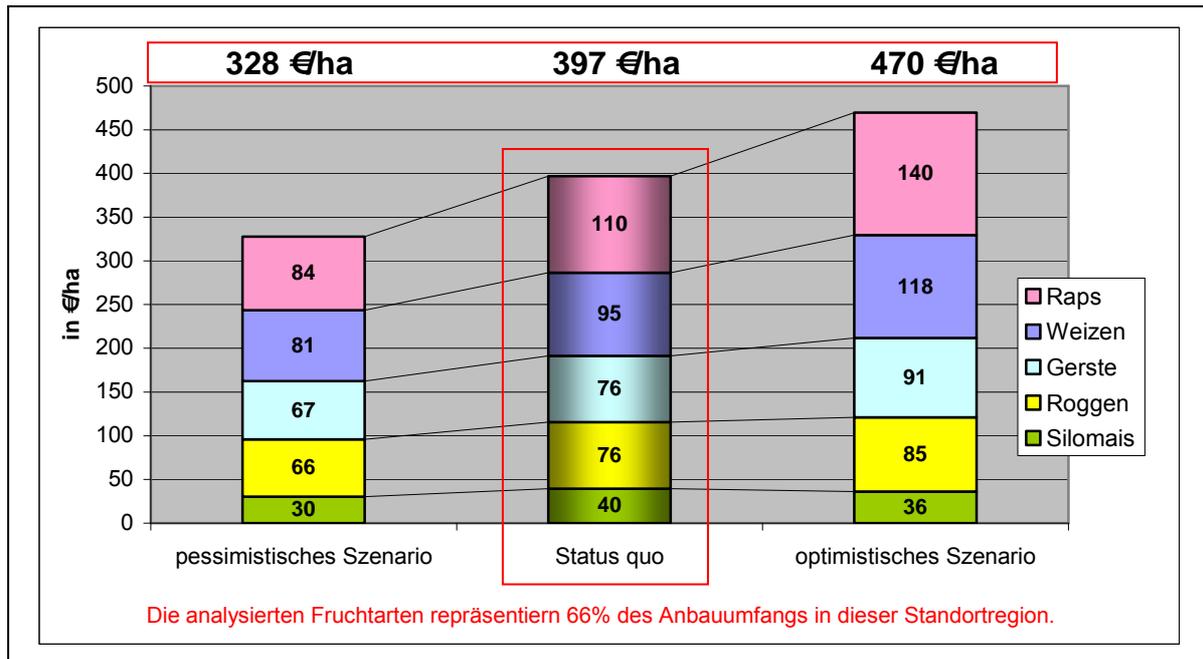


Abb. 4.6.1.2/2: Szenarienberechnungen für das Sächsische Heide- und Teichgebiet (Ost)

Im Heide- und Teichgebiet verringert sich der Gesamt-DB im pessimistischen Szenario um 69 €/ha (- 17 %) auf 328 €/ha LF gegenüber dem Status quo (Abb. 4.6.1.2/2). Winterraps mit einem Anbauumfang von 14 % verliert auf Grund der deutlichen Ertragsseinbußen am meisten (- 26 €/ha). Der Beitrag aller anderen analysierten Fruchtarten verringert sich zwischen - 9 und - 14 €/ha.

Im optimistischen Szenario bewirkt der Ertragsanstieg bei Getreide und Raps eine Erhöhung des Gesamt-DB um 18 % auf 470 €/ha. Raps hat den stärksten wirtschaftlichen Einfluss (+ 30 €/ha). Roggen, die Fruchtart mit dem höchsten Anbauanteil in der Standortregion (14,5 %), zeigt klimatisch bedingte Auswirkungen im Beitrag zum Gesamt-DB zwischen - 13 % und + 11 %.

Die generell negative Ertragsentwicklung von Silomais über alle Szenarien verringert bei einem Anbauumfang von 9 % in der Standortregion den kalkulierten Beitrag zum Gesamt-DB um maximal - 10 €/ha LF.

Standortregion Sächsisches Hügellgebiet (Oberlausitz, Sächsische Schweiz)

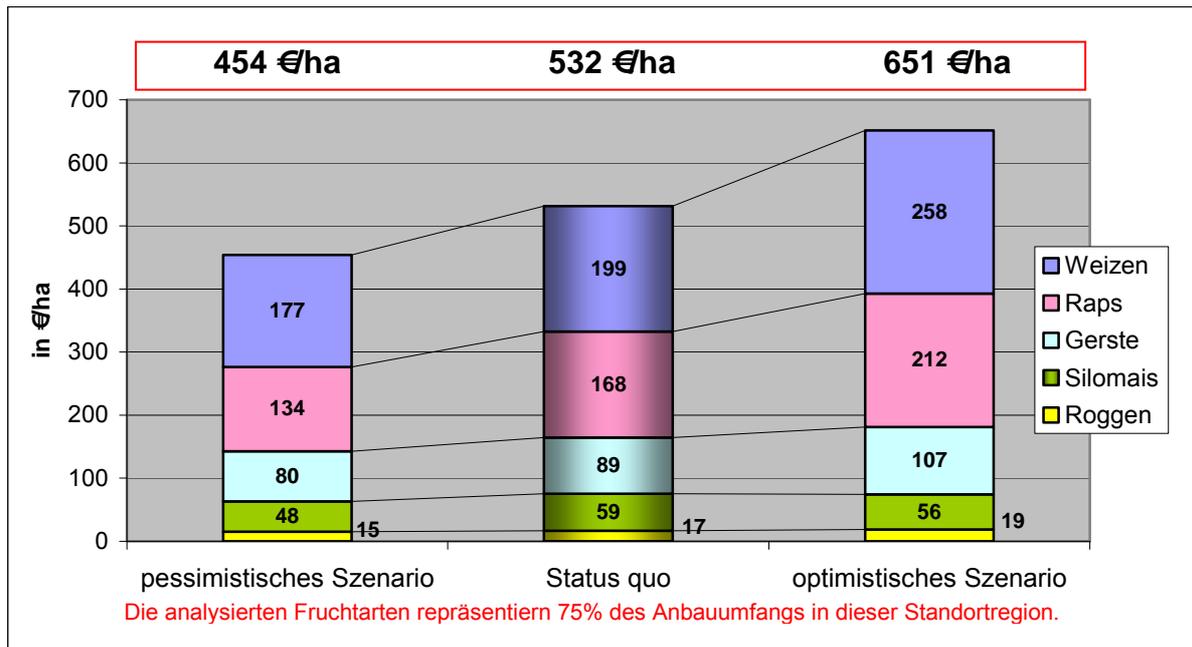


Abb. 4.6.1.2/3: Szenarienberechnungen für das Sächsische Hügellgebiet

Im pessimistischen Szenario sinkt der Gesamt-DB der Standortregion um 78 €/ha auf ein Niveau von 85 % des Status quo (Abb. 4.6.1.2/3). Winterweizen mit dem höchsten Anbauumfang (29 %) verliert mit - 22 €/ha weniger als Winterraps (- 34 €/ha). Der Beitrag aller anderen analysierten Fruchtarten verringert sich zwischen - 2 und - 11 €/ha.

Der Gesamt-DB erhöht sich im optimistischen Szenario um 22 % auf 651 €/ha. Auch hier ist Raps die Fruchtart mit dem stärksten wirtschaftlichen Einfluss (+ 44 €/ha). Die sinkenden Silomaiserträge über alle Szenarien verringern den kalkulierten Beitrag zum Gesamt-DB bei einem Anbauumfang von 10 % in der Standortregion um maximal - 11 €/ha LF.

Standortregion Mittelsächsisches Lössgebiet

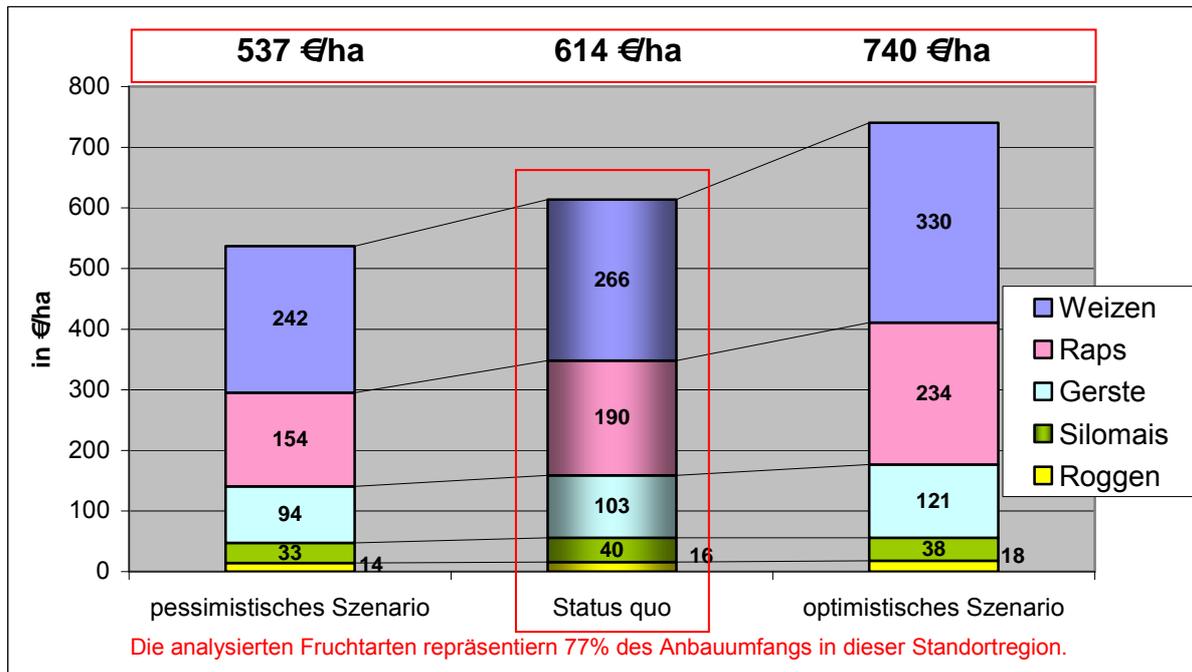


Abb. 4.6.1.2/4: Szenarienberechnungen für das Mittelsächsische Lössgebiet

Die analysierten Fruchtarten bilden 77 % des Anbaus im sächsischen Lössgebiet ab (Abb. 4.6.1.2/4). Mit einem Anbauumfang von 32 % dominiert der Weizen und erbringt 42 % des Gesamt-DB der Standortregion. Raps ist mit einem Beitrag von 190 €/ha (30 %) die zweite wichtigste Fruchtart, gefolgt von der Wintergerste (17 % des Gesamt-DB). Roggen und Silomais sind sowohl vom Anbauumfang als auch vom wirtschaftlichen Beitrag her im Lössgebiet eher unbedeutend.

Die prognostizierten Ertragsänderungen zwischen 6 und 15 % im pessimistischen Szenario führen zu einem Rückgang des Gesamt-DB um 13 % auf 537 €/ha. Ca. 50 % des Rückgangs werden durch die deutlichen Ertragseinbußen bei Raps (- 5 dt/ha) verursacht. Für das optimistische Szenario wird ein Anstieg des Gesamt-DB von 20 % gegenüber dem Status quo kalkuliert. Hier schlagen die starken Ertragszuwächse (+ 16 %) bei Weizen zu Buche, wobei er seinen wirtschaftlichen Beitrag weiter ausbauen kann (45 % der Gesamt-DB).

Standortregion Sächsisches Gebirgsvorland und Gebirge

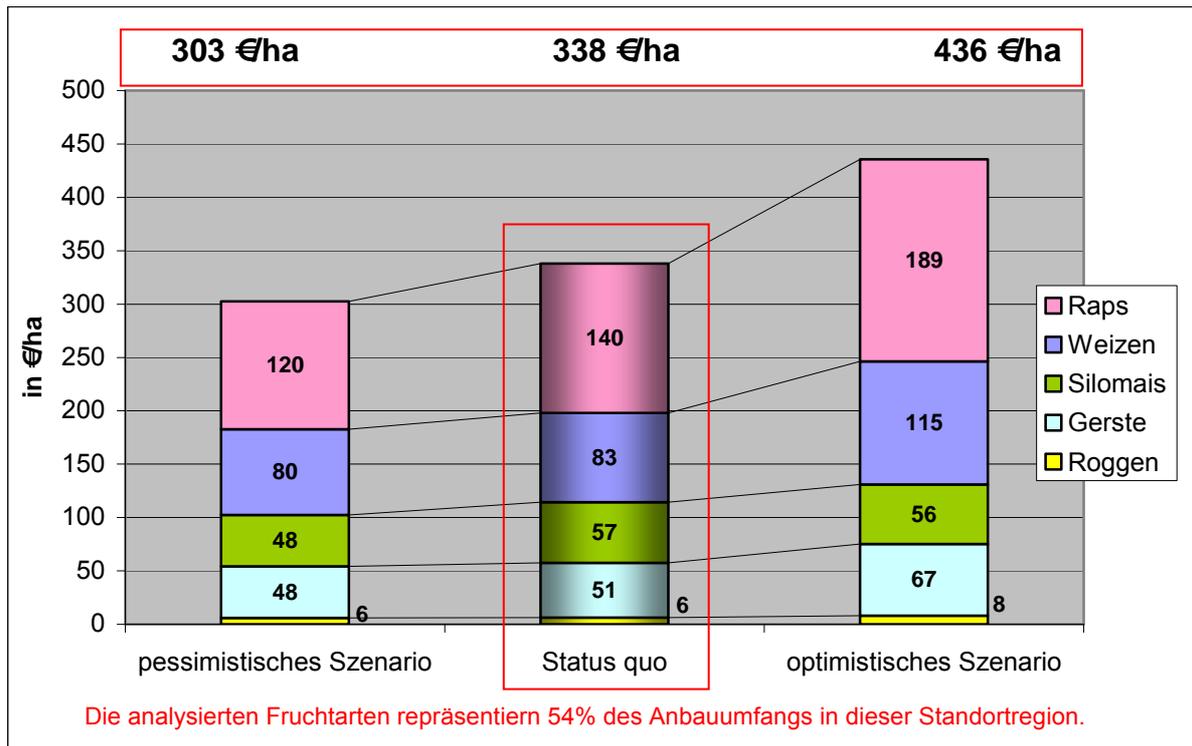


Abb. 4.6.1.2/5: Szenarienberechnungen für das Gebirgsvorland und Gebirge

Im pessimistischen Szenario verringert sich in dieser Region der Gesamt-DB gegenüber dem Status quo um 10 % auf 303 €/ha (Abb. 4.6.1.2/5). Winterraps mit einem Anbauumfang von 17 % verliert auf Grund der deutlichen Ertragseinbußen (- 10 %) am meisten (- 20 €/ha). Der Beitrag aller anderen analysierten Fruchtarten verringert sich zwischen 0 (Roggen) und - 9 €/ha (Silomais).

Die im optimistischen Szenario prognostizierten klimatisch bedingten Ertragsänderungen bewirken eine deutliche Erhöhung des Gesamt-DB um 29 % auf 436 €/ha.

43 % des durchschnittlichen Deckungsbeitrages je ha AL wird allein durch den Raps erwirtschaftet. Die Wintergerste gewinnt unter den geänderten Klimabedingungen an wirtschaftlicher Bedeutung (anteiliger DB + 30 %).

Die negative Ertragsentwicklung von Silomais über alle Szenarien verringert bei einem Anbauumfang von 11 % in der Standortregion den kalkulierten Beitrag zum Gesamt-DB um maximal - 9 €/ha LF. Roggen ist und bleibt in der Gebirgsregion unbedeutend.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ökonomischen Auswirkungen der Klimaveränderungen (analysierte Szenarien) auf die sächsische Landwirtschaft relativ gering sind. Lediglich im pessimistischen Szenario werden ertragsbedingte Einbußen wirksam, die den durchschnittlichen Deckungsbeitrag je ha Ackerland senken. Einschränkend ist hier allerdings auf die in Kap. 2 und 3 dargelegten erheblichen Unsicherheiten und Vereinfachungen, wie u. a. die fehlende Berücksichtigung von Extremereignissen, nachdrücklich hinzuweisen.

Der kalkulierte Gesamt-DB verringert sich für Sachsen gesamt auf 87 % des Status quo, wobei die Standortregionen differenziert reagieren (Abb. 4.6.1.2/6).

Veränderte Vegetationsbedingungen bewirken im Heide- und Teichgebiet einen Rückgang des Gesamt-DB um 17 %, während dieser in der Gebirgsregion lediglich um 10 % sinkt.

Auch im optimistischen Szenario profitiert die Standortregion Gebirgsvorland/Gebirge wirtschaftlich am meisten von den klimatischen Änderungen. Die Standortregion Lössgebiet erzielt nach den Szenarienberechnungen nahezu die gleichen Ertragszuwächse natural als auch ökonomisch (Gesamt-DB) wie das Sächsische Hügellgebiet.

Das Heidegebiet ist über alle Szenarien die Standortregion, welche am sensibelsten auf die klimatischen Änderungen reagiert – wirtschaftlich bleibt sie hinter den anderen Regionen auch bei Berücksichtigung des wissenschaftlich-technischen Trends und mit CO₂-Düngeeffekt zurück.

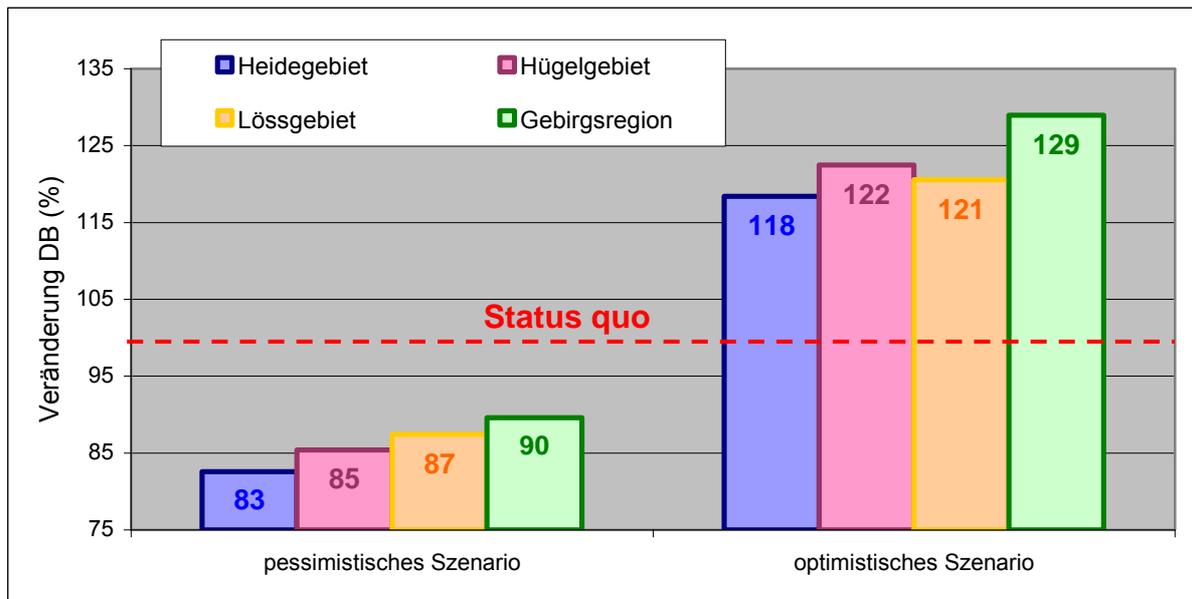


Abb. 4.6.1.2/6: Veränderungen des Gesamt-DB in den Standortregionen nach den Szenarienberechnungen in %

4.6.1.3 Entwicklungstendenzen der Angebots- und Nachfragemärkte einschließlich der Direktzahlungen bis 2030

Angebots- und Nachfragemärkte

Grundlage der Einschätzungen ist u. a. der aktuelle Agrarausblick der OECD. Er bewertet die Agrarmärkte von 2008 bis 2017. Weiterhin liegt eine Studie von IFPRI zu den Folgen der Klimaveränderung mit Auswirkungen auf die Landwirtschaft vor, z. T. mit Schätzungen bis 2080 bei der Getreideproduktion. Die FAO analysiert die weltweite Landwirtschaft 2030 bis 2050. Der OECD-Umweltausblick stellt mögliche Entwicklungen bis 2030 dar.

Auf der Nachfrageseite tragen hauptsächlich die sich verändernden Ernährungsgewohnheiten, die Verstädterung sowie das Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum in den Entwicklungsländern zu steigender Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln bei (OECD 2008).

- Die FAO rechnet mit einem geringeren Bevölkerungswachstum als bisher: 2000 bis 2030 1,0 % p. a., 2030 bis 2050 0,8 % p. a. Trotz allem ist dies von 2000 bis 2050 ein Zuwachs von 2,8 Mrd. (+ 47 %) auf 8,9 Mrd. Menschen. Dieses Wachstum findet hauptsächlich in den Entwicklungsländern statt (OECD 2008).
- Der Pro-Kopf-Verbrauch (in kcal) steigt langfristig von 2000 bis 2050 lt. FAO weltweit um 12 %. Dieses Wachstum findet ebenfalls hauptsächlich in den Entwicklungsländern statt. Die verstärkte Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln, besonders durch die steigende Kaufkraft der Schwellenländer, bedeutet dabei einen erheblichen Mehrbedarf an Getreide (OECD 2008).

- Die Nachfrage (alle Verwendungsmöglichkeiten) steigt bis 2050 auf 339 kg/Person/Jahr. Dies ergibt eine Gesamtnachfrage von 3,01 Mrd. t Getreide (OECD 2008).
- Obwohl der größte absolute Nachfrageanstieg in der Landwirtschaft bei Nahrungs- und Futtermitteln besteht, wirkt auch die Nachfrage aus dem Biokraftstoffsektor erheblich (OECD 2008).

Weltweit wird der Energieverbrauch von 2004 bis 2030 nach Schätzung des U. S. Departments of Energy Washington um mehr als die Hälfte steigen (EIA 2008). Gleichzeitig wird weltweit der Bedarf an Bioenergie steigen. Damit wird zunehmend die Entwicklung der weltweiten Landwirtschaft von der Nutzung der Agrarrohstoffe für energetische Zwecke beeinflusst.

Laut FAO wird die Frage des möglichen Wettbewerbs zwischen Nutzungen von landwirtschaftlichen Ressourcen für die Energie vs. Nahrung zunehmend relevant. Neben Brasilien könnten andere Regionen (z. B. Afrika mit Zuckerrohr) Bedingungen zur wettbewerbsfähigen Produktion von Bioenergie schaffen. Die Wettbewerbsfähigkeit der biogenen Brennstoffe kann durch Förderung von neuen Technologien zur Verwendung von Biomasse vergrößert werden. Damit könnte sich der Druck auf die Nahrungsmittelerzeugung etwas verringern (OECD 2008).

Die wachsende Nachfrage stellt hohe Forderungen an das zukünftige weltweite Angebot an Agrarrohstoffen:

- Laut OECD wird erwartet, dass von 2005 bis 2017 das Angebot von Getreide stärker durch das anhaltende Ertragswachstum (+ 15 %) als durch neu erschlossene Flächen (+ 3 %) bestimmt wird. Die Produktion wird um 291 Mio. t (+ 18 %) auf 1.906 Mio. t erhöht. Langsam steigende Erträge in der Nutztierhaltung werden den Anstieg der Milch- und Fleischproduktion fördern. Der Anreiz zur Produktionssteigerung wird durch die hohen Ölpreise und damit die hohen Produktionskosten gedämpft (OECD 2008).
- Entsprechend dem OECD-Umweltausblick wird bis 2030 für die gesamte Nahrungs- und Biokraftstoffproduktion eine Ausdehnung der weltweiten Anbauflächen um 10 % erforderlich sein (OECD 2008).
- Nach FAO werden die Wachstumsraten der weltweiten Landwirtschaft p. a. zukünftig deutlich geringer als in den letzten Dekaden ausfallen: 2001 – 2030 1,5 %; 2030 – 2050 0,9 %. Die Abschwächung reflektiert das niedrigere Bevölkerungswachstum sowie die allmähliche Erreichung eines mittelhohen Niveaus des Pro-Kopf-Verbrauches in einer wachsenden Zahl von Ländern (FAO 2006).
- Die FAO erwartet einen Anstieg der weltweiten Getreideproduktion um ca. 3 Mrd. t. Dies würde ungefähr der errechneten Gesamtnachfrage (s. o.) entsprechen. Während in den Industrieländern und in den Schwellenländern die Produktion entsprechend erhöht wird, vergrößert sich in den Entwicklungsländern das Defizit (FAO 2006).
- IFPRI weist dagegen in langfristigen Projektionen darauf hin, dass bis 2080 die Getreideernten weltweit um knapp ein Prozent sinken werden. Zwischen den Kontinenten kann es dabei zu dramatischen Veränderungen kommen. Während die Ernten in Südasien um 22 % einbrechen können, sollen die Ernten in Industrieländern sowie in Südamerika sogar steigen (IFPRI 2007).
- IFPRI geht davon aus, dass durch Klimawandel verursachte Ernteaufälle nicht voll durch technologische Innovationen aufgefangen werden können (IFPRI 2007).

Der Mittelpunkt der globalen Landwirtschaft wird sich bis 2017 weiter vom OECD-Raum zu den Entwicklungsländern verlagern. Ähnliche Verlagerungen finden im Welthandel statt. Es wird zum umfangreicheren Import, aber auch Export der Schwellen- und Entwicklungsländer kommen. Die OECD-Länder dominieren beim Exporthandel weiterhin bei Weizen, Grobgetreide, Schweinefleisch und Molkereiprodukten (OECD 2008).

Der wachsende Wettbewerb unter den sich entwickelnden Exportländern wird weiterhin Druck auf die Preise ausüben und zu Verschiebungen auf Kosten der schwächsten Exporteure unter ihnen führen (FAO 2006).

Auf Grund der hohen Angebots- und Nachfragedynamik werden die Rohstoffpreise mittelfristig im Schnitt deutlich über dem Niveau der vergangenen zehn Jahre liegen (OECD 2008). Die schwierige Versorgungslage wird mit weiteren Preissteigerungen einhergehen (IFPRI 2007).

Für die am wenigsten entwickelten Länder wird in den Zeiten hoher Rohstoffpreise und starker Preisvolatilität von einer unsicheren Nahrungsmittelversorgung ausgegangen. Dort ist es von Bedeutung, die einheimischen Versorgungskapazitäten aufzubauen (OECD 2008). Zu beachten sind aber auch hier die nur begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie Wasserreserven.

Die tatsächlichen Preisentwicklungen von Agrarprodukten und Nahrungsmitteln hängen in erheblichem Maße von den künftigen politischen Entscheidungen ab (OECD 2008).

Gleichzeitig wird die Ölpreisentwicklung großen Einfluss auf die künftige Nachfrage nach Agrarrohstoffen für Biokraftstoffe und damit auf den Gesamtagrarmarkt sowie auf dessen Preisniveau haben. Die energetische Verwertung von Agrarrohstoffen schafft unter Berücksichtigung der Energiepreise gewisse Mindest- und Höchstpreise für Food-Rohstoffe (SCHMIDHUBER 2007).

Direktzahlungen

Im Jahr 2005 wurden in Deutschland insgesamt 5,131 Mrd. € Direktzahlungen im Rahmen der Betriebsprämienregelung an die Landwirte ausgezahlt (Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2007, BMELV). Der Durchschnittswert lag bei 302,95 €/Zahlungsanspruch. Ein Zahlungsanspruch (ZA) muss jeweils mit einem Hektar beihilfefähiger Fläche aktiviert werden, damit eine Auszahlung dieses Betrages an den Landwirt erfolgen kann. Im Zuge der weiteren Umsetzung der Reform erhöhen sich die Werte in den Folgejahren. Der durchschnittliche Zielwert für Deutschland beträgt im Jahr 2013 344 €/ZA.

Im Freistaat Sachsen standen für den Landwirt (2005) 298,5 Mio. € zur Auszahlung bereit, was einem Durchschnittswert von 327,61 €/ZA entsprach. Im Jahr 2013 wird ein durchschnittlicher Zielwert von ca. 360 €/ZA erwartet. Entsprechend der EU-Verordnung VO(EG) 73/2009 (ehemals VO (EG) 1782/2003) werden obligatorisch 5 % der Betriebsprämie jährlich moduliert und in die 2. Säule der Agrarpolitik umgeschichtet. Im Rahmen des Health Check wurde für 2009 die Erhöhung dieser Basismodulation von 2 % festgesetzt, die bis 2012 jährlich um weitere 1 % steigt. Damit erhöht sich die Basismodulation auf insgesamt 10 % bis zum Jahr 2012. Betriebe mit einer Betriebsprämie über 300.000 € im Jahr unterliegen einer weiteren Modulation von 4 %. Diese so genannte progressive Modulation wird in einem Schritt ab 2009 eingeführt. Jeder Euro der Betriebsprämie über 300.000 € wird um zusätzlich 4 % gekürzt. Damit verringert sich die Betriebsprämie als Summe aller Zahlungsansprüche der sächsischen Landwirte weiter.

Die europäischen Landwirte müssen sich nach 2013, wenn der derzeitige EU-Finanzrahmen ausläuft, auf neue Einschnitte einstellen. Es ist mit einer Umverteilung der Mittel aus der ersten Säule (Direktzahlungen, Marktordnungsausgaben) in die zweite Säule (Ländliche Entwicklung) der gemeinsamen Agrarpolitik zu rechnen.

Gleichzeitig gibt es zunehmend Stimmen, die die derzeitige Verteilung der EU-Direktzahlungen als ungerecht bezeichnen. Vor diesem Hintergrund sind die Bestrebungen innerhalb Deutschlands als auch innerhalb Europas nach einer einheitlichen Flächenprämie, die deutlich unterhalb der derzeitigen Höhe der Zahlungsansprüche liegen könnte, zu beachten. Insbesondere auch die neuen EU-Mitgliedsstaaten, die bereits heute eine obligatorische Einheitsprämie je ha LF erhalten, werden diese Bestrebungen vorantreiben.

Als Resümee ist festzuhalten:

- Es kann nicht sicher eingeschätzt werden, ob das Angebot an Agrarrohstoffen mit der steigenden Nachfrage im Food- und Non-Food-Bereich in den nächsten Jahrzehnten ausreichend Schritt halten kann.
- Dem erwarteten Preisanstieg für landwirtschaftliche Rohstoffe stehen künftig zunehmende Produktionskosten (Energie, Dünger, Pflanzenschutzmittel, Maschinen etc.) sowie eine Reduzierung der Direktzahlungen gegenüber.
- Eine seriöse Abschätzung, welche wirtschaftlichen Perspektiven sich daraus für die sächsische Landwirtschaft bis 2030 ergeben könnten, ist auf Grund des langen Zeitraums und der im Voraus nicht quantifizierbaren Einflussfaktoren nicht möglich.
- Für den Zeitraum bis 2030 bestehen somit keine Anhaltspunkte dafür, dass die sächsischen Landwirte mit höheren Gewinnerwartungen gegenüber dem derzeitigen Stand rechnen können und dass ggf. entstehende klimabedingte Mindererträge oder Mehraufwendungen allein durch positive Entwicklungstendenzen der Absatz- und Beschaffungsmärkte sowie der Direktzahlungen kompensiert werden könnten.

4.6.1.4 Gesamtbewertung

Die ökonomischen Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die sächsische Landwirtschaft sind nach den Ertragssimulationen (ZALF) relativ gering. Lediglich im pessimistischen Szenario (ohne Berücksichtigung des wissenschaftlich-technischen Trends und ohne CO₂-Düngeeffekt) werden ertragsbedingte Einbußen ökonomisch wirksam. Einschränkend ist hier allerdings auf die in Kap. 2 und 3 dargelegten erheblichen Unsicherheiten und Vereinfachungen, wie u. a. die fehlende Berücksichtigung von Extremereignissen, nachdrücklich hinzuweisen.

Mit Berücksichtigung des wissenschaftlich-technischen Trends und mit dem CO₂-Düngeeffekt des optimistischen Szenarios werden deutlich höhere durchschnittliche Deckungsbeiträge für die sächsischen Standortregionen erwartet als im Status quo.

Die Ertrags-Simulationsberechnungen nach ZALF zeigen jedoch auch, dass der Effekt des wissenschaftlich-technischen Fortschritts die Ertragsentwicklung der analysierten Fruchtarten stärker beeinflusst als der CO₂-Düngeeffekt.

Die projizierten klimatisch bedingten Ertragsänderungen, die allerdings als langfristige Mittelwerte nur die Größenordnung möglicher Veränderungen ohne Berücksichtigung der Auswirkungen von Extremereignissen angeben, beeinflussen nur in geringem Maße die Kosten-Leistungs-Relationen der einzelnen Fruchtarten. Grundlegende Änderungen in der Anbaustruktur Sachsens sind aus wirtschaftlichen Gründen (Deckungsbeitragsänderung) danach nicht zu erwarten.

Eher begünstigte Regionen der Klimaänderungen nach den Ertragssimulationen werden das Gebirgsvorland und die Gebirgslagen in Sachsen sein. Deutliche Ertragszuwächse der analysierten Hauptfruchtarten (bis 22 %) könnten zu wirtschaftlich lukrativeren Produktionsbedingungen in dieser Standortregion führen.

Befürchtete extreme Ertragsrückgänge, insbesondere in der Standortregion Heide- und Teichgebiet, die aus wirtschaftlichen Gründen zur freiwilligen Stilllegung der Flächen führen würden, wurden nicht prognostiziert. Dennoch werden für das Heide- und Teichgebiet die höchsten Rückgänge unter pessimistischen Bedingungen und die geringsten Zuwächse im optimistischen Szenario prognostiziert.

Bei der Betrachtung der wirtschaftlichen Auswirkungen der klimatischen Änderungen werden für den Zeithorizont um 2030 gemittelte Ertragsänderungen wirtschaftlich bewertet.

Die Herausforderungen der sächsischen Landwirtschaft werden zukünftig aber insbesondere in einer stärkeren Schwankungsbreite der Erträge in den Einzeljahren liegen.

Den zunehmenden Unsicherheiten der landwirtschaftlichen Produktion durch Wetterextreme müssen die Unternehmen mit einem umfassenden Risikomanagement entgegen treten.

Die Entwicklungstendenzen der Angebots- und Nachfragemärkte weltweit lassen bis 2030 - 2050 kaum Preisrückgänge erwarten. Die Preisschwankungen zwischen den Jahren werden zukünftig deutlich größer sein.

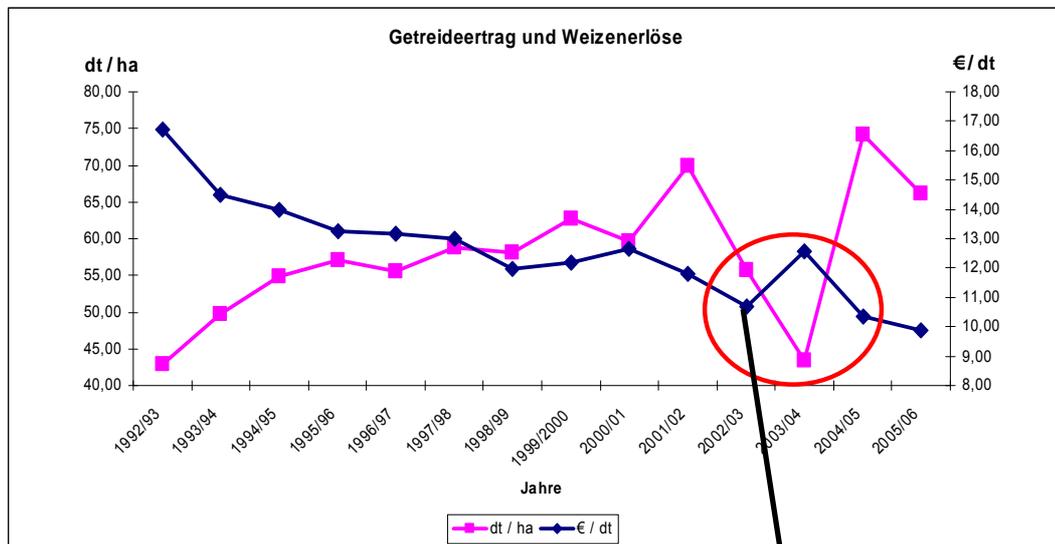
Die Europäische Union wird die Agrarpolitik weiter reformieren und die Direktzahlungen zurückfahren. Sächsische Landwirte werden sich mit deutlich eingeschränkter Unterstützung aus Brüssel am Weltmarkt behaupten müssen.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Klimaänderung auf die anderen landwirtschaftlichen Produktionsrichtungen wie Tierproduktion, Teichwirtschaft und den Gartenbau in Sachsen, lassen sich kaum bewerten.

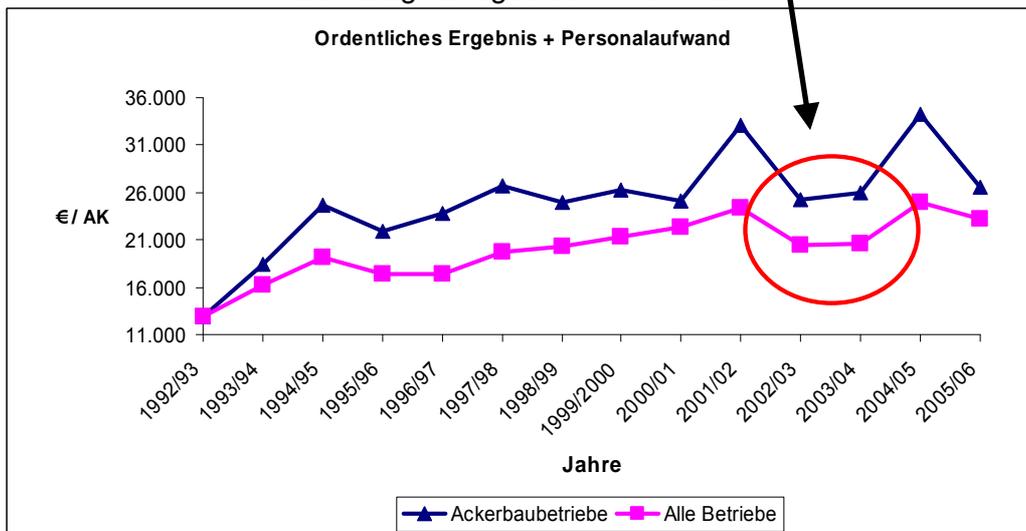
4.6.2 Analyse der Einkommensentwicklung in der Landwirtschaft für Sachsen und nach Regionen

Einleitend soll der Zusammenhang zwischen niedrigen Erträgen auf Grund von Witterungsextremen und niedrigem Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe für Sachsen insgesamt dargestellt werden.

Erträge / Preise



Nachhaltig verfügbares Einkommen



Quelle: Sächsische Buchführungsergebnisse; eigene Zusammenstellung Ref. 22

Abb. 4.6.2/1: Zusammenhang zwischen ertrags- und einkommenschwachen Jahren

Die wirtschaftliche Lage des sächsischen Ackerbaus war im Wirtschaftsjahr 2002/2003 stark beeinträchtigt. Dieses Jahr war geprägt von Dauerregen und Hochwasser im August 2002, schwierigen Bedingungen zur Herbstbestellung 2002 und einer teilweise starken Vorsommertrockenheit 2003.

Auch im Wirtschaftsjahr 2003/2004 hat sich gegenüber dem ohnehin schon schlechten Vorjahr 2002/2003 die wirtschaftliche Lage im Ackerbau nicht verbessert. Dies war eine zum gesamtdeutschen Trend gegenläufige Entwicklung. Der Bundesagrarbericht zum Wirtschaftsjahr 2003/2004 weist eine Einkommensverbesserung der deutschen Landwirtschaftsbetriebe aus.

In den sächsischen Betrieben wurde in der pflanzlichen Erzeugung durch die Trockenheit im Jahr 2003 noch nicht einmal das niedrige Ertragsniveau des Nässejahres 2002 erreicht. Beim Getreide wurde im Durchschnitt aller betrachteten Betriebe 10 dt/ha LF bzw. 18 % weniger geerntet und ein Ertrag von nur 44 dt/ha LF erzielt. Bei den Hackfrüchten ging der Ertrag um 21 % zurück. Durchweg höhere Preise für Getreide, Raps und Hackfrüchte, die sich aus der Angebotsknappheit ergaben, konnten die Mindererträge nicht ausgleichen.

An den wirtschaftlichen Ergebnissen dieser beiden Extremjahre kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Einkommensrückgängen in der Landwirtschaft und niedrigem Ertragsniveau im Pflanzenbau auf Grund von widrigen Witterungsbedingungen festgestellt werden (Abb. 4.6.2/1).

Auch zeigt sich an der Entwicklung des nachhaltig verfügbaren Einkommens (Ordentliches Ergebnis zzgl. Personalaufwand je Arbeitskraft) seit 2001/2002, dass die Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren stark zunehmen.

Welche Einkommensentwicklung nach Regionen ist auf der Grundlage der nachfolgenden Berechnungen der Deckungsbeitragsänderungen zu erwarten?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden die im Punkt 4.6.1 prognostizierten Deckungsbeitragsänderungen mit dem durchschnittlichen Einkommen (Ordentliches Ergebnis zzgl. Personalaufwand) der letzten drei vorliegenden Jahre (2004/2005; 2005/2006 und 2006/2007) in Sachsen insgesamt und den drei Wirtschaftsgebieten in Beziehung gesetzt (siehe Tab. 4.6.2/1). Hierfür wurden die Daten aller vorliegenden BMELV-Jahresabschlüsse von Landwirtschaftsbetrieben genutzt, unabhängig ihrer Rechts- und Betriebsform. Über die Kennzahl Ordentliches Ergebnis zzgl. Personalaufwand je Arbeitskraft ist ein Vergleich zwischen unterschiedlich organisierten Betrieben möglich.

Auf Grund der vorhandenen Datengrundlagen wurden für folgende drei Regionen Berechnungen durchgeführt:

Wirtschaftsgebiet 1 = Sächsische Heide- und Teichlandschaft,

Wirtschaftsgebiet 2 = Sächsisches Lössgebiet,

Wirtschaftsgebiet 3 = Sächsisches Mittelgebirge und Vorland.

Es zeigt sich, dass für das pessimistische Szenario ein Einkommensrückgang in Sachsen von - 5 % bzw. knapp - 16 T€/Betrieb zu erwarten ist, für das optimistische Szenario kann mit einem Einkommenszuwachs in Höhe von + 9 % bzw. knapp 30 T€/Betrieb gerechnet werden.

Die Einkommenswirkungen in den einzelnen Wirtschaftsgebieten sind unterschiedlich. Die größte Schwankungsbreite zwischen pessimistischem und optimistischem Szenario ist mit 55 T€/Betrieb im sächsischen Lössgebiet (Wirtschaftsgebiet 2) festzustellen. Je nach Eintreten des jeweiligen Szenarios könnte es hier zu einem Einkommensrückgang um - 6 % bzw. - 21 T€/Betrieb, aber auch zu einem Einkommenswachstum von + 10 % bzw. knapp 34 T€/Betrieb kommen.

Im Wirtschaftsgebiet 2 wurden die größten Unterschiede bei den Deckungsbeiträgen je Szenario ermittelt, die sich dann auch in einer großen Schwankungsbreite beim Einkommen widerspiegeln.

Bei Eintreten des pessimistischen Szenarios würden sich im Wirtschaftsgebiet 1 die Einkommen absolut wie auch relativ am stärksten verringern. Es wurde für dieses Gebiet und in diesem ungünstigen Fall ein Einkommensrückgang von - 7 % bzw. knapp - 23 T€/Betrieb berechnet.

Tab. 4.6.2/1: Veränderung des Ordentlichen Ergebnisses zzgl. Personalaufwand je Arbeitskraft auf Grund der prognostizierten Deckungsbeitragsänderungen in Sachsen insgesamt und den drei Wirtschaftsgebieten

| Szenario | Veränderung Deckungsbeitrag | Getreide- und Winterraps-anbauflächen | Ordentliches Ergebnis zzgl. Personalaufwand (nachhaltig verfügbares Einkommen) | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|--|--------|----|---------|
| | | | Veränderung | | | absolut |
| | €/ha LF | ha LF/Betrieb | €/Betrieb | €/AK | % | €/AK |
| Sachsen insgesamt | | | | | | |
| Status Quo | 0 | 257 | 0 | 0 | 0 | 24.834 |
| Pessimistisches Szenario | -62 | 257 | -15.896 | -1.167 | -5 | 23.666 |
| Optimistisches Szenario | 113 | 257 | 29.025 | 2.131 | 9 | 26.965 |
| Wirtschaftsgebiet 1 Sächsische Heide- und Teichlandschaft | | | | | | |
| Status Quo | 0 | 329 | 0 | 0 | 0 | 25.659 |
| Pessimistisches Szenario | -69 | 329 | -22.746 | -1.703 | -7 | 23.956 |
| Optimistisches Szenario | 73 | 329 | 24.019 | 1.798 | 7 | 27.457 |
| Wirtschaftsgebiet 2 Sächsisches Lößgebiet | | | | | | |
| Status Quo | 0 | 273 | 0 | 0 | 0 | 27.358 |
| Pessimistisches Szenario | -77 | 273 | -21.009 | -1.705 | -6 | 25.652 |
| Optimistisches Szenario | 126 | 273 | 34.379 | 2.791 | 10 | 30.148 |
| Wirtschaftsgebiet 3 Sächsisches Mittelgebirge und Vorland | | | | | | |
| Status Quo | 0 | 158 | 0 | 0 | 0 | 21.045 |
| Pessimistisches Szenario | -35 | 158 | -5.535 | -474 | -2 | 20.570 |
| Optimistisches Szenario | 98 | 158 | 15.497 | 1.328 | 6 | 22.373 |

Quelle: Sächsische Buchführungsergebnisse; eigene Berechnungen Ref. 22

Die geringste Schwankungsbreite bei den berechneten Deckungsbeiträgen ist im sächsischen Mittelgebirge und Vorland festzustellen, was sich auch in den geringsten Änderungen beim Einkommen niederschlägt. Im Wirtschaftsgebiet 3 könnten die Einkommen zwischen - 2 % bzw. + 6 % schwanken.

Zusammenfassend kann prognostiziert werden, dass sich bei Eintreten der optimistischen Variante der Szenariosimulation das nachhaltig verfügbare Einkommen (Ordentliches Ergebnis zzgl. Personalaufwand) in Sachsen insgesamt um über 2.100 €/Arbeitskraft bzw. 29.000 €/Betrieb bzw. + 9 % erhöhen könnte. Dies würde einen guten wirtschaftlichen Vorteil für die Betriebe darstellen. Demgegenüber kann beim Eintreten des pessimistischen Szenarios mit einem Einkommensrückgang von knapp - 1.200 €/Arbeitskraft bzw. - 16 T€/Betrieb bzw. - 5 % gerechnet werden.

Die größte Schwankungsbreite hinsichtlich der ökonomischen Wirkung der einzelnen Szenarien kann für das sächsische Lössgebiet erwartet werden. Hier schlägt sich die größte ermittelte Differenz bei den Deckungsbeiträgen auch in der vergleichsweise größten Schwankungsbreite beim Einkommen nieder.

In diesem Gebiet würde bei optimistischen Prognosen die höchste Einkommenssteigerung (+ 10 % bzw. + 34 T€/Betrieb bzw. + 2.800 €/Arbeitskraft) stattfinden.

Bei Eintreten der pessimistischen Prognose wären die in der Sächsische Heide- und Teichlandschaft wirtschaftenden Betriebe mit einem Einkommensrückgang von - 7 % bzw. knapp - 23 T€/Betrieb am stärksten betroffen.

Die ökonomische Wirkung, gemessen am nachhaltig verfügbaren Einkommen, ist in der Region sächsisches Mittelgebirge und Vorland am geringsten.

Die große Schwankungsbreite, z. B. im Sächsischen Lössgebiet mit 55 T€/Betrieb zwischen pessimistischem und optimistischem Szenario zeigt, dass die zukünftige Einkommensent-

wicklung einer größeren Unsicherheit unterliegen wird als bisher. Dies stellt höhere Anforderungen an das betriebliche Risikomanagement.

Die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels bleiben nach den Szenarienberechnungen überschaubar. Unter Verwendung standortspezifischer Anpassungsstrategien (siehe Kapitel 5) sollte es auch zukünftig möglich sein, in ganz Sachsen Ackerbau zu betreiben.

Befürchtete extreme Ertragsrückgänge, insbesondere in der Standortregion Heide- und Teichgebiet, die aus wirtschaftlichen Gründen zur Herausnahme der Flächen aus der Produktion führen würden, wurden nicht prognostiziert.

Die Produktionsbedingungen in der Gebirgsstandortregion könnten in Folge veränderter klimatischer Vegetationsbedingungen wirtschaftlich eher lukrativer werden.

Der Korridor der hier prognostizierten zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung reicht von Einkommensrückgängen im pessimistischen Fall bis zu Einkommensverbesserungen bei optimistischen Unterstellungen, was auch eine Chance für die Betriebe darstellt.

Die Herausforderungen für die Landwirtschaft im Umgang mit den Witterungsextremen werden in den nächsten Jahrzehnten deutlich steigen. Die Unternehmen müssen sich auf stärkere Ertrags- und Preisschwankungen einstellen und mit einem professionellen Risikomanagement die wirtschaftlichen Nachteile abfedern.

4.7 Zusammenfassung

| Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft | |
|--|---|
| Grundlegende Aussagen | |
| Ertragsrisiken | Klimaprojektionen ermöglichen bislang keine zuverlässigen Aussagen zur Entwicklung der Extremereignisse. Im Zusammenhang mit den beobachteten Trends sind künftig zunehmende Ertrags- und Ausfallrisiken in der Landwirtschaft zu erwarten. |
| Pflanzenbau | |
| Erträge | Die mittleren langjährigen Ertragsauswirkungen des Klimawandels halten sich bis 2050 in Grenzen. Insbesondere bei Winterungen kann unter günstigen Annahmen auch künftig mit Ertragssteigerungen gerechnet werden, teilweise aber nicht mehr mit den bisherigen Wachstumsraten. Vor allem in Nord- und Ostachsen stärkere Ertragsschwankungen, Ertragseinbußen vor allem bei Sommerkulturen. |
| | Auf V-Standorten überwiegend positive Ertragsentwicklung |
| | Generelle Zunahme des Ernte- und Ertragsrisikos in allen sächsischen Regionen infolge zunehmender Extremereignisse wie Überschwemmungen, Hitze und Dürreperioden sowie Hagel, und Früh- und Spätfröste |
| Humusgehalte, Bodenfruchtbarkeit | Abnahme der Humusgehalte und damit Stickstofffreisetzung insbesondere auf den V-Standorten und in abgeschwächtem Maße auf D- und Lö-Standorten |
| Bodenwasserhaushalt | Zunahme der winterlichen Nitratauswaschung auf leichten und flachgründigen Standorten in Jahren mit erhöhten Winterniederschlägen sowie Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf Lössstandorten. Erhöhtes Risiko der verstärkten Stickstofffreisetzung auf Verwitterungsstandorten in Vorgebirgslage durch Humusabbau als Folge höherer Temperaturen |
| Wind- Wassererosion | Beeinträchtigung der Bodenfunktionen (z. B. Filter-, Puffer- und Speicherfunktion für Nährstoffe und Niederschlagswasser) durch Bodenverluste mit der Folge von Ertragseinbußen |
| | Verletzung, Entwurzelung und Vernichtung von Kulturpflanzen |
| | Verlagerung bzw. Verfrachtung von Saatgut, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln |
| Pflanzenschutz | Zunahme der Artenvielfalt von Schadpflanzen sowie Ausbreitung Wärme liebender neuer Unkrautarten |
| | Zunahme von Krankheiten mit hohen Temperaturansprüchen |
| | Abnehmende Tendenz bei Pilzkrankheiten, die auf lange Niederschlags- und Feuchtperioden angewiesen sind |
| | Verstärktes Auftreten von Viruskrankheiten |
| | Zunahme Wärme liebender Insekten Vitalere Überwinterung von Schädlingen und nachfolgend früherer und höherer Befallsdruck im Frühjahr |
| Gartenbau | |
| Obst- und Weinbau | Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums durch Verlängerung der Vegetationsperiode |
| | Ertragsausfälle durch Anstieg der Spätfrostgefahr |
| | Ertragsausfälle durch extreme Witterungsereignisse (Hagel, Starkregen, Sturm) |
| | Hitze- und Trockenschäden an Ernteprodukten |
| | Neue schwer bekämpfbare Schaderreger |
| Gemüsebau | Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums durch Verlängerung der Vegetationsperiode; Verlängerung der Anbauperiode |
| | Ertragsausfälle durch Hitze- und Trockenschäden an den Kulturen |
| | Ertragsausfälle durch extreme Witterungsereignisse (Hagel) |
| | Neue schwer bekämpfbare Schaderreger |

Fortsetzung 4.7 Zusammenfassung

| Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft | |
|--|---|
| Grünland und Feldfutterbau | |
| | Dauergrünland und Feldfutterbau werden hinsichtlich der Biomasseproduktion vom Temperatur- und CO ₂ -Anstieg positiv beeinflusst, solange die Wasserversorgung gewährleistet ist. |
| | Längere Trockenstressphasen beeinflussen die Bestandeszusammensetzung sowie Ertragssicherheit und Futterqualität negativ. |
| | Die Wachstumsbedingungen werden sich in den Vorgebirgs- und Höhenlagen verbessern, in den wechselfeuchten Lagen und auf leichteren Standorten dagegen sich eher ungünstiger gestalten. |
| | Auf Grund verminderter Photosynthese sowie vermehrter Atmung bei hohen Temperaturen können weniger Inhaltsstoffe gespeichert werden, d. h. die Futterqualität nimmt ab. |
| | Die Dauer der phänologischen Entwicklungsstadien, insbesondere der Zeitraum für die Massebildung der Futtergräser, kann sich bei Trockenstress verkürzen. Es wird insbesondere im Feldfutterbau schwieriger werden, den optimalen Erntezeitpunkt zu definieren. |
| | Die stabile Erzeugung von qualitativ hochwertigem Grundfutter wird bei zunehmenden Extremen ebenso schwieriger wie die Bestandesführung. |
| | Die Bedeutung der Leguminosen wird zunehmen. |
| Nutztiere | |
| | Ertragsschwankungen, wachsende aerobe Instabilität der Futtermittel, zunehmende Verunreinigung durch Staub |
| | Durch unberechenbare Nachfragedynamik im Futtermittelmarkt tierische Veredlung wirtschaftlich noch anfälliger |
| | Anreicherung von Futtermitteln mit unerwünschten bzw. antinutritiven Stoffen |
| | Bei Nutztieren zunehmend Hitzestress |
| | Neue Anforderungen an die Stall- und Tierhaltungsanlagen, welche die Tierhaltung verteuern |
| | Wasserversorgung und Abwasseraufbereitung gewinnt einen höheren Stellenwert |
| | Ausbreitung von erregerebedingten Tierkrankheiten wird durch eine Staubverlagerung verstärkt |
| Teichwirtschaft | |
| | Das Wachstum von Karpfen beschleunigt sich bei steigenden Temperaturen. |
| | Niedrigere Sommerniederschläge können zu einem Wassermangelproblem führen, da die Grundwasserhorizonte weniger nachliefern und die Verdunstungsrate steigt. |
| | Auf Fischkrankheiten wird sich der Klimawandel differenziert auswirken (zunächst fördernd, bei hohen Temperaturen hemmend). |
| | Wassersparende Produktionsverfahren (mehrjährige Umtriebsweide) begünstigen Parasitosen. |
| Flächenerträge | Steigende Flächenerträge in der Karpfenteichwirtschaft in wassersicheren Teichen |
| | Bei zunehmendem Wassermangel entstehen Flächenverluste - dadurch relativer Anstieg der Flächenerträge der wassersicheren Teiche notwendig. |
| Fischkrankheiten | Verstärktes Auftreten von Parasitosen durch ausbleibende Starkfröste im Winter |
| | Verschiebungen bei Krankheitsverläufen und beim Auftreten bestimmter Erkrankungen bei temperaturabhängigen Virosen und Bakteriosen |
| | Im Allgemeinen günstige Auswirkungen auf den Verlauf von Fischkrankheiten durch höhere Wassertemperaturen |

Fortsetzung 4.7 Zusammenfassung

| Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft | |
|--|--|
| Betriebswirtschaft | |
| Ertrags-/ Aufwandsverhältnis | <p>Bei stark vereinfachter modellmäßiger Betrachtung (keine Berücksichtigung der Auswirkungen von Extremereignissen, Pflanzenschutzproblemen, Ozon etc.) führen die projizierten Klimaänderungen kaum zu Verschiebungen in der ökonomischen Vorzüglichkeit der Marktfrüchte. Grundlegende Änderungen in der Anbaustruktur Sachsens wären aus wirtschaftlichen Gründen bis 2050 danach nicht zu erwarten.</p> <p>Die ökonomischen Auswirkungen in Sachsen sind geringer als erwartet; im pessimistischen Szenario sinkt der durchschnittliche Deckungsbeitrag auf 87 % des Status quo; im optimistischen Szenario Erhöhung um 23 %; Gewinner-Region: Gebirgsvorland/ Gebirge; Verlierer-Region: Heide-/Teichgebiet.</p> |
| Einkommen | Der Korridor der prognostizierten Einkommensentwicklung reicht von Einkommensrückgängen im pessimistischen Fall als Risikokomponente bis zu Einkommensverbesserungen bei optimistischen Unterstellungen, was auch eine Chance für die Betriebe darstellen könnte. |
| Märkte | Die Preisschwankungen auf den Absatz- und Beschaffungsmärkten werden angebots- und witterungsbedingt deutlich zunehmen. |
| Unternehmen | Zunehmende Witterungsextreme können die Ertragssicherheit gefährden und stellen neue Herausforderungen an das Risikomanagement, insbesondere die Liquiditätssicherung der Unternehmen. |

5 Anpassungsmöglichkeiten

5.1 Pflanzenbau

5.1.1 Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung

Die sächsische Landwirtschaft wird auch zukünftig auf die Getreidearten Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste und insbesondere Roggen im Anbauspektrum zurückgreifen können. Bei den Ölpflanzen wird der Winterraps weiterhin die wesentlichen Flächenanteile belegen, selbst wenn diese Pflanzenart etwas empfindlicher als die Getreidearten auf höhere Temperaturen und Wassermangel mit Ertragsschwankungen reagiert. Günstigere Reifebedingungen wirken sich auf den Maisanbau positiv aus, insbesondere bei Körnermais. Der Anpassungsbedarf in der Landwirtschaft insgesamt entsteht vorwiegend im Bereich der Bestandesführung, weniger in der Anpassung an grundlegend neue Anbauverfahren. Soja oder Sonnenblumen werden nur wenig an Bedeutung zulegen. Ursachen hierfür liegen im hohen Wasserbedarf, einer unsicheren Abreife und an der meist unzureichenden Wirtschaftlichkeit.

Die Nachfrage des Marktes wird wie bisher die Ausprägung der landwirtschaftlichen Erzeugung bestimmen. Dabei lässt sich absehen, dass zukünftig die Nachfrage nach Weizen und Raps noch weiter steigen wird. Daraus leitet sich ein Trend zu engeren Fruchtfolgen ab, wodurch sich aber der Krankheitsdruck erhöht. Die Anbauanteile von Weizen und insbesondere von Raps werden dadurch letztlich über die steigenden Kosten im Pflanzenschutz in Folge zunehmenden Schaderregerdrucks und steigenden Düngungskosten in ihrem Anbauumfang begrenzt.

Klimaansprüche der Fruchtarten

Die meisten wichtigen Fruchtarten weisen genügend Anpassungsspielraum an den Klimawandel auf, um grundsätzlich anbauwürdig zu bleiben. Lediglich Hafer und Kartoffeln, beide Arten reagieren schnell mit stärker abfallenden Ertragskurven bei hohen Tagestemperaturen im Sommer, werden im Anbau in Sachsen abnehmen bzw. nur noch in Verbindung mit Beregnung kultiviert. Roggen verfügt bei den klassischen Getreidearten über die größte Trockentoleranz, während Winterweizen auf Grund einer späten Massebildung deutlich höhere Ansprüche an die Wasserversorgung stellt.

Der regionale Anpassungsbedarf für Sachsen

Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland

Im Mittelgebirgsraum kann in Zukunft mit allgemein günstigeren Anbaubedingungen gerechnet werden. Winterweizen wird auf Grund der besseren Qualitätsentwicklung und früheren Abreife an Fläche dazu gewinnen. Der Silomaisanbau erreicht auch in größeren Höhenlagen Bedeutung. Insgesamt lassen sich die heutigen Anbauverhältnisse aus den Niederungen nach und nach in die Mittelgebirge übertragen. Verbunden mit einer weiterhin günstigen Kostenstruktur der landwirtschaftlichen Unternehmen in dieser Region ist zu erwarten, dass sich die ökonomischen Verhältnisse noch weiter verbessern werden.

Oberlausitz und Sächsische Schweiz

Für diese beiden Regionen gelten je nach Höhenlage und Bodensubstrat die Ausführungen über die Mittelgebirgslagen bzw. zum Lösshügelland. In der Oberlausitz wird sich zukünftig die klimatische Wasserbilanz negativ entwickeln. Wasseranspruchsvolle Fruchtarten wie Winterweizen, Kartoffeln und Zuckerrüben werden sich auf die besten Böden zurückziehen. Damit werden die ökonomisch einträglichsten Kulturen im Anbau eingeschränkt. Der Roggenanbau könnte sich dafür ausdehnen. Kartoffelanbau wird nur noch bei Beregnung wirtschaftlich sein.

Mittelsächsisches Lösshügelland

Die hohe Wasserspeicherkapazität der Lössböden puffert Trockenphasen relativ gut ab, so dass alle anspruchsvollen Kulturen anbauwürdig bleiben. Dazu zählen vor allem Winterweizen und Winterraps. Körnermais erreicht im sächsischen Lösshügelland grundsätzlich mehr Bedeutung, weil die Ausreife früher stattfindet und somit geringere Trocknungskosten die Wirtschaftlichkeit verbessern. Außerdem ergibt seine frühere Ernte mehr zeitliche Flexibilität für Wintergetreideaussaaten. Die zukünftigen Fruchtfolgen werden im Wesentlichen an der Marktentwicklung orientiert, so dass enge Abfolgen von Winterweizen und Raps zunehmen werden. Auch der Monoanbau von Winterweizen wird sich ausweiten. Im Ackerfutterbau wird sich die Rolle der Luzerne als trockenheitsverträgliche Futterpflanze festigen.

Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal

Roggen begrenzt das finanzielle Risiko bei Trockenheit wegen geringer Kosten bei Aussaat, Pflanzenschutz und Düngung. Seine Bedeutung nimmt hier auch wegen hoher Preise wieder zu. Längere Roggensebstfolgen sind als Anpassung auf den ärmsten Ackerbaustandorten zu erwarten. Wintergerste wird in dieser Region ihre Bedeutung beibehalten, weil sie die Herbst- und Winterniederschläge effizient verwertet. Anbauanteile von Sorghumhirsen zur Biomasseerzeugung werden zum Maisanbau in diesen Trockengebieten hinzutreten. Das relativ hohe finanzielle Risiko beim Rapsanbau führt bei unsicherer Witterung dagegen zu einem Rückgang des Anbauanteils. Die Wirtschaftlichkeit der Anbaufolgen wird durch zunehmende Ertragsschwankungen belastet.

Für das Elbtal selbst treffen, entsprechend der wechselnden Bodengüte, die Aussagen zum Lösshügelland oder zum Heidegebiet zu.

Kulturarten mit Verwertung als nachwachsende Rohstoffe

Die zur Zeit auch als nachwachsende Rohstoffe verwerteten Kulturarten wie Raps, Weizen, Roggen oder Mais werden ihre Bedeutung auch in Zukunft bei einer moderaten Klimaerwärmung behalten oder sogar noch ausbauen (Mais). Nutzgehölze wie z. B. Weide, Pappel sind eher an kühlere und ausgeglichene Klimate adaptiert, während Miscanthus, Sudangras oder Zuckerhirse das aktuelle Anbauspektrum hinsichtlich Trockentoleranz und Risikostreuung erweitern werden. Entwicklungsfähig sind dazu neue Anbausysteme wie der Zweitfruchtanbau (z. B. Sudangras oder Zuckerhirse nach Winterzwischenfrucht), der von den erwarteten längeren Vegetationsperioden profitiert.

Ökologischer Landbau

Für alle Leguminosenarten muss zukünftig mit stärker schwankenden Stickstofffixierungsleistungen gerechnet werden, was sich negativ auf die Leistung der gesamten Fruchtfolge auswirken kann. Mit dem Anbau von Lupinen und Luzerne gibt es nur geringe Ausweichmöglichkeiten auf Pflanzenarten mit erhöhter Trockenheitstoleranz.

Durch Anpassung des Fruchtartenspektrums ist eine Optimierung des Ertragspotenzials möglich.

Die Ertragsstabilität kann durch Anbau Wärme liebender Arten mit hoher Nutzungseffizienz verbessert werden.

5.1.2 Sortenstrategie, Aussaatmengen und -zeiten und Bestandesführung

Grundsätzliche Aspekte

Mit der Sortenstrategie bzw. der Sortenwahl kann ein wichtiger Beitrag geleistet werden, um aktuell auf veränderte Bedingungen standortabhängig reagieren zu können. Die Landessortenversuche werden für die wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen jährlich und überregional für Anbaugebiete mit vergleichbaren Boden- und Klimaverhältnissen durchgeführt und spiegeln somit aktuelle Bedingungen wider. Aussaatmengen und -zeiten werden gegenwärtig nach aktuellem Wissensstand standortabhängig ausgerichtet.

Der Klimawandel ist kein linearer Prozess, sondern er verläuft allmählich mit erheblichen Schwankungen bei gleichzeitiger Zunahme besonderer Wetterereignisse (z. B. Trockenperioden, Starkniederschläge). Diese Veränderungen erfordern grundsätzlich eine breitere Risikostreuung hinsichtlich (Kulturarten) Sorten und Sortentypen, um das totale bzw. teilweise Verlustrisiko zu vermindern.

Spezielle Aspekte zu wichtigen Kulturen

Wintergetreide

Verlängerte Vegetationsperioden mit lang anhaltenden spätsommerlichen oder herbstlichen Temperaturen können dazu führen, dass perspektivisch spätere Saatzeitpunkte erforderlich werden. Damit kann vermieden werden, dass die Bestände „überwachsen“ in den Winter gehen. Bisher sind spätere Saatzeitpunkte noch nicht sinnvoll. Spätsaatversuche bei Winterweizen, deren Aussaat mindestens 3 Wochen nach den normalen Landessortenversuchen erfolgt, zeigen mehrjährig Mindererträge von 10 bis 15 % im Vergleich zur Normalsaat.

Auf den trockenen Standorten sind möglicherweise zukünftig geringere Saatstärken erforderlich, damit gut entwickelte, stresstolerantere Pflanzen wachsen können. So könnten die vorhandenen Wasser- und Nährstoffkapazitäten durch eine begrenzte Pflanzenzahl besser genutzt werden.

Vorteile könnten mit fortschreitendem Klimawandel spezielle Sortentypen erlangen, die beispielsweise durch umfangreichere Wurzelsysteme gekennzeichnet sind und damit in Stresssituationen einen größeren Bodenraum hinsichtlich Nährstoffe und Wasser nutzen können. Problematisch könnten hierbei grundsätzlich die feuchteren Herbst- und Winterperioden werden, die die Pflanzen nur zu einer mäßigen Wurzelbildung veranlassen, was allerdings im trockenen Frühjahr und Frühsommer, in denen eine höhere Wurzeleistung erforderlich wird, so zu deutlichen Problemen führen kann. Frühreife Sorten könnten Vorteile haben, da die Kornreife früher eintritt und sie damit möglicherweise kürzerem Witterungsstress ausgesetzt sind – bisher zeigen frühreife Sorten leichte Ertragsnachteile im Vergleich zu normalreifenden Sorten.

Winterraps

Die Berücksichtigung aktueller Sortenempfehlungen der Länderdienststellen gewährleistet, dass unter den gegebenen Klimabedingungen die jeweils besten Sorten gewählt werden und der Zuchtfortschritt in der Praxis auch bei veränderten Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen genutzt wird. Darüber hinaus verdient das Risikomanagement bei der Sortenwahl und Aussaat besondere Beachtung, da Raps empfindlicher als Getreide auf kurzfristige Extreme bei der Witterung reagiert. Innerhalb der Betriebe sollten Rapsbestände etabliert werden, die sich hinsichtlich der Herbst- und Frühjahrsentwicklung sowie der Reife unterscheiden. Dies gelingt durch unterschiedliche Saattermine und der Wahl von Sorten mit differierender Schossneigung im Herbst und unterschiedlicher Reifezeit.

Höhere Temperaturen im Herbst ermöglichen Spätsaattermine bis zum 15.9. auf den Lö- und D-Standorten sowie bis zum 10.9. auf V-Standorten (außer Höhenlagen). Für diese Spät-

saaten kommen vorrangig spätsaatverträgliche Hybridsorten mit nicht zu geringer Aussaatstärke (mindestens 60 Körner/m²) in Frage. Frühe Saattermine vor dem 15.8. werden zukünftig an Bedeutung verlieren, da sich das Streckungswachstum im Herbst nur mit einem hohen Einsatz von Wachstumsregulatoren verhindern lässt. Eine zu üppige Herbstentwicklung sollte auch bei veränderten Klimabedingungen vermieden werden, da eine ausreichende Abhärtung seltener gegeben sein wird und die Pflanzen empfindlicher auf kurzzeitige Fröste reagieren werden.

Sommergetreide + Körnerleguminosen

Ein weiteres Voranschreiten des Klimawandels kann zu vorgezogenen Saatzeitpunkten für die Sommerkulturen führen. Durch die frühere Aussaat könnte so die Winterfeuchtigkeit besser genutzt werden. Die Bestände gehen stabil in das (möglicherweise trockene) Frühjahr und in den (trockenen) Frühsommer und sind früher druschreif.

Hinsichtlich Saatstärke und der Wahl spezieller Sortentypen können die gleichen Aussagen wie beim Wintergetreide getroffen werden.

Die Ausnutzung der Winterfeuchtigkeit in den Böden wird zukünftig noch stärker an Bedeutung gewinnen. Demzufolge sollten insbesondere Körnerleguminosen mit ihrem vergleichsweise hohen Keimwasserbedarf frühzeitig gesät werden. Voraussetzung ist aber auch weiterhin, dass eine Bestellung ohne Bodenverdichtungen möglich ist, da diese das Wurzelwachstum beeinträchtigen und somit die Wasserverfügbarkeit bei folgenden Trockenperioden zusätzlich einschränken.

Zukünftig wird auch für Sachsen der Anbau von Wintererbsen und Winterackerbohnen mit vertretbarem Risiko möglich sein. Es ist damit zu rechnen, dass sich bei der Winterform dieser Körnerleguminosenarten das Sortenspektrum erweitern wird.

Silo- und Körnermais

Mais besitzt als C4-Pflanze eine gute Anpassung an sehr warme und sonnige Klimabedingungen. Bei der Sortenwahl gehört die Reifezeit neben der Leistung der Sorte zu den wichtigsten Auswahlkriterien. Über die Sortenprüfung wird kontinuierlich die Anbaueignung von Sorten für die unterschiedlichen Standorte hinsichtlich Reifezeit, Leistungs- und Qualitätsparametern ermittelt. Damit werden Wirkungen von Klimaveränderungen erfasst und berücksichtigt, z. B. langfristige Verschiebung zu später reifenden, trockentoleranten Sorten. Auf D-Standorten können allerdings schon heute spät reifende Sorten ihr hohes Ertragspotenzial nur bei ausreichender Wasserversorgung ausschöpfen. Der Anbau mehrerer Sorten im Betrieb mit unterschiedlichem Wuchs- und Abreifeverhalten schafft gute Voraussetzungen für eine gestaffelte Ernte und verringert das Anbaurisiko.

Ist tendenziell mit wärmeren Frühjahrsmonaten zu rechnen, werden die Anforderungen von Mais an die Bodentemperatur zur Saat von mindestens 8°C früher erreicht. Bei günstigen Bedingungen nach der Saat und in der Jugendentwicklung kann eine frühere Saat durch den Gewinn an Vegetationszeit zu höheren Erträgen führen. Zu berücksichtigen ist, dass Mais eine Kurztagspflanze ist und bei früherer Saat eine sortendifferenzierte Verringerung der Wuchshöhe eintreten kann. Bleibt die Gefahr von Spätfrösten weiterhin bestehen, birgt ein Übergang zu früheren Saatterminen das Risiko von Kälteschäden während des Aufgangs bzw. der Jugendentwicklung mit der Folge von Ertragseinbußen.

Eine Differenzierung der Aussaatmengen nach Anbaugebieten, Nutzungsrichtung und Reifezeit bleibt weiterhin von Bedeutung. Für trockenere und wärmere Standorte, für Sorten mit höheren Reifezahlen sowie für Körnermais werden größere Standweiten empfohlen. Ob sich zukünftig eine Empfehlung zu noch größeren Standweiten, besonders in Trockengebieten, erforderlich macht, muss über Versuche geklärt werden.

Wirtschaftliche Bewertung

Eine grundsätzliche ökonomische Bewertung veränderter Sortenstrategien, Aussaatmengen und Saatzeitpunkte ist nicht möglich. Haupteinflussfaktoren auf das wirtschaftliche Ergebnis werden weiterhin das Ertragsniveau und die Produktqualität sowie die Kosten- und Erlösrelation sein. Geringere Saatstärken auf Grund trocknerer Bedingungen können die Saatgutkosten eventuell geringfügig senken. Mindererträge können allerdings viel stärker negativ auf das wirtschaftliche Ergebnis wirken.

Bestandesführung

Im Hinblick auf die Bestandesführung bei zunehmendem Trockenstress sind vergleichsweise dünne Bestände mit kräftigen Einzelpflanzen anzustreben. Das setzt relativ geringe Aussaatmengen, die gut verteilt und gleichmäßig tief abgelegt werden, voraus.

Auf Grund der verlängerten Vegetationszeit im Herbst sind künftig etwas spätere Aussaatzeiten zu realisieren. Das Überwachsen von Beständen ist auf jeden Fall zu vermeiden. Im Bedarfsfall sind Wachstumsregler zu applizieren, die die herbstliche Entwicklung bremsen. Sommerkulturen hingegen sollten so früh wie möglich ausgesät werden, um die Winterfeuchte der Böden maximal zu nutzen. Die Nährstoffversorgung sollte zweckmäßigerweise in Wurzelnähe durch entsprechende Applikationstechnik erfolgen.

Durch Nutzung des Züchtungsfortschritts, durch Anbau standortangepasster, trockenoleranter und Hitze verträglicher Sorten mit angepasstem Abreifeverhalten kann dem Klimawandel wirksam begegnet werden. Eine Anpassung an die Wasserkonkurrenz auf trockenen Standorten kann durch Reduzierung der Aussaatstärken erfolgen.

Eine Nutzung der verlängerten Vegetationszeit erfolgt durch Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten.

5.1.3 Bodenbearbeitung, Boden- und Erosionsschutz

Wichtige Maßnahmen sowohl gegen Bodenerosion durch Wasser (vorrangig im Mittelsächsischen Lössgebiet, Erzgebirgskamm und -vorland, Vogtland, Elsterbergland, Oberlausitz, Sächsische Schweiz) als auch gegen Bodenerosion durch Wind (vorrangig im Sächsischen Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) sind folgende kurz- und mittel- bzw. langfristig umsetzbare Maßnahmen:

Kurzfristige Maßnahmen:

- Konservierende Bodenbearbeitung möglichst ohne Saatbettbereitung (im Sinne einer möglichst hohen Bodenbedeckung durch Pflanzenreste. Zusätzlich auf wassererosionsgefährdeten Flächen: Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren).
- Minimierung der Zeitspannen ohne Bedeckung, u. a. durch Fruchtartenauswahl, Zwischenfruchtanbau, Untersaaten und Strohmulch. Die mit diesen acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen verbundene höhere Bodenbedeckung bewirkt eine geringere Oberflächenverschlammungsanfälligkeit, da Bodenaggregate vor Regentropfenaufschlag geschützt sind. Gleichzeitig vermindern bzw. verhindern Pflanzen bzw. Pflanzenreste die Bodenverlagerung durch Wind.

Mittel- und langfristige Maßnahmen:

- Fruchtfolgegestaltung (Nutzung natürlicher Vorteilswirkungen einzelner Fruchtarten (z. B. Bodenstrukturstabilisierung, lang anhaltende Bodenbedeckung durch Pflanzen), Reduzierung der Befahrungs- und Bearbeitungshäufigkeit).
- Wassererosionsminderung bzw. -verhinderung durch Vermeidung (durch Schutz des Bodengefüges) bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen.
- Aufbau und Erhalt stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biologischen Aktivität sowie durch Kalkung u. ä.: Wirksame Wassererosionsminderung/-verhinderung durch Erhöhung der Stabilität von Bodenaggregaten an der Bodenoberfläche. Dies bewirkt eine geringere Oberflächenverschlammungsanfälligkeit, da zur Zerstörung von Bodenaggregaten durch Regentropfenaufschlag eine höhere kinetische Energie des Niederschlages notwendig ist. Wirksame Winderosionsminderung/-verhinderung durch eine geringere Anfälligkeit von stabilen Bodenaggregaten vor der Zerstörung durch Aufprall und Strahlwirkung springend bewegter Teilchen der Bodenoberfläche.
- Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf (bewirkt höhere Bodenbedeckung, Stabilität von Bodenaggregaten und Oberflächenrauigkeit).
- Direktsaatverfahren.
- Wassererosionsmindernde Flurgestaltung (in Kombination mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat) durch:
 - Anlage paralleler Streifen quer zum Gefälle mit Wechsel der Fruchtart oder Einsaat abflussbremsender Grasstreifen (bewirkt Erhöhung der Bodenbedeckung und Oberflächenrauigkeit sowie Verkürzung der Hanglänge).
 - Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z. B. Gehölze und Feldraine, bewirkt Verkürzung der Hanglänge).
 - Begrünte Hangrinnen (grassed waterways).
- Winderosionsmindernde Flurgestaltung (in Kombination mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat) durch:
 - Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z. B. Gehölze und Feldraine, Flurelemente mindern Windoffenheit der Landschaft ab).
 - Eventuell Agroforstsysteme.

Die wirksamste landwirtschaftliche Schutzmaßnahme gegen Wasser- und Winderosion ist die Umstellung der Bodenbearbeitung auf dauerhaft konservierende, d. h. pfluglose Verfahren. Diese Bewirtschaftung steigert im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug die Wasserinfiltration, so dass auch bei extremen Niederschlagsereignissen der Oberflächenabfluss reduziert und in Folge davon der Bodenabtrag drastisch gemindert oder sogar verhindert werden kann. Eine nahezu vollständige Vermeidung der Bodenerosion kann durch das Direktsaatverfahren erreicht werden, bei dem auf jegliche Bodenbearbeitung verzichtet wird.

Auf Grund der steigenden Wasserinfiltration wird gleichzeitig der unproduktive Wasserverlust in Form von Oberflächenabfluss reduziert und die Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen verbessert. Bei großflächiger Anwendung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung ist darüber hinaus auch von einer positiven Wirkung auf den Wasserrückhalt in der Fläche und somit von einer Reduzierung von Hochwasserereignissen auszugehen.

Wegen der aktuell sehr hohen Wassererosionsgefährdung sächsischer Ackerflächen ist schon heute die möglichst flächenhafte Anwendung erosionsverhindernder Maßnahmen erforderlich. Unter Berücksichtigung der Klimaprojektionen steigt die Notwendigkeit der Anwendung von vorsorgenden Maßnahmen. Gleichzeitig ist die Optimierung der Schutzwirkung dieser Maßnahmen unerlässlich.

Die wichtigste und mit größter Akzeptanz bei den Landnutzern verbundene Maßnahme für den Ackerbau wird auch in Zukunft die konservierende Bodenbearbeitung sein. In den kommenden Jahren gilt es, z. B. durch die weitere Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität, die Wirkung dieses Bodenbearbeitungsverfahrens zu verbessern und dadurch auch bei zunehmend starken Extremereignissen eine ausreichend sichere Wirkung gegen Bodenerosion und Oberflächenabfluss zu gewährleisten. Wichtig sind die dauerhafte und umfassende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung sowie die verstärkte Einbindung der Direktsaat in das System der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung.

Die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung ist nicht nur der Austausch eines Bodenbearbeitungsgerätes. Es handelt sich um eine Systemumstellung, auf die entsprechend umfassend reagiert werden muss.

Die erfolgreiche Anwendung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat als zentrale Maßnahme des vorsorgenden Erosionsschutzes im Zusammenhang mit dem projizierten Klimawandel erfordert die umfassende und sachgerechte Anwendung des acker- und pflanzenbaulichen Fachwissens im Bereich Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung, Düngung, Sortenwahl, Pflanzenschutz u. v. m. Nur so kann die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung bzw. die Direktsaat ihre bodenschützende Wirkung entfalten.

Die Schaffung von Landschaftsstrukturelementen (z. B. Gebüsch- und Heckenstreifen) trägt besonders in offenen Agrarlandschaften zum kleinräumigen Erosions- und Verdunstungsschutz bei. In dieser Hinsicht können mit schnellwachsenden Baumarten begründete Windschutzstreifen (sog. Agroforstsysteme) von Vorteil sein. Für den Anbau der Feldstreifensysteme kommen v. a. leistungsstarke Pappel- und Weidensorten, aber auch andere schnellwachsende Baumarten je nach Standortbedingungen in Betracht. Bereits nach kurzer Wachstumszeit von 4 - 5 Jahren können sie zur Verbesserung des Windschutzes und Mikroklimas beitragen. Gleichfalls sind positive Ertragseffekte bei den angrenzenden Kulturen in Abhängigkeit von der Kulturart und dem Alter des Feldstreifens zu erwarten. Darüber hinaus ermöglichen sie durch eine Teilbeerntung (Brenn- und Industrieholz) einen wirtschaftlichen Nutzen unter Aufrechterhaltung der Windschutzfunktion.

Der Umfang und die Gestaltung von Feldstreifensystemen in Agrarlandschaften sind sehr variabel. In Gebieten mit hoher Niederschlagsarmut und Winderosionsgefährdung (Sächsisches Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal) sollten Feldstreifen eingeplant werden.

Verfahrensbewertung konservierende Bodenbearbeitung

Im Vergleich sind bei den konservierenden Bearbeitungsverfahren und insbesondere bei der Direktsaat deutliche Kostenvorteile in der Arbeitserledigung gegenüber dem Pflugeinsatz zu erzielen. Voraussetzungen hierfür sind acker- und pflanzenbauliche sowie technische Anpassungen bei gleichzeitig dauerhafter Anwendung der pfluglosen Verfahren. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Fruchtfolgegestaltung. Eine weite Fruchtfolge mit häufigem Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht sowie die Verfügbarkeit entsprechender Bodenbearbeitungs- und Mulch-/Direktsaattechnik sind die Grundlagen für eine erfolgreiche konservierende Bodenbearbeitung. Eine wirtschaftliche Bewertung dieser Verfahren an vier verschiedenen Standorten Deutschlands wurde unter Leitung der Fachhochschule Südwestfalen Soest von 2001 bis 2005 durchgeführt (LÜTKE ENTRUP et al. 2006).

Für Sachsen konnten für einen 400 ha Marktfruchtbaubetrieb folgende in Abb. 5.1.3/1 dargestellten kalkulativen Ansätze aus den Verfahren und KTBL-Daten in €/ha abgeleitet werden.

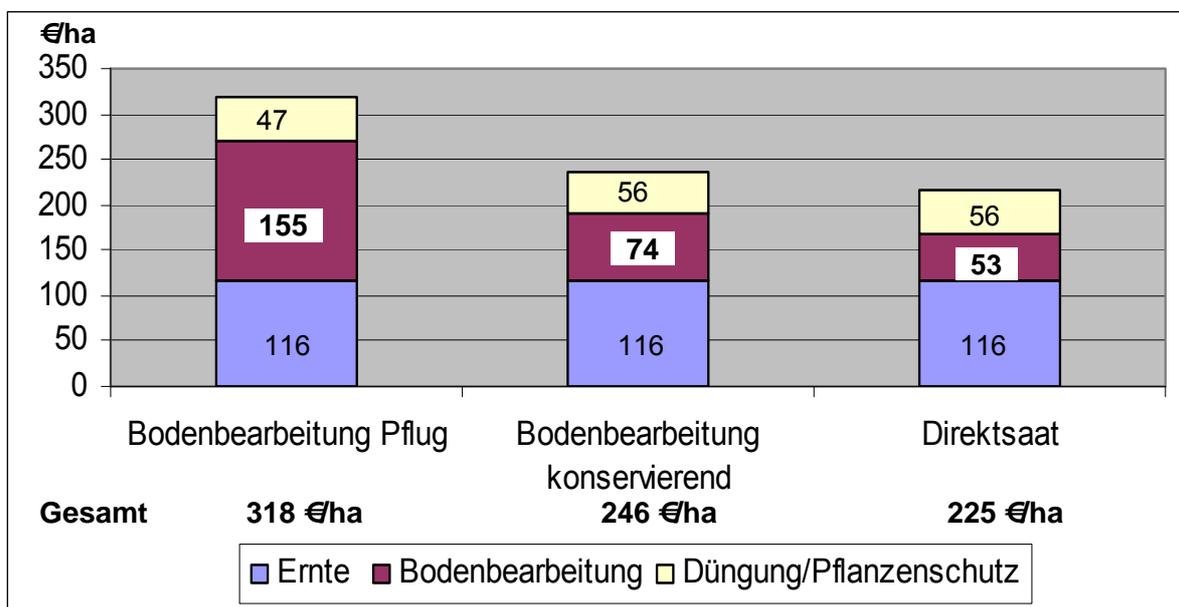


Abb. 5.1.3/1: Kostenvergleich der Verfahren Bodenbearbeitung mit Pflug, konservierend und Direktsaat

Weitere Maßnahmen im Rahmen stoffeintragsmindernder Bewirtschaftung

Kurzfristige Maßnahmen: (siehe auch Punkt 5.1.4)

- Maßnahmen zur bedarfsgerechten Ausbringung von Düngemitteln und zum Düngungsmanagement.

Diese sollen verhindern, dass Nährstoffe, vor allem Stickstoff und Phosphor, in tiefere Bodenschichten verlagert und ausgewaschen werden. Dazu zählen z. B. Maßnahmen zur Ermittlung der bedarfsgerechten N-Düngung (N_{\min} -Probenahme im Frühjahr), Ermittlung der Nährstoffgehalte organischer Dünger, optimierte Düngung mit organischen Düngemitteln, standortangepasste Ausbringungstechnik, teilschlagspezifisch Düngung etc.

Diese sind hinsichtlich ihrer Akzeptanz und Wirksamkeit generell als „gut“ zu bewerten, da sie bereits seit vielen Jahren in der Praxis eingeführt und ständig weiterentwickelt werden. Eine kostenseitige Ergänzung dieser Maßnahmen erfolgt derzeit im Rahmen der Erstellung von Maßnahmenprogrammen im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Langfristige Maßnahmen: (siehe auch Punkt 5.1.2)

- Kontinuierliche Auswahl standortangepasster Sorten.

Sortenwahl sowie Anbaustrategie sind standortabhängig auszurichten. Es sind Sortenempfehlungen für den jeweiligen Standort zu nutzen.

Eine Verringerung der Bodenerosion durch Wind und Wasser erfolgt durch dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat- und Direktsaatverfahren.

Eine Verbesserung der erosionsvermindernden Flurgestaltung wird durch Anlage von Schutzstreifen, Agroforst, begrünte Hangrinnen verbesserte Schlagunterteilung und quer zum Hang angepasste Schlagbearbeitung erreicht.

Die Vermeidung von infiltrationshemmender Bodenverdichtung kann durch Einsatz angepasster Landtechnik, verringerter Bodenbelastung und Förderung der biologischen Aktivität durch organische Düngung und Kalkung bewirkt werden.

Eine Verringerung der Oberflächenverschlammung und Verbesserung der Bodenstruktur kann erreicht werden durch Etablierung dauerhafter Nutzungssysteme und Verringerung der Zeitspanne ohne Bewuchs sowie durch gezielte Fruchtfolgegestaltung und Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten.

5.1.4 Pflanzenernährung, Düngung und Humusproduktion

Pflanzenernährung und Düngung

Zunehmende Wetterextreme und eine wachsende Klimavariabilität werden in Sachsen die Ertragsstabilität vermindern. Die Nährstoffentzüge und folglich der Düngebedarf werden größeren Schwankungen unterworfen sein. Daher sind künftig Düngesysteme zu entwickeln und anzuwenden, die flexibel auf die Witterungsbedingungen während der Wachstumsperiode reagieren. Für die Ertragsbildung der Fruchtarten ist die räumliche und chemische Nährstoffverfügbarkeit von ausschlaggebender Bedeutung. Sie wird vor allem von der aktuellen Bodenfeuchte und den Gehalten an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden beeinflusst. Seit 1990 hat sich in Sachsen auf Grund des drastischen Abbaus des Tierbestandes und der Einsparung bei der Grunddüngung infolge negativer Bilanzsalden die Nährstoffversorgung vor allem mit Phosphor und Kalium verschlechtert (Abb. 5.1.4/1). Die in vielen Betrieben vorherrschenden negativen Bilanzsalden gefährden die Nachhaltigkeit der Bodenfruchtbarkeit. Abnehmende verfügbare Bodengehalte reduzieren die Ertragssicherheit, insbesondere bei Trockenstress. Die wichtigsten Anpassungsmöglichkeiten bei der Pflanzenernährung und Düngung sind folgende:

Kurzfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Sicherung einer optimalen Grundnährstoffversorgung durch eine bedarfsgerechte Düngung unter Beachtung der Nährstoffabfuhr und der Ergebnisse der Bodenuntersuchung. Dabei ist die in Tab. 5.1.4/1 wiedergegebene Strategie konsequent umzusetzen. Im Rahmen der Fruchtfolge sind anspruchsvolle Kulturen wie Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Sommergerste und Raps bevorzugt zu düngen.
- Innerhalb großer heterogener Schläge haben sich im Laufe der Zeit bei einheitlicher Bewirtschaftung und Düngung teilweise erhebliche Unterschiede im Nährstoffstatus herausgebildet. Eine teilschlagspezifische Düngung verbessert hier den Ertrag, die Qualität und die Nährstoffeffizienz.
- Bei ausgetrockneter Krume, aber noch ausreichendem Wasservorrat in tieferen Bodenschichten, kann eine Blattdüngung vor allem mit Mikronährstoffen und Phosphor zur Stabilisierung der Ertragsbildung beitragen.
- Bei der Stickstoffdüngung, die die Ertragshöhe und die Qualität der Ernteprodukte am stärksten beeinflusst, ist neben dem verfügbaren N-Vorrat zu Vegetationsbeginn (N_{min}) die unterschiedliche Bestandesentwicklung der Winterungen und ihr Ernährungszustand zu berücksichtigen. Das zeitige Einsetzen des Wachstums im Frühjahr verlängert bei Wintergetreide die Bestockungsperiode und bei Raps die Phase der Blattbildung. Mit einer verhaltenen Andüngung gilt es, den Aufbau zu üppiger Bestände mit hohem Wasserverbrauch zu vermeiden.
- Auf einheitlichen Schlägen mit ausgeglichenen Beständen sind zur Bewertung des Ernährungszustandes des Getreides der Nitrat-Schnelltest oder der N-Tester anzuwenden. Dadurch ist ein Reagieren auf unterschiedliche N-Verwertungsbedingungen gegeben.
- Auf Grund der künftig häufiger auftretenden Vorsommertrockenheit ist es vor allem bei Winterweizen sinnvoll, die Spätdüngung zeitlich vorzulegen. Durch das Zusammenfassen der 2. und 3. N-Gabe unter Nutzung von stabilisierten N-Düngern kann die Wirkungssicherheit verbessert werden.

Mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Auf heterogenen Standorten ist die teilschlagspezifische Düngung unter Beachtung des Bodenwasserangebotes und Ertragspotenzials verstärkt zu nutzen.
- In der Injektionsdüngung werden ebenfalls Möglichkeiten gesehen, auch bei ausgetrockneter Bodenoberfläche eine gute N-Wirkung zu erzielen.
- Erhebliche Reserven bestehen beim Wirtschaftsdüngereinsatz. Der Anteil der Herbstausbringung mit ungünstiger N-Verwertung ist in Sachsen entschieden zu hoch. Durch Schaf-

fung ausreichender Lagerkapazitäten und Nutzung bodenschonender Applikationstechnik ist der Schwerpunkt des Wirtschaftsdüngereinsatzes in das Frühjahr zu verlagern. Wirtschaftsdünger eignen sich besonders zur Verbesserung schlecht mit P und K versorgter Flächen. Infolge des Humateffektes von Wirtschaftsdüngern wird die chemische Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden positiv beeinflusst. Bei zeitiger Applikation, vor allem von Gülle mit hohem NH_4 -Anteil und Gärresten, können Nitrifikationshemmer N-Auswaschungsverluste auf leichten und flachgründigen Standorten vermindern.

- Besonders bei pflugloser Bodenbearbeitung sind zukünftig verstärkt Verfahren der Injektions- und Unterfußdüngung anzuwenden, um im Wurzelbereich eine ausreichend hohe Nährstoffkonzentration zu erzeugen. Im Schaffen von Nährstoffdepots wird eine Möglichkeit gesehen, die Nährstoffverwertung zu erhöhen.
- Die Sensortechnik sollte ständig weiter entwickelt und optimiert werden.

Tab. 5.1.4/1: Strategie der Düngung mit Phosphor und Kalium in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse des Bodens

| Definition der Gehaltsklasse | Ertragswirkung der Düngung | Empfohlene Höhe der Düngung | Zielstellung |
|-----------------------------------|----------------------------|--|--|
| A sehr niedriger Gehalt | sehr hoch | deutlich erhöhte Düngung gegenüber der Nährstoffabfuhr | deutliche Erhöhung der verfügbaren Gehalte |
| B niedriger Gehalt | hoch | erhöhte Düngung gegenüber der Nährstoffabfuhr | Erhöhung der verfügbaren Gehalte |
| C anzustrebender Gehalt | gering | Düngung etwa in Höhe der Nährstoffabfuhr | Aufrechterhaltung der verfügbaren Gehalte |
| D hoher Gehalt | oft keine | deutlich verminderte Düngung gegenüber der Nährstoffabfuhr | langsame Abnahme der verfügbaren Gehalte |
| E sehr hoher Gehalt | keine | keine Düngung erforderlich | Abnahme der verfügbaren Gehalte |

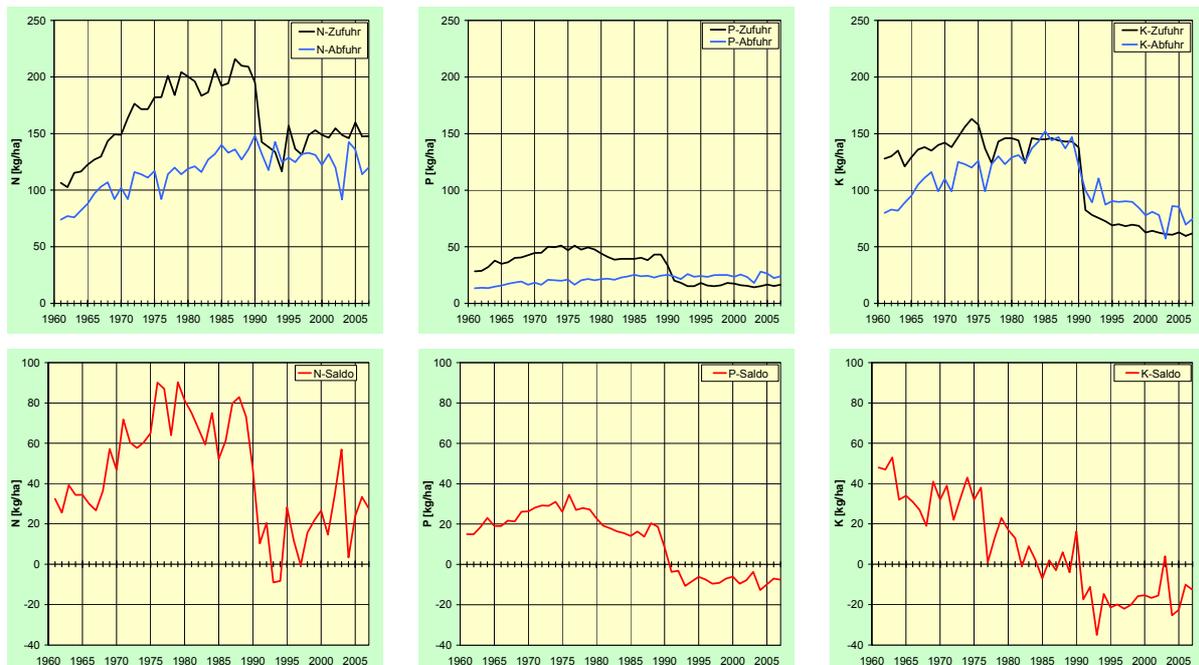


Abb. 5.1.4/1: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbedarf für Sachsen (entsprechend der Düngeverordnung)

Humusreproduktion

Aus den berechneten Ergebnissen einer Reihe von Bewirtschaftungs- und Flächennutzungsänderungen kann ein Handlungsrahmen abgeleitet werden, um den negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die C_{org} - und N_{f} -Gehalte des Bodens für einen Zeitrahmen von 30 - 50 Jahren zu begegnen. Hierbei ist zu bedenken, dass mit der Zeit die C-sequestrierende Wirkung immer geringer wird und nach dem ausgewiesenen Zeithorizont schließlich ganz ausbleibt, obwohl die spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen weitergeführt werden müssen. Bei (vorzeitiger) Beendigung der Maßnahmen kann es zu einer Nettofreisetzung an Kohlenstoff kommen, bis sich wiederum ein neues Gleichgewicht eingestellt hat. Daher sind alle Maßnahmen nur von sehr begrenzter Auswirkung und Dauer, um in der Zeitperiode einer stark ansteigenden CO_2 -Freisetzung eine gewisse zwischenzeitliche Entspannung zu bewirken.

Im Vergleich zur Ausgangssituation im Jahr 2000 = 0,0 % C_{org} (Fruchtfolgen, Düngung, etc.) können durch bestimmte Handlungsoptionen folgende Wirkungen auf die Humusgehalte und die Bodenfruchtbarkeit bis zum Jahr 2050 postuliert werden (Abb. 5.1.4/2):

- Ein über das Ausmaß des Klimawandels noch hinausgehender Abbau an Humus kann bei Durchführung bestimmter Energiefruchtfolgen mit verstärktem Maisanbau und Abfuhr aller Koppelprodukte, einseitiger Ausdehnung bestimmter Kulturen in den Fruchtfolgen (Getreide, Hackfrüchte) eintreten. Bei der Erzielung optimaler Energieerträge müssen daher Abfuhrgrenzen mit organischen Ernteprodukten eingehalten werden, damit keine Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und die Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen gewährleistet werden können.
- Keine oder kaum Veränderungen gegenüber der augenblicklichen Situation der Bewirtschaftung wird erwartet durch Ausdehnung der Tierhaltung (Rind) auf 2 GVE/ha oder durch Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung (Grubber, Direktsaat). Eine starke Ausdehnung nicht nur der Rinderhaltung hat wiederum den Nachteil, dass neben einer rel. geringen Nährstoff- und Energieeffizienz klimawirksame Spurengase ansteigen werden. Durch die reduzierte Bodenbearbeitung erfolgt eine deutliche Umschichtung der Humusgehalte im Tiefenprofil, eine Erhöhung des Erosionsschutzes, eine verbesserte Wasserperkolationsrate und eine Reduzierung des Energieaufwandes. Die Humusmenge kann aber nur dann leicht angehoben werden, wenn es gelingt, Ertragsausfälle zu verhindern.
- Ein leichter zusätzlicher Anstieg der Humusgehalte kann auf allen hier vorgestellten Varianten durch den zu erwartenden Ertragsanstieg (unter Berücksichtigung des genetischen und technischen Fortschritts und der CO_2 -Düngewirkung) von 25 % (D-), 50 % (Lö-) und 75 % (V-Standort) bei Beibehaltung der Ausgangssituation im Jahr 2000 erwartet werden. Hiernach wäre es allein durch den Ertragsanstieg möglich, potenziell bis zu 50 % des klimabedingten Humusabbaus zu kompensieren. Dies dürfte aber besonders auf den trockenheitsanfälligen Sandböden des D-Standes kaum zu realisieren sein, weil neben dem fehlenden Wasser auch eine höhere Nährstoffzufuhr (N) zur Ertragsrealisierung erforderlich wäre, die die bereits heute angespannte Situation zur Erreichung von Zielen des Wasserschutzes (Wasserrahmenrichtlinie) weiter verschärfen würde. Die durch den Klimawandel bewirkten höheren CO_2 -Gehalte erhöhen die Photosynthese- und Ertragsleistung und führen zu einer verbesserten Wasserausnutzung. Durch die stärkere Schließung der Stomata kann jedoch die Temperatur in den Pflanzenbeständen zusätzlich zur allgemeinen Temperaturerhöhung ansteigen, was zu einer erhöhten Respiration und damit zu einem weiteren Ertragsrückgang führen kann. Eine abschließende Bewertung dieser gegensätzlichen Trends ist z. Zt. nicht möglich.
- Eine leichte bis deutliche Anhebung der Humusgehalte, wodurch der klimabedingte Abfall teilweise bis weitgehend ausgeglichen wird, kann auch unter Beachtung des Ertragsanstiegs durch eine Umstellung auf Ökologischen Landbau (hierbei sind noch weitere günstige Wirkungen auf Umwelt und Ressourceneffizienz zu beachten), eine Ausdehnung der Schweinehaltung (auf Güllebasis) auf 2 GVE/ha, eine hohe organische Düngung mit Stalldung, Hühnerkot oder Kompost sowie durch Ausdehnung des Leguminosengrasan-

baus (Futterbau) auf 20 – 50 % der Fruchtfolgen veranschlagt werden. Beim Anbau von Leguminosen ist deren symbiotische N-Bindung zu bedenken, die ggf. zu einer Reduzierung der energieaufwändigen mineralischen N-Düngung beitragen kann. Die in Folge des Klimawandels in Gemengen zu beobachtende Förderung des Leguminosenanteils sowie die Verlängerung der Vegetationsperiode sind mit den ertragsreduzierenden Effekten von Wetterextremen abzuwägen.

- Eine deutlich über den zu erwartenden Abbau an Humus hinausgehende Kompensation besteht auf den D- und Lö-Standorten lediglich dann, wenn in großflächigem Rahmen eine Flächenumwidmung in Richtung Dauergrünland oder eine Aufforstung vorgenommen wird. Auf den V-Standorten des Vorgebirges dürfte eine vollständige Kompensation kaum erreicht werden können. Ein weitgehend über den klimabedingten Abbau des Humusgehaltes hinausgehendes C-Sequestrierungspotenzial kann durch die Landwirtschaft nicht erbracht werden.

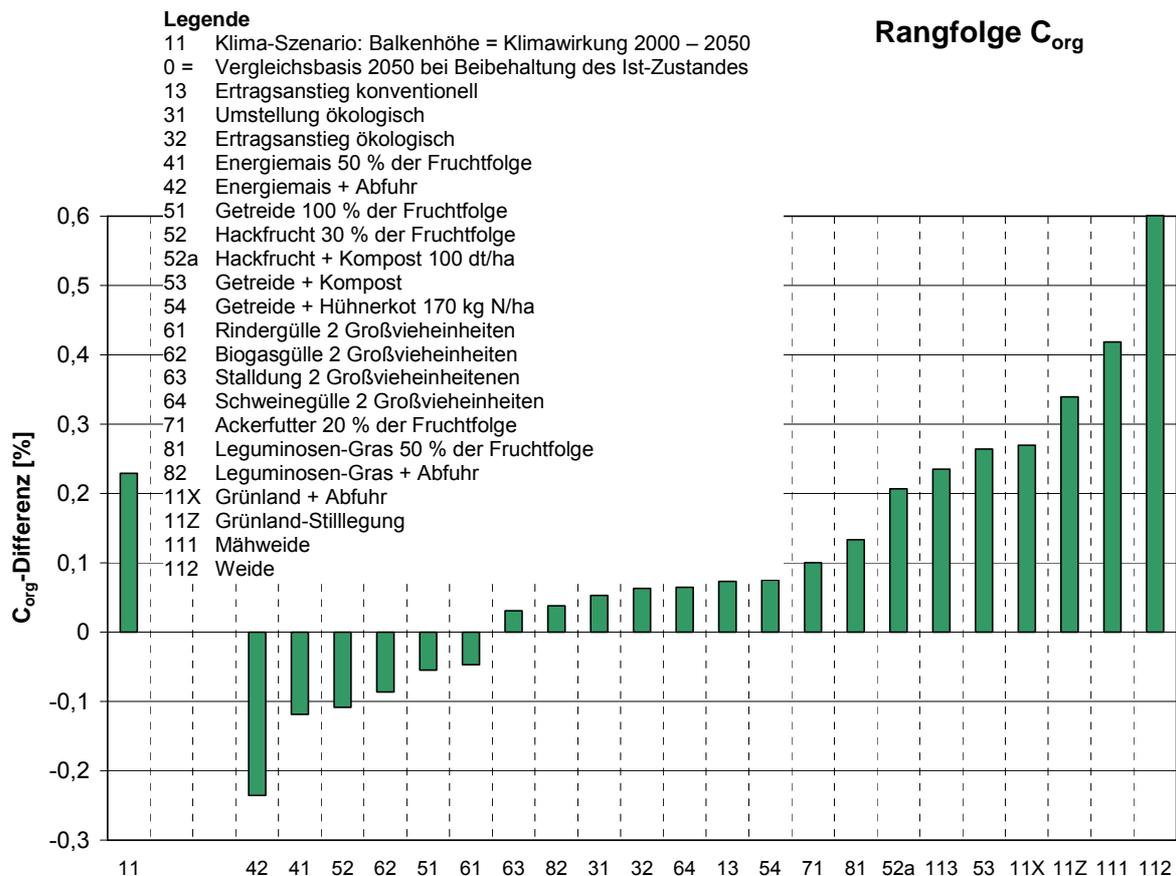


Abb. 5.1.4/2: Rangfolge der C-Sequestrierung durch spezielle Bewirtschaftungsmaßnahmen und Anbaumstellung im Vergleich zum klimabedingten C_{org}-Abbau bis zum Jahr 2050 auf Grundlage der Ausgangssituation im Jahr 2000 (Var. 11 = 0,0 % C_{org}) im Durchschnitt von Sachsen

Zur Anpassung der Düngung an den tatsächlichen Bedarf kann der Einsatz anerkannter, verbesserter Methoden zur Düngebedarfsermittlung zur Anwendung kommen.

Der Einsatz der teilschlagspezifischen Düngung kann auf heterogenen Flächen zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz genutzt werden.

Zur Stabilisierung der Ertragsbildung unter trockenen Bedingungen ist die Anwendung besonderer Applikationsverfahren (Injektions-, Flüssig-, Unterfußdüngung, stabilisierte oder organische Dünger) zu empfehlen.

Die Anwendung von Bilanzierungsverfahren kann zur Sicherung der Nährstoffversorgung und Humusreproduktion verwendet werden.

5.1.5 Pflanzenschutz

Schlussfolgernd aus dem insgesamt höheren Krankheits-, Unkraut- und Schädlingsdruck ergibt sich zunächst, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Zukunft intensiver wird. Dies steht nicht nur der Zielstellung in dem von der Bundesregierung langfristig angelegten Pflanzenschutzmittel-Reduktionsprogramm entgegen. Ein steigender Stoffeintrag in die Umwelt sollte im Sinne des Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutzes vermieden werden. Daher ist die gezielte Förderung und Begleitung von Verfahren des Integrierten Pflanzenschutz dringend notwendig. Mittelfristig sollte die angewandte Forschung und Begleitung praxisrelevanter alternativer, biologischer Pflanzenschutz-Verfahren wieder mehr gefördert werden.

Zu den wichtigen kurzfristigen im Bereich des Pflanzenschutzes gehörenden Anpassungsoptionen an den Klimawandel zählen die Veränderung des Pflanzenschutzmittelspektrums, der Anwendungszeitpunkte und Bekämpfungsverfahren. Die Applikationstechnik muss weiterentwickelt werden. Neuentwicklungen bei der Düsen- oder Beiztechnik können die Wirkung der Pflanzenschutzmittel auch unter den veränderten Klimabedingungen verbessern. Mit der Anwendung geeigneter Zusatzstoffe für Pflanzenschutzmittel ist eine Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit möglich. Die Auswahl und Kombination der Pflanzenschutzmittel ist noch mehr nach der Witterung auszurichten und insgesamt das Wirkstoffmanagement zu verbessern.

Insbesondere für die bei den Auswirkungen genannten regional stärker betroffenen Problemgebiete (Nord- und Ost-Sachsen) wird sich die Notwendigkeit der Anpassungsstrategien schneller ergeben als für die übrigen Gebiete.

Hinsichtlich der Aufnahme durch die Pflanzen, dem Umweltverhalten und dem Wirkungsspektrum müssen die Wirkstoffe und Formulierungen der Pflanzenschutzmittel den Veränderungen angepasst werden.

Bei den Bekämpfungsverfahren sollten den vorbeugenden pflanzenbaulichen Maßnahmen (z. B. geeignete Fruchtfolge) durch geeignete Rahmenbedingungen wieder mehr Chancen auf Praktikabilität und Durchsetzung eingeräumt werden.

Indirekt führen auch durch den Klimawandel initiierte landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen zu Veränderungen im Pflanzenschutz wie z. B. die pfluglose Bewirtschaftung, Saumbiotop, Randstreifen etc. Oftmals ist nach derzeitigen Erfahrungen damit ein Anstieg der Schaderregerprobleme verbunden. Ob die Anwendung dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung/Direktsaat mit einem höheren Pflanzenschutzmitteleinsatz als bei der Anwendung der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug verbunden ist, wird gegenwärtig noch kontrovers diskutiert und ist auch Thematik eines noch laufenden Forschungsprojektes. Meist reichen die derzeit zur Verfügung stehenden Maßnahmen zur Eindämmung der Erreger jetzt schon nicht aus und die Wirkungslücken werden größer, auch begleitet von z. B. einem restriktiveren Zulassungsverfahren. Diese im Rahmen der landwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen im Vordergrund stehenden Maßnahmen erfordern auch die Entwicklung neuer acker- und pflanzenbaulicher Anbau- und Managementstrategien, da dadurch neben den Bodeneigenschaften auch das Auftreten von Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen beeinflusst wird.

Für neue eingeschleppte (invasive) Unkraut-Arten bzw. neue Krankheiten und Schädlinge, die mit dem veränderten Klima besser zurechtkommen und sich ausbreiten, müssen Befalls-Verlust-Relationen erstellt werden, um ein potenzielles Schadmaß abschätzen zu können.

Die vorhandenen biologischen Kenntnisse zur möglichen Bekämpfung dieser Schadpflanzen bzw. Schadorganismen sind auch noch lückenhaft.

Wirtschaftliche Schadens- und Bekämpfungsschwellen sowie schnelle und sichere Diagnose- und Prognosemethoden müssen neu entwickelt bzw. bestehende angepasst werden.

Mit der Klärung des Einflusses von Witterungskriterien auf das Auftreten von Schadorganismen sind neue Fragen in der Epidemiologie und Populationsdynamik der etablierten Schaderreger zu lösen.

Wirkungslücken der vorhandenen Herbizide, Fungizide oder Insektizide sind durch permanente Freilandversuche zur Prüfung von Bekämpfungsmöglichkeiten zu schließen.

Voraussetzung dafür sind sowohl kurz- wie auch langfristig vorzuhaltende Versuchs- und Untersuchungskapazitäten auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes.

Daraus resultiert insgesamt mittel- und langfristig ein großer Entwicklungs- und Forschungsbedarf sowohl im Bereich der angewandten Forschung in der Landesbehörde als auch im Hochschulbereich und beim Bund (JKI). Dies sollte auch bei der zukünftigen Ausrichtung der agrarwissenschaftlichen Fakultäten an den Hochschulen und Universitäten wieder mehr Beachtung finden.

Die zur Aufgabenerfüllung im Pflanzenschutz bestehenden Beobachtungs- und Überwachungsmaßnahmen bzw. die laufenden Monitorings zur Befallserfassung von Krankheiten, wie derzeit in Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben, bieten eine gute Voraussetzung für die noch intensivere Nutzung bei der Erfassung von Veränderungen in der Struktur und dem Verhalten der Schadorganismenpopulation sowie der Artenvielfalt in der Unkrautflora. Das setzt eine vergleichbare Methodik bei den Erhebungen voraus und unterstreicht die Bedeutung einer gut organisierten effektiven Schaderregerüberwachung sowie von witterungsbasierten Schaderreger-Prognoseverfahren. Die länderübergreifende Zusammenarbeit auf diesem Gebiet ist weiter zu intensivieren. Nur so lassen sich auch exakte Aussagen über mögliche Auswirkungen der prognostizierten Klimaveränderungen ableiten. Die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes sind dementsprechend anzupassen und umzusetzen. Neben der Sicherung eines ausreichend repräsentativen Wetterdatennetzes für witterungsbasierte Schaderreger-Prognoseverfahren und das Versuchswesen ist die Förderung der natürlichen Gegenspieler für neu etablierte Schadorganismen sowie die Förderung des Nützlingseinsatzes und alternativer, biologischer Verfahren in den Aufgaben des Pflanzenschutzes abzusichern.

Fachinformationen über Veränderungen im Spektrum und Auftreten von Krankheiten, Schädlinge oder Schadpflanzen liefern die wesentlichen Grundlagen für die Bekämpfungsentscheidungen des Landwirtes. Somit wächst auch für die Landwirte die Bedeutung der Beratungs- und Informationsmöglichkeiten (einschließlich aktueller Internetinformationssysteme, z. B. ISIP) auf regionaler Ebene.

Insgesamt ist es dringend erforderlich, diese Anpassungsprozesse durch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zu begleiten und zu unterstützen z. B. in der angewandten Forschung und Beratung durch den amtlichen Pflanzenschutzdienst einschließlich der Berücksichtigung in geeigneten Förderprogrammen.

Kurzfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Veränderung des Pflanzenschutzmittelspektrums und/oder der Anwendungszeitpunkte, witterungsbezogene Ausrichtung des Wirkstoffmanagements.
- Anwendung von Zusatzstoffen für Pflanzenschutzmittel zur Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit.
- Weiterentwicklung der Applikationstechnik.
- Ausbau bisheriger Monitoringverfahren (Schaderregerüberwachung) für das Monitoring von neuen und potenziell gefährlichen Schadorganismen.
- Förderung des integrierten Pflanzenschutzes, einschließlich der vorbeugenden pflanzenbaulichen Maßnahmen (z. B. geeignete Fruchtfolgen) durch entsprechende Rahmenbedingungen.

Mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Sicherung einer ausreichenden Versuchs- und Untersuchungskapazität auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes.
- Anpassung bzw. Entwicklung von witterungsgestützten Prognosemodellen und Sicherung eines ausreichend repräsentativen agrarmeteorologischen Messnetzes als Voraussetzung für Prognoseverfahren.
- Angewandte Forschung zum Einfluss von Witterungskriterien auf das Auftreten von Schadorganismen.
- Entwicklung von Befalls- und Verlustrelationen für neue Unkrautarten bzw. neue Krankheiten und Schädlinge im Rahmen der angewandten Forschung und Kooperation mit den Hochschuleinrichtungen.
- Entwicklung von schnellen und sicheren Diagnose- und Prognosemethoden sowie wirtschaftlicher Schadens- und Bekämpfungsschwellen.

Entsprechend dem sich wandelnden Erregerpotenzial und veränderten Anwendungszeitpunkten sind der Einsatz und die Förderung von weiterentwickelten Methoden des integrierten und biologischen Pflanzenschutzes sowie von neu entwickelten speziellen Pflanzenschutz-Wirkstoffen zu empfehlen.

Hierzu zählt auch der Einsatz von verbesserten, witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen.

Die Anwendung von Zusatzstoffen zu PSM kann zur Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit und hohen Temperaturen beitragen.

5.1.6 Bewässerung

5.1.6.1 Künftige Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser für Bewässerungsmaßnahmen in der Landwirtschaft

Grundwasser

Das Grundwasserdargebot stellt definitionsgemäß die "Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt" dar. "Positive Bilanzglieder sind z. B. Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Zusickeung aus oberirdischen Gewässern". Ist nur ein Teil des Grundwasserdargebots unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen nutzbar, wird dieses als "nutzbares Dargebot" definiert.

Verbunden mit einem bis 1989 stark ansteigendem Wasserverbrauch wurden bis 1994 in Sachsen Grundwassererkundungen systematisch geplant und durchgeführt. Der Freistaat Sachsen verfügt daher über eine nahezu flächendeckende hydrogeologische Erkundung grundwasserhöffiger Gebiete. Der Kenntnisstand erlaubt somit ausreichende Aussagen im Rahmen von wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen und gestattet potenziellen Grundwassernutzern, Erkundungen im Sinne von § 43 SächsWG vorzunehmen.

Tab. 5.1.6.1/1 zeigt die Grundwasserdargebote, die bis 1994 erkundet wurden. Diese werden nach ihrer Herkunftsart untergliedert:

- sich erneuernde Dargebote (SEV): Grundwasserneubildung aus Niederschlägen.
- zusätzliche Dargebote (UF): Oberflächenwasserinfiltration aus Uferfiltratfassungen an fließenden und stehenden Gewässern.
- Grundwasseranreicherung(GWA): Künstliche Infiltration aus Oberflächenwasser.

Bis 1989 wurden die erkundeten Dargebote nach dem Erkundungsgrad unterschieden:

1. Suche, Übersichtgutachten, Grundwasserdargebotsprognosen,
2. Stellungnahmen, Studien, Gutachten,
3. Projekte,
4. Vorerkundungen,
5. Detailerkundungen,
6. Erschließungen.

Bei der Ermittlung der Dargebote wurde deren Gewinnbarkeit an definierten Standorten sowie die Möglichkeit des Grundwasserleiters als Überjahresspeicher zu fungieren berücksichtigt. Für die sichere Bereitstellbarkeit des Wassers auch in Trockenperioden wurde das Dargebot mit einem Abschlag von 20 % belegt.

Tab. 5.1.6.1/1: Erkundete Grundwasserdargebote (Stand 1994)

| Regierungsbezirk | Umweltfachbereich | Landkreis | Gesamtdargebot [T m ³ d] | SEV [T m ³ d] | UF [T m ³ d] | GWA [T m ³ d] |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Dresden | Radebeul | Dresden-Stadt | 334,54 | 46,14 | 147,40 | 141,00 |
| | | Dresden-Land | 21,64 | 21,64 | 0,00 | 0,00 |
| | | Weißeritzkreis | 11,31 | 11,31 | 0,00 | 0,00 |
| | | Meißen | 34,05 | 3,55 | 30,50 | 0,00 |
| | | Riesa-Großenhain | 112,27 | 57,47 | 54,80 | 0,00 |
| | | Sächs. Schweiz | 121,85 | 104,35 | 17,50 | 0,00 |

Fortsetzung Tab. 5.1.6.1/1

| Regierungsbezirk | RP, UFB | Landkreis | Gesamtdargebot [T m ³ d] | SEV [T m ³ d] | UF [T m ³ d] | GWA [T m ³ d] |
|------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Dresden | Bautzen | Bautzen | 116,19 | 73,19 | 28,53 | 13,90 |
| | | Görlitz-Stadt | 59,70 | 3,40 | 0,00 | 56,30 |
| | | Hoyerswerda | 11,70 | 11,70 | 0,00 | 0,00 |
| | | Kamenz | 21,41 | 18,76 | 2,65 | 0,00 |
| | | Niederschlesischer Oberlausitzkreis | 50,38 | 43,38 | 2,10 | 4,90 |
| | | Sächs.Oberlausitzkreis | 46,45 | 42,45 | 4,00 | 0,00 |
| Chemnitz | Chemnitz | Annaberg | 1,02 | 1,02 | 0,00 | 0,00 |
| | | Chemnitz-Stadt | 7,54 | 7,54 | 0,00 | 0,00 |
| | | Chemnitz-Land | 20,81 | 20,81 | 0,00 | 0,00 |
| | | Freiberg | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,00 |
| | | Mittweida | 3,19 | 3,19 | 0,00 | 0,00 |
| | | Hohenstein-Ernstthal | 8,04 | 8,04 | 0,00 | 0,00 |
| | | Mittl. Erzgebirgskreis | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Plauen | Stollberg | 4,88 | 4,88 | 0,00 | 0,00 |
| | | Westerzgebirgskreis | 9,75 | 9,75 | 0,00 | 0,00 |
| | | Auerbach | 6,89 | 6,89 | 0,00 | 0,00 |
| | | Klingenthal | 0,93 | 0,93 | 0,00 | 0,00 |
| | | Oelsnitz | 2,54 | 2,54 | 0,00 | 0,00 |
| | | Plauen-Stadt | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Plauen-Land | 5,29 | 5,29 | 0,00 | 0,00 |
| | | Reichenbach | 1,98 | 1,98 | 0,00 | 0,00 |
| | | Zwickau-Stadt | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Zwickau-Land | 28,98 | 28,98 | 0,00 | 0,00 |
| | | Leipzig | Leipzig | Delitzsch | 233,00 | Keine Unterteilung möglich |
| Döbeln | 160,16 | | | | | |
| Muldentalkreis | 180,74 | | | | | |
| Leipzig-Stadt | 5,70 | | | | | |
| Leipzig-Land | 323,52 | | | | | |
| Torgau-Oschatz | 265,52 | | | | | |

In Abb. 5.1.6.1/1 sind die Dargebote aufgezeigt, die nach Kenntnisstand des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfUG) derzeit nicht für die öffentliche Wasserversorgung genutzt werden. Um die sichere Gewinnbarkeit auch unter Berücksichtigung der kommenden klimatischen Veränderung zu gewährleisten, wurden diese Dargebote pauschal mit einem zusätzlichen Abschlag von 30 % belegt. In einigen Fällen ist die erkundete gewinnbare Wassermenge nicht in der Datenbank eingetragen. Insgesamt stehen demnach mindestens 650 T m³/d für Berechnungszwecke zur Verfügung. Es sollte beachtet werden, dass die erkundeten Grundwasserdargebote u. a. auch für Berechnungszwecke erkundet wurden und ggf. durch die Landwirtschaft bereits genutzt werden.

Da die Angaben zur Nutzung der ausgewiesenen Dargebote auf der Kenntnis der im LfUG vorliegenden Datenbanken beruhen, ist eine Einzelfallprüfung bei der Unteren Wasserbehörde unumgänglich. Die Antragstellung auf Nutzung der Dargebote erfolgt ebenfalls über die Unteren Wasserbehörden als Genehmigungsbehörden.

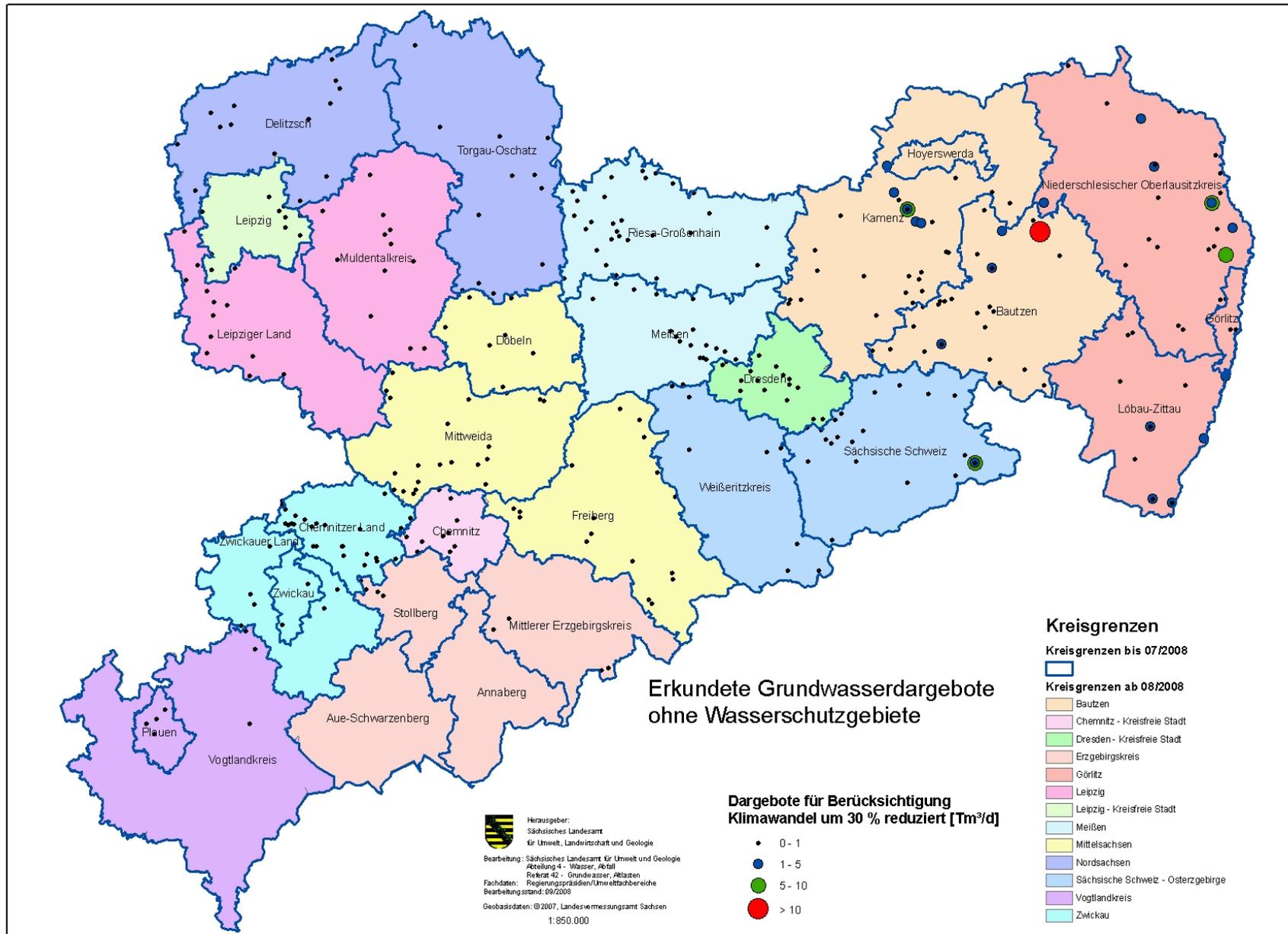


Abb. 5.1.6.1/1: Erkundete Grundwasserdargebote

Bereitstellung von Brauchwasser für Bewässerungszwecke aus Talsperren

Die Landestalsperrenverwaltung (LTV) verfügt in verschiedenen landeseigenen Talsperren und Wasserspeichern über Rohwasserreserven, die in dem in Tab. 5.1.6.1/2 dargestellten Umfang als Brauchwasser für Bewässerungszwecke bereitgestellt werden können. Die Bereitstellungswassermengen sind pro Stauanlage sowohl aktuell (Stand März 2008) als auch künftig (im Jahr 2050) angegeben. Abb. 5.1.6.1/2 enthält eine Übersichtskarte dieser Stauanlagen in Sachsen.

Tab. 5.1.6.1/2: Rohwasserreserven in Stauanlagen der LTV / Stand: März 2008

| Ifd. Nr. (vergl. Karte) | Stauanlage | Hauptnutzungen | Betrieb | Flussgebiet | vorhandene Reserve (IST März 2008) in Mio. m³/a | geschätzte Reserve (Jahr 2050) in Mio. m³/a |
|-------------------------|--|----------------|---------|---|---|---|
| 1 | TS Gottleuba | TW, HW | OE | Gottleuba/Elbe | 0,63 | 0,00 |
| 2 | TS Malter | BW, HW, TE | OE | Rote Weißeritz/Vereinigte Weißeritz/Elbe | 8,7 | 6,5 |
| 3 | TS Kauscha | BW, HW | OE | Geberbach/Elbe | 0,13 | 0,10 |
| 4 | TS Nauleis | BW, HW | OE | Hopfenbach/Große Röder/Schwarze Elster/Elbe | 1,3 | 1,0 |
| 5 | TS Wallroda | BW, HW | OE | Steinbach/Große Röder/Schwarze Elster/Elbe | 1,0 | 0,75 |
| 6 | Speichersystem Altenberg | TW, HW | OE | Quer- und Neugraben/Müglitz, Rote und Wilde Weißeritz/Elbe | 0,38 | 0,10 |
| 7 | Speicher Staucha | BW, HW | OE | Stauchaer Wasser/Jahna/Elbe | 0,13 | 0,10 |
| 8 | TS Lichtenberg | TW, HW | FM/Z | Gimmlitz/Freib. Mulde/Ver. Mulde/Elbe | 0,47 | 0,00 |
| 9 | TS-System Mittleres Erzgebirge (TS Saidenbach, TS Einsiedel, TS Neunzehnhain I und II) | TW, HW | FM/Z | Saidenbach und Lautenbach/Flöha/Zschopau/Freib. Mulde/Ver. Mulde/Elbe | 2,4 | 0,00 |
| 10 | TS Eibenstock | TW, HW | ZM/OWE | Zwickauer Mulde/Ver. Mulde/Elbe | 4,7 | 2,0 |
| 11 | TS Dröda | TW, HW | ZM/OWE | Feile- und Schafbach/Weiße Elster/Saale/Elbe | 4,1 | 2,0 |
| 12 | TS Amsel- und Klingerbach | BW | ZM/OWE | Amsel- und Klingerb./Zw. Mulde/Ver. Mulde/Elbe | 0,16 | 0,12 |
| 13 | TS Koberbach | BW, HW, TE | ZM/OWE | Koberbach/Pleiße/Weiße Elster/Saale/Elbe | 1,5 | 1,1 |
| 14 | TS Falkenstein | BW, HW | ZM/OWE | Göltzsch/Weiße Elster/Saale/Elbe | 1,6 | 1,2 |
| 15 | TS Wolfersgrün | BW, HW | ZM/OWE | Crinitzer Wasser/Rödelb./Zw. u. Ver. Mulde/Elbe | 2,9 | 2,2 |
| 16 | Sp. Crimmitschau | BW | ZM/OWE | Sahnbach/Pleiße/Weiße Elster/Saale/Elbe | 0,10 | 0,08 |
| 17 | TS Trossin | BW | E/M/UWE | Grenzbach/Elbe | 0,38 | 0,28 |
| 18 | TS Döllnitzsee | BW, HW | E/M/UWE | Döllnitz/Elbe | 2,2 | 1,7 |
| 19 | TS Schadebach II | BW, HW | E/M/UWE | Schadebach/Ver. Mulde/Elbe | 0,79 | 0,59 |
| 20 | Stausee Rötha | BW | E/M/UWE | Pleiße/Weiße Elster/Saale/Elbe | 0,79 | 0,00 |
| 21 | Großer Teich Torgau | BW, HW | E/M/UWE | Schwarzer Graben/Weinske/Elbe | 2,4 | 1,8 |
| 22 | TS Baderitz-Zschaitz | BW, HW | E/M/UWE | Jahna/Elbe | 0,47 | 0,35 |
| Summe: | | | | | 37,1 | 21,9 |

Abkürzungsverzeichnis:

TS = Talsperre

Sp. = Speicher

HRB = Hochwasserrückhaltebecken

TW = Rohwasser für Trinkwasser

OE = Oberes Elbtal

ZM/OWE = Zwickauer Mulde/Obere Weiße Elster

BW = Rohwasser für Brauchwasser

HW = Hochwasserschutz

E = Energie

TE = Tourismus und Erholung

FM/Z = Freiburger Mulde/Zschopau

E/M/UW = Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster

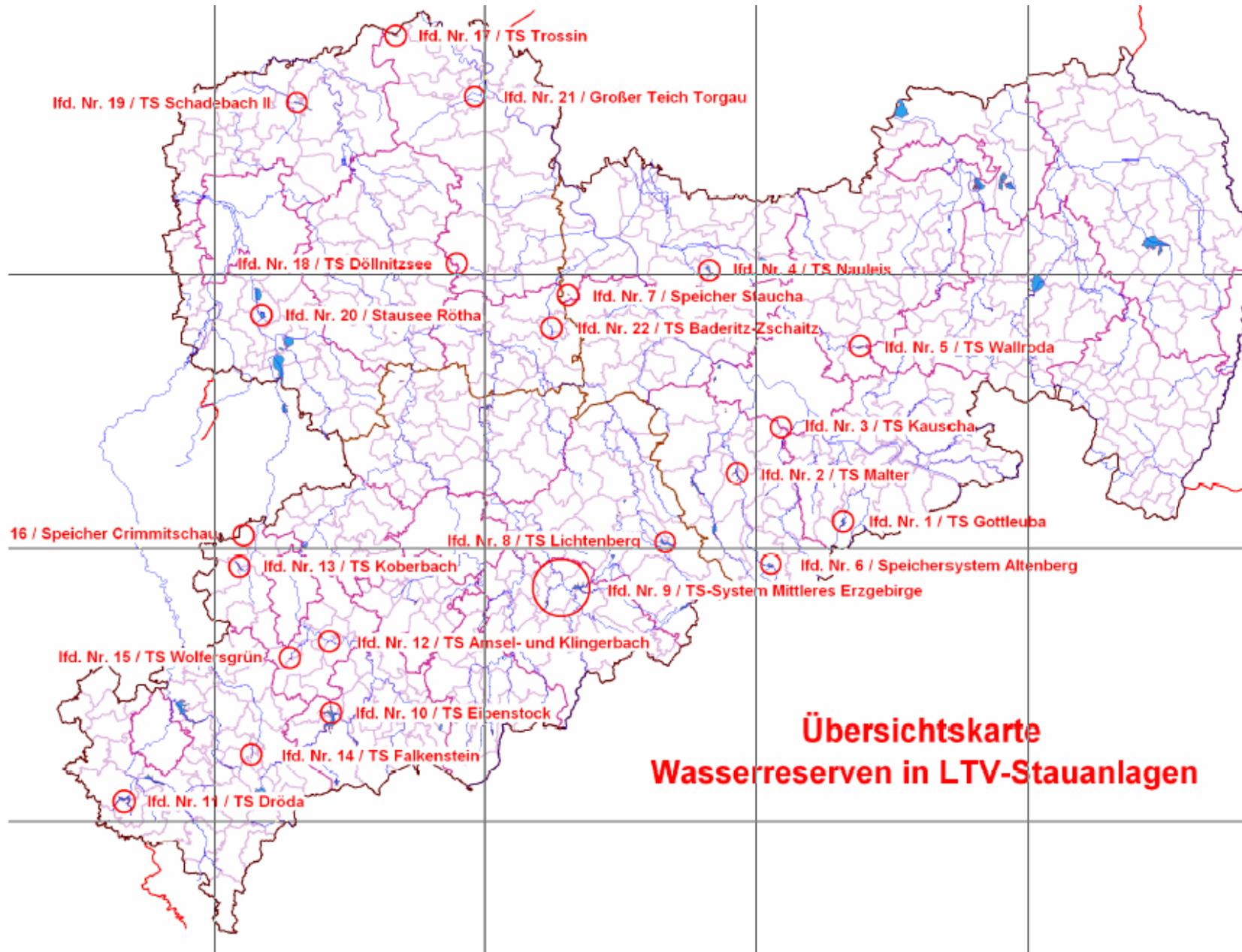


Abb. 5.1.6.1/2: Übersichtskarte von Stauanlagen in Sachsen

Methodik

Die derzeitige Leistungsfähigkeit der aufgelisteten Stauanlagen wurde über die Erstellung von historischen Beobachtungsreihen der TS-Zuflüsse, Generierung langjähriger Zuflussreihen und Speicherrechnung nach der Monte-Carlo-Methode (MCM) ermittelt.

Die Leistungsfähigkeit für den Zeithorizont um das Jahr 2050 wurde auf der Grundlage von Wasserhaushaltmodellierungen mit Hilfe der der Landestalsperrenverwaltung zur Verfügung stehenden Klimaprojektionen (WEREX-IV-Daten des Landesamtes für Umwelt und Geologie) und sich wieder anschließender Zuflussreihenerstellung, Reihengenerierungen und Auswertungen mittels Monte-Carlo-Methode berechnet bzw. abgeschätzt.

Alle bewirtschaftungsrelevanten Randbedingungen (wie beispielsweise Mindestabgaben an das Wildbett) wurden berücksichtigt.

Da schon jetzt gehäuft der Extremfall des partiellen Trockenfallens von Fließgewässer-Wasserkörpern in heißen Sommern eintritt, ist zu beachten, dass ökologische Mindestwasserabflüsse von Talsperren im Zuge des Klimawandels möglicherweise angehoben werden müssen und dass es Talsperren gibt, bei denen die ökologischen Mindestwasserabflüsse noch festzulegen sind.

Bewertung

In Stauanlagen der Landestalsperrenverwaltung steht im angegebenen Umfang Wasser für Bewässerungszwecke bereit. Konkrete Fragen zur Nutzung dieser Reserven (z. B. technische Realisierung, Finanzierung) wären bei Interesse seitens der Landwirtschaft in Abstimmung mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Abt. 4 mit der Landestalsperrenverwaltung zu klären.

5.1.6.2 Möglichkeiten der Erschließung von Beregnungswasser

Erhebung zu Kleinspeichern im Freistaat Sachsen

Im Zusammenhang mit der laufenden Bearbeitung des Stauanlagenverzeichnisses sowie im Rahmen eines Projektes der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft im Jahre 2005 wurden Daten zu Kleinspeichern und anderen wasserwirtschaftlichen Stauanlagen in Sachsen erhoben. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Anlagen, die nicht den Regelungen des § 84 SächsWG unterliegen, das heißt, Anlagen mit einer Höhe des Absperrbauwerkes von weniger als 5 Meter und/oder einem Stauraum von weniger als 100.000 m³.

Datengrundlagen und Methodik

Datengrundlagen sind überwiegend Angaben aus dem Talsperrenarchiv am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, dem Meliorationskataster, das in der ehemaligen DDR geführt wurde, sowie Informationen der ehemaligen staatlichen Umweltfachämter oder unteren Wasserbehörden. Die Unterlagen des Meliorationskatasters befinden sich zurzeit bei verschiedenen Behörden oder Firmen bzw. Privatpersonen und konnten nur unvollständig recherchiert werden bzw. ist ihr Verbleib teilweise nicht bekannt. Eine Prüfung der erfassten Daten vor Ort erfolgte bisher nur in Einzelfällen. Mehrere im Meliorationskataster erfasste Anlagen konnten auf Karten oder Luftbildern nicht nachgewiesen werden. Bautechnische, wasserwirtschaftliche und eigentums- bzw. wasserrechtliche Daten liegen nur für weniger als die Hälfte der erfassten Anlagen vor.

Es ist somit festzustellen, dass die Quellenlage sehr heterogen, die Erfassung der vorhandenen Anlagen nicht vollständig ist und die vorliegenden Daten zu den einzelnen Anlagen nur in Einzelfällen eine wasserwirtschaftliche Bewertung erlauben.

Ergebnisse und Bewertung

Zurzeit sind 232 Stauanlagen entsprechend den oben genannten Abmessungen erfasst. Enthalten sind dabei auch Hochwasserrückhaltebecken ohne Dauerstau. Die derzeitige Nutzung, sofern bekannt, verteilt sich wie folgt:

- Brauchwasserspeicherung 15 Anlagen,
- Hochwasserschutz 77 Anlagen,
- Fischerei 29 Anlagen,
- Erholung 15 Anlagen,
- Naturschutz 4 Anlagen,
- Trinkwasserversorgung 8 Anlagen,
- Nutzung unbekannt 84 Anlagen.

Die Datenrecherche ergab bei 117 Anlagen die Bezeichnung „Speicher“ oder „Kleinspeicher“ im Anlagennamen, was auf die ursprüngliche Nutzung zur Wasserentnahme hinweist.

Eine Bewertung des im Freistaat Sachsen vorhandenen Potenzials für die Brauchwasserbereitstellung in der Landwirtschaft aus Kleinspeichern ist mit dem lückenhaften Datenbestand des vorliegenden Verzeichnisses nicht möglich.

Für einen auswertbaren Datenbestand ist die Erhebung bzw. Prüfung folgender Angaben erforderlich:

- Lage der Stauanlage,
- Angaben zum Bauwerk (Stauraum, Betriebsraum, Hochwasserschutzraum),
- Hydrologische Angaben (Größe des Einzugsgebiets, nutzbares Wasserdargebot),
- Nutzung der Stauanlage (bei Errichtung und derzeit),
- Betriebseinrichtungen (Ausrüstung und Zustand),
- Eigentümer (ggf. Betreiber/Nutzer, Wasserrecht).

Der Anlagenbestand ist ergänzend zu erheben.

Die Nutzung der Kleinspeicher ist unter dem Aspekt der Anforderungen der WRRL an die Fließgewässer zu überprüfen.

| Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser für Beregnungszwecke | |
|---|--|
| Grundwasser | |
| | In Sachsen wurde die Erkundung von nutzbaren Grundwasserdargeboten durchgeführt. |
| | Für die Bereitstellung des Wassers auch unter den Bedingungen klimatischer Veränderungen wurde die Wassermenge um 30 % reduziert. |
| | Insgesamt steht ein Grundwasserdargebot von ca. 650 T m ³ /d für Beregnungszwecke zur Verfügung. |
| | Es muss geprüft werden, inwieweit die Dargebote für die Beregnung bereits genutzt werden. Die Beschaffenheit der Wasser ist ebenfalls auf Eignung zu prüfen. |
| Talsperren | |
| | Wegen des bereits jetzt auftretenden Trockenfallens von Fließgewässern kann es wegen der Einhaltung der EG-WRRL künftig zum Anheben der Stauziele bei Talsperren kommen; in einigen Talsperren müssen Stauziele erst noch festgelegt werden. |
| Kleinspeicher | |
| | Die Nutzung der Kleinspeicher ist unter dem Aspekt der Anforderungen der WRRL an die Fließgewässer zu überprüfen. |

Nutzung von Sumpfungswasser aus dem Braunkohlenbergbau

Zur Ergänzung der Dargebotssituation insbesondere in der Lausitz kann gemeinsam mit dem Bergbaubetreibenden die separate Hebung und Bereitstellung von quartären Wässern (oberstes Grundwasserstockwerk) aus der Vorfeldd entwässerung der betriebenen Tagebaue geprüft werden.

5.1.6.3 Fruchtartenspezifische Effekte der Bewässerung und deren Rentabilität

Ziele der Beregnung sind die Deckung des Wasserdefizits, die Sicherung bzw. Steigerung des Ernteertrages und das Erreichen einer guten Erntequalität. Im Vergleich zum deutschen Mittelwert ist in Sachsen der Anteil der Beregnungsfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche gering (< 2 %, ca. 15.000 ha). Ein zunehmendes Wasserdefizit und steigende Lufttemperaturen während der Vegetationszeit steigern die Evapotranspiration. Als Evapotranspiration wird die Summe aus Transpiration (Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen in den Blättern der Pflanzen) und Evaporation (Verdunstung von feuchten Vegetationsoberflächen und Blättern) bezeichnet. Monatliche Mittelwerte der Evapotranspiration ausgewählter Fruchtarten, in Abhängigkeit vom Vegetationsmonat, beschrieb FRICKE (2005), wie aus der folgenden Abb. 5.1.6.3/1 ersichtlich.

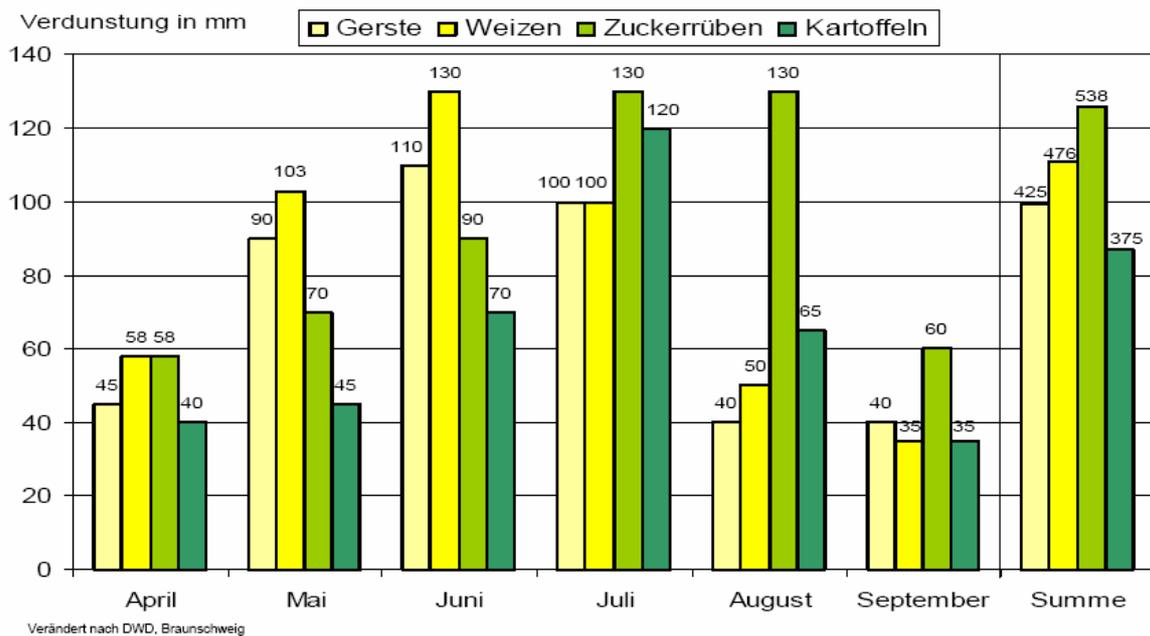


Abb. 5.1.6.3/1: Monatliche Mittelwerte der Evapotranspiration nach FRICKE (2005)

Fallen monatliche Niederschlagsmengen geringer an als erwartet oder bleiben diese aus, dann dient die Beregnung vorrangig der Gewährleistung des Saataufgangs, der Absicherung der Pflanzenentwicklung bis zur Ernte und der Qualitätssicherung des Erntegutes. Die laut Marktprognosen anzustrebenden Ertragssteigerungen können durch zusätzliche Wassergaben realisiert werden. Gegenwärtig betragen real erreichbare beregnungsbedingte Mehrerträge ≤ 20 dt/ha bei Winterweizen, Wintergerste, Sommerbraugerste und Winterroggen sowie bei Zuckerrüben und Kartoffeln ≤ 140 dt/ha. Die Effizienz des eingesetzten Beregnungswassers wird wesentlich von der Wahl des Beregnungszeitpunktes bestimmt und erfordert deshalb eine kontinuierliche Beobachtung der Bodenfeuchtegehalte.

Die Rentabilität der Beregnung/Bewässerung wird maßgeblich bestimmt durch

- die Höhe der Energiepreise (Strom, Diesel),
- die Wasser- und Wasserbereitstellungskosten (regional stark differenziert),
- die gewählte Beregnungstechnologie (Investitionskosten) sowie
- den am Markt erzielbaren Preisen für pflanzenbauliche Produkte.

Nachfolgende Tab. 5.1.6.3/1 gibt einen Überblick über die in der Literatur angegebenen Werte zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Beregnung in anderen Bundesländern.

Tab. 5.1.6.3/1: Angaben zur Wirtschaftlichkeit der Beregnung in der Literatur

| Quelle | Erscheinungs- jahr | Dauer der Untersuchung | Gesamtkosten feste + variable Kosten | Mehrertrag |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|--|-------------|
| LWK NS Fricke | 2006 | 10 Jahre | 27 C _t /m ³ 216 €/ha | 33,5 – 57 % |
| Ministerium Ländl. Raum BW | 2002 | | 60 C _t /m ³ 484 €/ha | |
| TLL | 2000 | 6 Jahre | 37-60 C _t /m ³ 300 – 484 €/ha | 29 – 38 % |
| Landesbetrieb LW Hessen | 2008 | 3 Jahre | | 18 – 50 % |

Mehrerträge über 38 % wurden ausschließlich von der Sommerbraugerste erreicht. Mit über 38 % an den Gesamtberegnungskosten hat die Energie (Strom oder Diesel für die Pumpen) den größten Anteil, gefolgt von den Kapitalkosten, die sich aus der Höhe der Investition ergeben. Momentan wird mit einem Preis von 2,50 - 3,50 € Beregnungsgesamtkosten pro mm Wasser kalkuliert. Positive Auswirkungen auf das Betriebsergebnis werden von einer nicht-arbeitskraftintensiven Beregnungstechnologie erwartet. THÖRMANN und SOURELL (2007) verglichen die Verfahrenskosten unterschiedlicher Beregnungsverfahren. Im Vergleich zu stationären Rohrberegnungsanlagen hatten mobile Beregnungsmaschinen sowie die Kreis- und Linearberegnungsmaschinen die geringeren Verfahrenskosten. Der niedrigste Kapitalbedarf war für mobile Beregnungsmaschinen erforderlich, geringe Lohnkosten verursachte die Kreisberegnungsmaschine. Als kostenintensivste Beregnungstechnologie erwies sich die stationäre Rohrberegnungsanlage.

Die Tab. 5.1.6.3/2 verdeutlicht die Wirtschaftlichkeit der Beregnung von Kartoffeln und Winterweizen in Abhängigkeit vom Marktpreis.

Tab. 5.1.6.3/2: Geschätzte Auswirkung der Beregnung auf das finanzielle Ergebnis von Kartoffeln und Winterweizen

| | | |
|---------------------------------------|------|--------|
| Kosten Beregnung | 3,00 | EUR/mm |
| Ertragsbedingte Mehrkosten Kartoffeln | 1,50 | EUR/dt |

| | ME | Kartoffeln | | | |
|-------------------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | unberechnet | berechnet | unberechnet | berechnet |
| Ertrag | dt/ha | 350 | 425 | 350 | 425 |
| Preis | EUR/dt | 7,30 | 7,30 | 11,50 | 11,50 |
| Erlös | EUR/ha | 2.555 | 3.103 | 4.025 | 4.888 |
| Erlösdifferenz | EUR/ha | | 548 | | 863 |
| Kosten Beregnung 50 mm | EUR/ha | | 150 | | 150 |
| Kosten Beregnung 100 mm | EUR/ha | | 300 | | 300 |
| Kosten Mehrertrag | EUR/ha | | 113 | | 113 |
| Ergebnis 50 mm | EUR/ha | | 285 | | 600 |
| Ergebnis 100 mm | EUR/ha | | 135 | | 450 |

| | | |
|---|------|--------|
| Kosten Beregnung | 3,00 | EUR/mm |
| Ertragsbedingte Mehrkosten Winterweizen | 4,25 | EUR/dt |

| | ME | Winterweizen | | | |
|-------------------------|--------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| | | unberechnet | berechnet | unberechnet | berechnet |
| Ertrag | dt/ha | 60 | 80 | 60 | 80 |
| Preis | EUR/dt | 18,50 | 18,50 | 20,00 | 20,00 |
| Erlös | EUR/ha | 1.110 | 1.480 | 1.200 | 1.600 |
| Erlösdifferenz | EUR/ha | | 370 | | 400 |
| Kosten Beregnung 50 mm | EUR/ha | | 150 | | 150 |
| Kosten Beregnung 100 mm | EUR/ha | | 300 | | 300 |
| Kosten Mehrertrag | EUR/ha | | 85 | | 85 |
| Ergebnis 50 mm | EUR/ha | | 135 | | 165 |
| Ergebnis 100 mm | EUR/ha | | -15 | | 15 |

| | | |
|------------------|------|--------|
| Kosten Beregnung | 1,08 | EUR/mm |
|------------------|------|--------|

| | | | |
|-----------------|--------|-----|-----|
| Ergebnis 50 mm | EUR/ha | 231 | 261 |
| Ergebnis 100 mm | EUR/ha | 177 | 207 |

Wie aus der Berechnung erkennbar ist, lohnt sich die Beregnung von Kartoffeln auch bei niedrigen Marktpreisen. Jedoch beeinflusst auch die Höhe der Beregnungsgabe den Mehrertrag gegenüber der unberechneten Variante. Zu hohe, aber auch zu niedrige Beregnungsgaben verschlechtern den Gewinnzuwachs. Hier ist das Management eines jeden Landwirts, der seinen Standort kennt, gefragt, um das finanzielle Ergebnis zu maximieren.

Unter der Annahme gegenwärtiger Preiskonstellationen greift die Kostenneutralität der beregnungsbedingten Mehraufwendungen bei einem Weizenpreis von 20 €/dt. Werden deutlich

mehr als 20 €/dt Weizen am Markt gezahlt, steigt der berechnungsbedingte Erlös stark an. Die zweite Berechnung bei Winterweizen zeigt den Mehrgewinn gegenüber einer unberechneten Variante, wenn nur variable Berechnungskosten anfallen. Dies ist dann der Fall, wenn die festen Kosten durch eine berechnungswürdigere Fruchtart wie beispielsweise die Kartoffel getragen werden. Das bedeutet, dass auch die gesamte Fruchtfolge in die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit und zur Größe der Berechnungsfläche einbezogen werden muss. In einem solchen Fall ist Getreide durchaus auch berechnungswürdig. Wirtschaftlich berechnen lassen sich die meisten Feldfrüchte, wenn bereits eine Berechnungsanlage vorhanden ist.

Die Beregnung hat auch Einfluss auf das Nährstoffverhalten im Boden. Besonders bei Böden mit hohem Sandanteil und Standorten mit wenig Niederschlägen können die Kulturpflanzen auf Grund des Wassermangels wenige oder keine Nährstoffe aufnehmen. Nährstoff-, also auch Nitratvorräte im Boden können von den in ihrer Ertragsbildung gehemmten Kulturpflanzen nicht ausgenutzt werden, weil das Wasser ein minimierender Faktor ist. Insofern verbessert eine Bodenwasserhaushaltsregelung durch Beregnung die Nährstoffausnutzung und sichert zusätzlich zur Düngung und weiteren Produktionstechnik Ertrag und Qualität der Ernteerzeugnisse.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass die Schwerpunkte für eine wirtschaftliche Beregnung

- bei speziellen Standorten (sandreich und niederschlagsarm) und
- bei bestimmten Kulturarten

gesehen werden. Bei den Kulturarten werden folgende Prioritäten gesetzt:

- Gemüsebau,
- Obstbau,
- Kartoffeln,
- Sonderkulturen,
- Ackerfrüchte in Fruchtfolgen der oben genannten Kulturarten.

Eine Wirtschaftlichkeit in diesen Kulturarten kann, wie am Beispiel der Kartoffel erläutert, unter derzeitigen Preisverhältnissen erreicht werden.

Zur Stabilisierung der Ertragsbildung besonders auf leichten Böden ist die Sicherstellung einer bedarfsorientierten zusätzlichen Bewässerung notwendig. Dabei ist der Einsatz von Wasser sparenden, auf Bodenfeuchte basierenden Bewässerungsverfahren mit hoher Wassernutzungseffizienz zu empfehlen.

5.1.7 Precision Farming

„Precision-Farming“ beinhaltet die Anwendung eines umfassenden methodischen und technischen Instrumentariums (u. a. GPS, Luftbildaufnahmen und -analysen, geophysikalische und optische Messverfahren, Steuerungs- und Regelungstechnologie sowie Informationstechnologie) im Pflanzenbau zur Unterstützung pflanzenbaulicher Verfahrensschritte mit folgenden Zielstellungen:

- Einsparung von Feldarbeitszeit, Senkung des Energie- und Betriebsmittelpotenzials (Kraftstoffe, Wasser, organische und mineralische Düngemittel, Halmstabilisatoren, Pflanzenschutzmittel, ...) bzw. Erhöhung der Effizienz des Potenzialeinsatzes.
- Nachhaltige Sicherung umweltentlastender Effekte.

Im Pflanzenbau kann nach dem gegenwärtigen Stand der Technik des „Precision-Farming“ jetzt schon variabel auf die Auswirkungen der Witterungsverläufe (unabhängig vom favorisierten Szenario der klimatischen Entwicklung) erfolgreich reagiert werden. Beispiele dafür sind:

- Teilschlagbezogene Berechnung mit verdunstungsarmer Wasserdosierung, in Abhängigkeit von der natürlichen Bodenqualität.
- Anwendung bodenwasserschonender Bodenbearbeitungsverfahren, in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften.
- Variable Applikation von Betriebsmitteln, unter Beachtung des differenzierten Entwicklungsstandes der betreffenden landwirtschaftlichen Kultur.

Es kommen folgende Prinzipien zur Anwendung:

- Online-Verfahren (sensorgestützt).
- Offline-Verfahren (auf Grundlage georeferenzierter Karten, im Sinne der Teilflächenbewirtschaftung).
- Kombination von offline- und online-Verfahren.

Bei Anwendung von „Precision-Farming“-Technologie werden folgende ökonomische und umweltpolitisch wichtige Effekte in Aussicht gestellt:

- **Arbeitskraft** Senkung der Feldarbeitszeit bei gleichzeitiger Erweiterung der Inanspruchnahme ingenieurtechnischer Leistungen, d. h. im Endeffekt Erhöhung der Arbeitskraft- oder Dienstleistungskosten,
- **Bodenbearbeitung / Saatbettbereitung / spurgebundene Feldarbeitsverfahren**
Senkung des Energieaufwandes $\leq 10 \%$,
- **Saat** Senkung des Saatgutaufwandes $\leq 10 \%$,
- **Herbizidapplikation** Senkung des Herbizideinsatzes $\leq 60 \%$,
- **Fungizidapplikation** Senkung des Fungizideinsatzes $\leq 30 \%$,
- **Düngung** Senkung des Düngemittelleinsatzes $\leq 25 \%$.

Die dargestellten möglichen Reduzierungen des Energie- und Betriebsmitteleinsatzes im Pflanzenbau durch Anwendung von „Precision-Farming“-Technologie sind ein unmittelbarer Beitrag zur nachhaltigen umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen, besonders unter folgenden Aspekten:

- Geringere Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode.
- Ressourcenverknappung bei den Rohstoffen (z. B.: Energie, Phosphor).
- Steigende Preise für Betriebsmittel.

Gegenwärtig und künftig sind die Kompatibilität der Technik, der Software und der Schnittstellen Grundpfeiler der Akzeptanz in der Landwirtschaft.

Unter der Annahme des Szenarios eines zunehmenden Wasserdefizits und steigender Lufttemperaturen während der Vegetationszeit werden wassereffiziente Pflanzenbestandsführungen an Bedeutung gewinnen. Informationen zur Entwicklung der Bodenwassergehalte bieten mobile und stationäre geophysikalische Messverfahren. Diese Informationen sind entscheidende Kennziffern für die bodenwassereffiziente Führung der Pflanzenbestände bis zur Ernte sowie Einsparung von Betriebsmitteln. Erste Anwendungen sind international im Praxiseinsatz und durchlaufen in Deutschland eine Phase der Anwendungsforschung bzw. Praxiseinführung.

Die Entwicklung der Energie-, Betriebsmittel- und Arbeitskraftkosten, die Verfügbarkeit von Oberflächen- und Grundwasser sowie die Erlöse aus den pflanzenbaulichen Produkten bestimmen die Investitionsbereitschaft in der „Precision-Farming“-Technologie und dadurch gebundenes Humanpotenzial. Gegenwärtig sind in der Mehrzahl der Fälle die Preise für Ausstattungen und/oder Dienstleistungen zum „Precision-Farming“ als hochpreisig einzustufen, so dass Kostenneutralität nur durch entsprechend höhere flächenbezogene Produktivität abgesichert wird. Es wird davon ausgegangen, dass Betriebsmitteleinsparungen in der Landwirtschaft seitens der Zulieferer durch höhere Preise für Betriebsmittel kompensiert werden. Selbiges wird auch von „Precision-Farming“-Dienstleistern erwartet. Die Aufrechterhaltung der investiven Förderung von „Precision-Farming“-Technologie sollte auch an Projekte der angewandten Forschung und an den Nachweis umweltpolitischer Notwendigkeiten (z. B. Nachweis der umweltrelevanten Vorzüglichkeit GPS-gestützter sowie verdunstungsarmer Beregnungsverfahren zur Schonung des Grundwasserkörpers) gekoppelt sein. Im sächsischen Pflanzenbau sind ca. 50 Sensoren auf GPS-Basis, mit einem verhalten geschätzten Flächenumfang von 150.000 ha, zur Applikation von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie Halmstabilisatoren im praktischen Einsatz. Hinsichtlich dieser Technik wird mit weiteren Anschaffungen seitens der Landwirtschaft und Dienstleister gerechnet. Mit dem Erneuerungsprozess von landwirtschaftlichen Zugmaschinen wird deren Ausstattung mit GPS-Systemen zunehmen, weil das fahrende Personal deutlich zugunsten der eigentlichen Feldarbeit entlastet wird und die Arbeitsgenauigkeit, bei gleichzeitiger Energieeinsparung, steigt.

„Precision-Farming“-Technologie im Landwirtschaftsbetrieb unterstützt den effizienten, wirtschaftlichen und umweltgerechten Betriebsmitteleinsatz im Pflanzenbau, erst recht unter der Annahme des Szenarios eines zunehmenden Wasserdefizits und steigender Lufttemperaturen während der Vegetationszeit.

5.2 Gartenbau

Die Anpassungsstrategien im Gartenbau werden sich entsprechend dem sich zunächst langsam fortschreitenden Klimawandel (bis 2030) auch schrittweise, über längere Zeiträume vollziehen müssen. In diesem Zusammenhang sind in erster Linie Fragen der Sorten- und Artenauswahl sowie die Anpassung der Anbauverfahren (Saat- und Pflanztermine, Pflanzdichten, Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, Pflegemaßnahmen) zu nennen. Da es sich hier um kontinuierliche Prozesse der Umstellung von Produktionsverfahren handelt, sind die sich ergebenden Mehrkosten nur sehr schwer zu kalkulieren.

Da insbesondere der Gartenbau (siehe 4.2) von den nur schwer zu prognostizierenden, aber bereits heute immer häufiger auftretenden Klimaextremen (Hitze, Dürre, Starkregen, Hagel) in hohem Maße betroffen ist, müssen gegen diese Ausprägungen des Klimawandels kurzfristig Maßnahmen eingeleitet werden, um die wirtschaftliche Existenz des Gartenbaus auf lange Sicht abzusichern. Dazu gehören vorrangig die Ausrüstung der Anbauflächen mit Bewässerungssystemen, Hagel- und Regenschutzanlagen sowie das Versichern der Kulturen gegen Elementarschäden.

5.2.1 Obst- und Weinbau

Vor allem im Obstbau steht als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel die Absicherung der Wasserversorgung der Anlagen mit an erster Stelle. Im Bereich Baum- und Strauchbeerenobst sind dabei Wasser sparende Tropfbewässerungssysteme vorzugsweise einzusetzen. Die Erdbeeren dagegen werden analog dem Freilandgemüse vorrangig mit Regenmaschinen bewässert und werden deshalb bei den ökonomischen Bewertungen im Gemüsebau (siehe 5.2.2) erörtert.

Nach Schätzungen wird die zu bewässernde Obstfläche (ohne Erdbeeren) im Freistaat Sachsen mit bis zu ca. 2.400 ha rund 60 % der Anbaufläche einnehmen. Da diese Flächen bewässerungstechnisch komplett zu erschließen sind, kommt auf die Betriebe in den nächsten Jahren erheblicher Investitionsbedarf zu. Zum heutigen Tag liegen die Kosten für 1 ha Tropfbewässerungsanlage im Obstbau bei 4.000 € pro ha. Hinzu kommen noch Erschließungskosten für Brunnen, Pumpen, Anschlüsse, Erdleitungen, Hydranten von rund 1.200 € pro ha (bezogen auf die Erschließung von 100 ha Beregnungsfläche) (FRICKE 2006), so dass die Gesamtkosten mit 5.200 €/ha zu beziffern sind. Die zu erwartenden Gesamtinvestitionen für die Bewässerung im Obstbau würden sich demzufolge auf bis zu 12,5 Mio. € belaufen. Wichtig ist ebenfalls die Berechnung des zukünftigen Bedarfs an Beregnungswasser in den sächsischen Obstanbaugebieten, da sich bereits heute erhebliche Defizite in der Verfügbarkeit von Beregnungswasser an einzelnen Standorten abzeichnen. Hinzuweisen ist auch auf die besonderen Qualitätsanforderungen an das Beregnungswasser (ALBRECHT und PFLEGER 2004), die die Verfügbarkeit an Wasser zusätzlich einschränken (trifft auch für den Gemüsebau zu). Da für die Anbaubedingungen des Freistaates Sachsen erst in diesem Jahr mit der wissenschaftlichen Bearbeitung des Themas „Bewässerung im Obstbau“ begonnen wurde, sind die nachfolgenden Angaben als Richtwerte zu verstehen. Während der Zusatzwasserbedarf im sächsischen Weinbau nur in sehr trockenen Jahren auf Grenzstandorten zum Tragen kommen wird, lässt sich für die sächsische Obstanbaufläche bei einem derzeit angenommenen täglichen Wasserbedarf pro Baum von 4 Liter und einer jährlichen Bewässerungsperiode von 150 Tagen ein Wasserbedarf von bis zu 5,0 Mio. m³ Wasser kalkulieren. Bei dem Wasserpreis von ca. 0,30 € pro m³ (inklusive Fest- und variable Kosten) würden auf den Obstbau Zusatzkosten für die Bewässerung in Höhe von bis zu 1,3 Mio. € pro Jahr zukommen.

Zur Abwendung von Schäden durch Hagel und Starkregen wird es notwendig sein, einen Teil der Apfelplantagen mit Hagelschutznetzen bzw. bei Süßkirschen 65 % der Anbaufläche mit Regenschutzüberdachungen, zum Schutz der empfindlichen Kirschen gegen das Platzen, auszurüsten. Die Süßkirschenfläche mit ca. 150 ha wird als relativ konstant angesehen. Die Investitionskosten betragen ca. 35.000 € pro Hektar und demzufolge für die zu überda-

chende Anbaufläche von 100 ha rund 3,5 Mio. €. Bei Kernobst ist der Schutz der Kulturen vor Hagel eine der vordringlichsten Aufgaben. Die Investitionskosten für eine Hagelnetzanlage belaufen sich auf ca. 18.000 €/ha. Da Hagelereignisse immer einen lokalen Charakter haben, werden nur besonders wertvolle Bestände gegen Hagel zu schützen sein. Nach heutigen Einschätzungen handelt es sich um 10 bis 20 % der momentanen Apfelanbauflächen im Freistaat. Für die Kalkulation wird von einer zu schützenden Fläche von rund 1.000 ha ausgegangen. Hier würden Investitionskosten von 18 Mio. € auf die sächsischen Obstbauer zukommen (Tab. 5.2.1/1).

Tab. 5.2.1/1: Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Obst- und Weinbau

| Anpassungsmaßnahme | Kosten |
|---|--|
| Investition Tröpfchenbewässerung (bis zu 2.400 ha; 4.000 €/ha) + Erschließungskosten (1.200 €/ha) + jährliche Beregnungskosten 5,0 Mio. m ³ ; 0,3 €/m ³ | bis zu 9,6 Mio. € bis zu 3,4 Mio. € bis zu 1,3 Mio. €/Jahr |
| Regenschutzüberdachung Süßkirschen (100 ha; 35.000 €/ha) | 3,5 Mio. € |
| Hagelschutznetze für Apfelanbaufläche (1.000 ha; 18.000 €/ha) | 18,0 Mio. € |
| Summe | Bis zu 34,0 Mio. € Investitionen + bis zu 1,3 Mio. €/Jahr Beregnung |

5.2.2 Gemüsebau

Im Gemüsebau, einschließlich Erdbeeren, steht analog zum Obst- und Weinbau in erster Linie die Absicherung der Kulturen mit Wasser an. Zukünftig wird auf der gesamten Anbaufläche Zusatzbewässerung erforderlich sein. Von der gegenwärtig rund 5.300 ha großen Anbaufläche ist nur ein Teil (ca. 2.100 ha) bereits mit Zusatzbewässerung ausgestattet, so dass in den Jahren bis 2020/2030 weitere rund 3.200 ha Fläche bewässerungsseitig zu erschließen sind. Da sich die Gemüsekulturen und Erdbeeren vorrangig in landwirtschaftliche Fruchtfolgen einordnen, ist bei einem angenommenen vierjährigen Fruchtwechsel eine Gesamtfläche von rund 13.000 ha für die Zusatzbewässerung nutzbar zu machen. Die Erschließungskosten belaufen sich für die Bewässerung der Kulturen mit Beregnungsmaschinen (übliches Verfahren im Gemüsebau) nach FRICKE (2006) auf rund 1.540 € pro ha. Die Gesamtinvestitionssumme würde demzufolge rund 20,0 Mio. € betragen. Bei der Installation von Wasser sparenden Bewässerungssystemen (z. B. Tropfbewässerung), was auf Teilflächen sicher möglich sein wird, würde sich diese Summe noch erhöhen. Aus den Erfahrungen des Trockensommers 2003 ist bekannt, dass die Wasservorräte in den Gemüseanbaugebieten, besonders im Hauptanbauggebiet Lommatzcher Pflege, sehr begrenzt sind. Soll hier zukünftig flächendeckend bewässert werden, so sind neue Wasserquellen zu erschließen und darüber hinaus neue Kleinspeicherbecken zu errichten. Die Hochrechnung für den zusätzlichen zukünftigen Wasserbedarf geht dabei von einer Beregnungsmenge von 100 mm auf einer Anbaufläche von 3.200 ha aus. Auf dieser Fläche würden dann zusätzlich rund 3,2 Mio. m³ Beregnungswasser für den Gemüse- und Erdbeeranbau benötigt werden. Bei durchschnittlichen Kosten von 0,30 € pro m³ (inklusive Fest- und variable Kosten) würden sich jährliche Extrabelastungen für die Zusatzbewässerung von 0,96 Mio. € für die sächsischen Betriebe ergeben. Der Gesamtwasserbedarf (gegenwärtiger + zusätzlicher Bedarf) für den sächsischen Gemüse- und Erdbeeranbau (5.300 ha) würde sich dann auf insgesamt 5,3 Mio. m³ Beregnungswasser mit einem Kostenvolumen von 1,6 Mio. €/Jahr belaufen.

Neben der Bewässerung stellt sich für eine Teilfläche mit besonders wertvollen Kulturen (geschätzt 500 ha) die Frage des Schutzes der Bestände durch Kulturschutznetze gegen schwer bekämpfbare Schädlinge oder gegen Hagel oder Starkregen. Bei Kosten von 0,55 €/m² für Schutznetze belaufen sich die Anschaffungskosten für die Gesamtfläche auf rund 2,8 Mio. €.

Im Gemüsebau wird es in der Zukunft unerlässlich sein, Schäden durch Hagel über Hagelversicherungen abzudecken. Bisher konnten die Betriebe im Wesentlichen noch auf diese zusätzliche Kostenposition verzichten. Bei einer durchschnittlichen Versicherungssumme von 120 € pro ha und einer angenommenen zu versichernden Gesamtfläche von rund 4.000 ha (75 % der Anbaufläche) würden die Kulturverfahren mit jährlichen Zusatzkosten von 480.000 € belastet werden.

Tab. 5.2.2/1: Investitionskosten für Anpassungsmaßnahmen im Gemüse- und Erdbeeranbau

| Anpassungsmaßnahme | Kosten |
|---|---|
| Investition Bewässerung (ca. 13.000 ha; 1.540 €/ha) + jährliche Berechnungskosten 5,3 Mio. m ³ ; 0,3 €/m ³ | 20,0 Mio. € 1,6 Mio. €/Jahr |
| Kulturschutznetze (Schädlinge, Hagel, Starkregen) (500 ha; 0,55 €/m ²) | 2,8 Mio. € |
| Summe | 22,8 Mio. € Investitionen + 1,6 Mio. €/Jahr Berechnung |

Zusammenfassend lässt sich für den Gartenbau feststellen, dass besonders die zu erwartenden Klimaextreme für die Branche enorme Kostenbelastungen zur Absicherung der Erzeugung bereits innerhalb des Zeitraums bis 2020/2030 verursachen werden. Schwerpunkte liegen in der Erschließung und Sicherstellung der Wasserversorgung der Bestände sowie in der Errichtung von Schutzeinrichtungen für besonders wertvolle Obstkulturen. Die dazu benötigten Mittel werden einen Umfang von bis zu 57,0 Mio. € erreichen. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der Verfahren in der Zukunft stark belastet. Der Bedarf an Wasser für die Zusatzbewässerung, dem Produktionsfaktor, der in der Zukunft bei Eintreffen der Klimaprognosen von existenzieller Bedeutung sein wird, wird sich im sächsischen Gartenbau, inklusive der derzeit schon bewässerten Flächen, auf bis zu 9,6 Mio. m³ pro Jahr belaufen.

Kurzfristige Anpassungsmaßnahmen:

| Maßnahmen | Umsetzungsinstrumente |
|--|---|
| Sorten- und Artenauswahl | Begleitforschung |
| Absicherung der Bewässerung | Förderung, Begleitforschung |
| Hagelschutzanlagen | Förderung, Begleitforschung |
| Regenschutzanlagen | Förderung, Begleitforschung |
| Kulturschutznetze | Förderung, Begleitforschung |
| Anpassung der Pflanzenschutzstrategien | Gesetzliche Rahmenbedingungen, Begleitforschung |

Mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen:

| Maßnahmen | Umsetzungsinstrumente |
|---|---|
| Sorten- und Artenauswahl | Begleitforschung |
| Überprüfung der Empfehlungen für Saat- und Pflanztermine, Pflanzdichten, Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflegemaßnahmen | Begleitforschung |
| Anpassung der Pflanzenschutzstrategien | Gesetzliche Rahmenbedingungen, Begleitforschung |

5.3 Grünland und Feldfutter

5.3.1 Grünland

Auf Grund unzureichender Wasserversorgung steigt je nach Region künftig mehr oder weniger stark die Gefahr, dass sich Kahlstellen und Lücken in der Grünlandnarbe bilden, die unerwünschten Gräsern und Kräutern Ausbreitungsraum bieten. Deshalb wird die Narbenerhaltung und -verbesserung durch gezielte Nachsaaten mit standortangepassten Arten und Sorten als kurz- und mittelfristige Anpassungsstrategie sehr wichtig werden.

Die notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Grünlandes sind bekannt, sie müssen aber eine deutlich größere Akzeptanz und Anwendung finden, wenn man den futterbaulich narbenverschlechternden und ertragsmindernden Auswirkungen des Klimawandels begegnen will. Vor allem die Nachsaat kann zu einer ständig notwendigen Pflegemaßnahme werden, wobei Schlitzsaatverfahren meist einen besseren Bodenkontakt als Übersaatverfahren ermöglichen und daher verbesserte Auflaufchancen erwarten lassen. Die Verwendung von qualitativ hochwertigem Saatgut sowie der Einsatz von trockenheitsverträglichen Grasarten wie Wiesenschweidel, Bastard-Weidelgras, Knaulgras und Rohrschwengel oder Leguminosen wie Luzerne oder Hornschotenklee können zu einer besseren Anpassung an Trockenphasen beitragen. Hochleistungsfähige, aber sehr anspruchsvolle Arten und Sorten sollten auf Standorte beschränkt bleiben, wo das Ertragspotenzial auch künftig ausgeschöpft werden kann.

Die Nutzungstiefe (6 – 8 cm) muss eine ausreichende Restblattfläche gewährleisten, damit die Gräser ohne Mobilisation von Reservestoffen unverzüglich nach einer Schnitt- oder Weidenutzung weiterwachsen und wieder austreiben können, d. h. es darf kein zu tiefer Schnitt bzw. keine Überbeweidung erfolgen.

Noch wichtiger wird mittelfristig die regelmäßige Ermittlung der Bodennährstoffversorgung im Grünland. Die Kenntnis der Versorgungsstufen und die ggf. notwendigen Düngungsmaßnahmen (Erreichen und Erhaltung der Versorgungsstufe „C“ oder zumindest oberen Hälfte „B“ bei den Nährstoffen Ca, K, P, und Mg) sind elementare Voraussetzung für einen optimalen Pflanzenbestand, welcher Stresssituationen wesentlich besser übersteht als eine mangelhaft ernährte Grasnarbe. Eine ausreichende Kaliumversorgung gewinnt unter dem Aspekt zunehmender Trockenphasen eine völlig neue Bedeutung. Düngungsstrategien mit Betonung der Frühjahrsdüngung und evtl. moderaten Gaben im Spätsommer oder Herbst, die sich auch positiv auf den ersten Aufwuchs im Folgejahr auswirken können, werden wahrscheinlich an Bedeutung gewinnen.

In der Weidewirtschaft können Futterdefizite in einzelnen Aufwüchsen nur durch Zufütterung oder dem Vorhalten von Ausweichflächen ausgeglichen werden.

Einer ausreichenden Vorratswirtschaft an Grundfutterkonservaten kommt im Futterbau generell wieder wachsende Bedeutung zu, da die Gefahr saisonaler Ertragsrückgänge zunimmt.

Kurz- und mittelfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Narbenerhaltung und -verbesserung,
- Optimale Nutzungstiefe,
- Notwendige Düngungsmaßnahmen,
- Zufütterung bzw. Vorhalten von Ausweichflächen,
- Vorratswirtschaft an Grundfutterkonservaten.

5.3.2 Feldfutter

Der Feldfutterbau arbeitet mit Pflanzenbeständen, die etwa 2 bis 3 Jahre genutzt werden und einer Rotation innerhalb einer Fruchtfolge unterliegen. Dies erlaubt im Gegensatz zum Grünland ein relativ schnelles Reagieren auf sich verändernde Wachstumsbedingungen.

Folgende kurzfristige Anpassungsmaßnahmen sind im Feldfutterbau möglich:

Die Nährstoffversorgung der Futterpflanzen muss durch entsprechende Düngungsmaßnahmen gewährleistet sein. Eine Unterversorgung, insbesondere mit Kalzium, aber auch den anderen Grundnährstoffen verschärft Stresssituationen, macht die Pflanzen anfälliger und beeinflusst die Bodenfruchtbarkeit negativ. Dies gilt vor allem für die Luzerne, die gut mit Kalk versorgte und tief durchwurzelbare Böden benötigt.

Futterpflanzenarten und -mischungen sind noch stärker als bisher auf die betrieblichen Standortbedingungen abzustimmen. Hoch ertragreiche, anspruchsvolle Arten sollten nur auf den besseren Standorten Verwendung finden. Auf Standorten mit wechselhafter Wasserversorgung und geringerem Ertragsvermögen bieten Leguminosengemenge eine höhere Ertragsicherheit.

Kurzfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Verbesserung der Nährstoffversorgung,
- Standortgerechte Arten- und Mischungswahl.

Als mittel- bis langfristige Anpassungsmaßnahmen werden empfohlen:

Dem Aufbau bzw. der Erhaltung einer guten Bodenstruktur muss angesichts des wachsenden Bodendruckes wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Verdichteter Boden verhindert die Durchwurzelung und damit auch die optimale Wasser- und Nährstoffausnutzung.

Das Verhältnis von Humuszehrern und Humusmehrern innerhalb der Fruchtfolge sollte ausgeglichen sein, dies spielt insbesondere bei hohen Anteilen von Mais, Raps und Getreide eine große Rolle. Mehrjährige Futterpflanzen bieten sich hierzu besonders an. Ist eine Futternutzung nicht möglich, sollten schnell wachsende Zwischenfrüchte als Gründüngung eingesetzt werden.

Der Erprobung neuer Futterpflanzenarten mit hoher Toleranz gegenüber Witterungsextremen als Mischungspartner in bisher bewährten Mischungen wird mittel- bis langfristig ebenfalls Bedeutung zukommen. Dabei werden kleinkörnige Leguminosen verstärkt in den Blickpunkt rücken.

Mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Verbesserung der Bodenstruktur,
- Erhaltung des Humusgehaltes,
- Anbau trockenheitsverträglicher Arten.

Dem Klimawandel kann begegnet werden durch Auswahl standortangepasster und trockenheitsverträglicher Pflanzenarten und Mischungen.

Eine weitere Anpassungsstrategie besteht durch Einsatz verbesserter Methoden der Nutzung (Narbenerhaltung, Nutzungstiefe) und Düngung sowie der Vorratswirtschaft durch Ausgleichsflächen und Grundfutterkonservaten.

Weiterhin ist eine Verbesserung der Fruchtfolgegestaltung im Feldfutterbau durch Anbau von Humusmehrern und -zehrern in einem ausgeglichen Verhältnis zu empfehlen.

5.4 Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere

5.4.1 Fütterungsstrategien

Regional verfügbare Nebenprodukte der Nahrungs-, Genuss- und Bioenergiemittelerzeugung werden zunehmend Futterlücken schließen, vom Futtermittelmarkt unabhängiger machen und Nährstoffkreisläufe schließen. Auf Grund logistischer und insbesondere futtermittelhygienischer Probleme werden diese Produkte, welche in der Regel wasserreich sind, verstärkt konserviert bzw. getrocknet werden. Sowohl im Interesse der Wirtschaftlichkeit als auch zum Ausgleich von Gesamtenergiebilanzen sind neue Trocknungsenergien zu erschließen.

Die Technik der Futterernte, -lagerung und -konservierung muss sich neuen Bewertungskriterien wie folgt anpassen:

- Entwicklung staubarmer Futtererntetechniken und zusätzliche Integration von Reinigungsschritten bei der Futtererzeugung.
- Auf Grund der zunehmenden Ertragsschwankungen steigt die Bedeutung der Vorratswirtschaft (z. B. mehrjährige Reservebildung, flexiblerer Futterzu- und -verkauf). Dazu sind sowohl investive Aufwendungen (z. B. Schaffung von Silo- und Lagerraum), als auch innovative Lösungen (z. B. UV-, temperatur- und schädlingsbeständige Silofolien) notwendig. Außerdem wird dem „Rundumschutz“ der genannten Futtermittel ein höherer Stellenwert zukommen (z. B. überdachte Silos).
- Bedingt durch zunehmend ungünstige Witterungsbedingungen bei der Ernte, Lagerung, Konservierung und Verfütterung muss verstärkt mit dem Einsatz von Silier- und Konserviermitteln gerechnet werden. Dies wird einerseits die Grob- und Saffuttermittel nicht unerheblich verteuern und andererseits neue Anforderungen an das betriebliche und staatliche „Controlling“ provozieren.
- Auf Grund steigender Trockenmassegehalte in Grobfuttermitteln muss einerseits die Bedeutung von Saffuttermitteln (z. B. Pressschnitzel, Birtreber, Pülpfen, Schlemphen) steigen und andererseits Wasser den Rationen zugesetzt werden.

Bedingt durch standortspezifisch unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels wird der zukünftige unternehmerische Erfolg auch darin bestehen, die verschiedenen Standbeine der landwirtschaftlichen Erzeugung auf mehrere Standorte zu verteilen.

Auf Grund der hohen Wandlungsrate von Futterenergie in Wärme muss in der tierischen Veredelung die Nährstoffverwertung durch züchterische Bearbeitung von Futterpflanze und Nutztier, Futteraufbereitung und durch Zusatzstoffe weiter gesteigert werden. Hohe Leistungen sind weiterhin notwendig, um eine hohe Nährstoffeffizienz durch niedrige Erhaltungsbearbeitungsaufwendungen zu ermöglichen.

Um einer Verschiebung des futtermittelhygienischen Milieus, welches durch wachsende Stressoren bzw. Schädlinge im Futterbau provoziert werden, zu minimieren, müssen sichere futtermittel- und verderbspezifische Restriktionen formuliert werden. Dies erfordert einen Erkenntniszuwachs zur Futterwirkung und zum carry over in tierische Nahrungsmittel.

5.4.2 Tierhaltungsstrategien

Witterungsbedingte Extreme (Temperatur, Niederschläge, Windbewegung, Globalstrahlung, UV, Ozon, Staub) werden an die Stall- und Tierhaltungsanlagen neue Anforderungen (z. B. Be- und Entlüftung, Klimatisierung, Wärme- und UV-Schutz, Staubschutz) stellen. Im Interesse des Tierschutzes sind bauliche Anpassungsmaßnahmen bei Tierproduktionsanlagen erforderlich. Durch Precision Farming und betriebliches Management kann die Tierhaltung kurz- bis mittelfristig den sich ändernden klimatischen Bedingungen Rechnung tragen.

Der wissenschaftlichen Begleitung und Erprobung bei der Einführung neuer Stallbaukonzepte und Ausrüstungselemente wird zunehmend Bedeutung beigemessen. Hier sind neue Kriterien zu formulieren, welche mögliche Klimafolgen für die Nutztiere beinhalten. Es sind zwei

Richtungen neuer Stallbaukonzepte denkbar. Einerseits ist der geschlossene, klimatisierte und mit hohem Automatisierungsgrad betriebene Kompaktstall und andererseits, auch auf Grund der erwarteten Klimaerwärmung, sind auch einfachste Lösungen mit Wärme abweisenden Schleppdächern möglich. Außerdem können Variobaulösungen prägend werden, um den unterschiedlichen Richtungen der möglichen Klimaveränderung wahlweise begegnen zu können. Auf Grund der erwarteten unterschiedlichen Ausprägung der Klimafolgen an verschiedenen Standorten, müssen auch die Haltungsanforderungen standortspezifische Aspekte berücksichtigen.

Die Wiederaufbereitung und Bevorratung von Tränk-, Brauch- und Beregnungswasser wird an Stellenwert gewinnen. Innovative Lösungen sind genauso gefragt wie investive Anreize.

Im Hinblick auf erregerbedingte Tierkrankheiten wird in Abhängigkeit von der veränderten Klimasituation eine erregergruppenspezifische Betrachtung notwendig werden. Diesbezüglich wirken Faktoren, die eine Ausbreitung von bisher bei uns unbekanntem Erkrankungen begünstigen (beispielsweise die Blauzungenkrankheit bei Wiederkäuern). Hier sind langfristige und aufwändige epidemiologische Vorsorgemaßnahmen erforderlich. Andererseits wirken Faktoren, die auch zu einer Erregerverdünnung führen können (Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit).

5.4.3 Tierzuchtstrategien

Bei einheimischen Nutztierpopulationen bedeuten höhere Temperaturen und größere Witterungsausschläge einen erheblichen Stress, der zu physiologischen Belastungen, nachlassenden Leistungen und größeren Leistungsschwankungen führt. Hieraus leiten sich für die Tierzucht die folgenden Handlungsfelder zur Anpassung an die veränderten Bedingungen ab:

- Erarbeitung von Zuchtstrategien, Prüf- und Selektionsprogrammen zur Ausrichtung der einheimischen Nutztierpopulationen an sich ändernde klimatische Bedingungen.
- Wissenschaftlicher Vorlauf zu den Auswirkungen einer Selektion auf Hitzetoleranz auf die physiologischen, genetischen und phänotypischen Eigenschaften einheimischer Nutztierpopulationen.
- Sicherung der Leistungsprüfung in der Tierzucht, auch durch Bereitstellung öffentlicher Mittel, und Weiterentwicklung der Prüfsysteme in Hinblick auf Hitzetoleranz und Verwertungseffizienz suboptimaler Futtergrundlagen.
- Erarbeitung und Umsetzung von Strategien zum Erhalt und zur nachhaltigen Nutzung tiergenetischer Ressourcen - Sicherung und Ausbau entsprechender Fördermaßnahmen (z. B. durch Erweiterung des GAK-Fördergrundsatzes „Tiergenetische Ressourcen“).

Kurz-, mittel- und langfristige Anpassungsmaßnahmen:

- Neue Stallbaukonzepte und Ausrüstungselemente zum Witterungsschutz der Nutztiere sind erforderlich. Weiterhin sind neue Wege und Technologien der Futtergewinnung und Vorratswirtschaft für Futtermittel zu erschließen.
- Die Nährstoffverwertung muss durch Zucht, Haltungskomfort, Futteraufbereitung und neue Zusatzstoffe weiter gesteigert werden. Eine züchterische Beeinflussung einer höheren Grobfutterverwertung ist sinnvoll und notwendig.
- Zum Erhalt des futtermittelhygienischen Standards müssen strenge futtermittel- und verderbspezifische Restriktionen formuliert und eingehalten werden.
- Konzipierung langfristiger epidemiologischer Vorsorgemaßnahmen für erregerbedingte Erkrankungen, die sich bis in unsere Regionen ausbreiten.
- Für die Wiederaufbereitung und Bevorratung von Tränk-, Brauch- und Beregnungswasser sind innovative Lösungen und investive Anreize notwendig.

- Durch neue Zuchtstrategien und Leistungsprüfungen muss die Nutztierpopulation schrittweise an veränderte Klimabedingungen bei der Tierhaltung angepasst werden. Dafür ist u. a. der Erhalt tiergenetischer Ressourcen unabdingbar.

Eine Anpassungsstrategie an den Klimawandel besteht durch:

- Einsatz angepasster Technik zur Futterernte, -konservierung und -lagerung
- Einsatz von Futtermitteln und -mischungen sowie Nutztierassen, die eine hohe Nährstoffverwertung ermöglichen
- Züchterische Maßnahmen zur Verbesserung der Hitzetoleranz
- Einsatz angepasster Stallbaukonzepte, Haltungs- und Hygieneformen, die eine optimale und tierschutzgerechte Nutztierhaltung gewährleisten

5.5 Teichwirtschaft

Die Karpfenteichwirtschaft ist der wichtigste Produktionszweig der sächsischen Binnenfischerei. Die Erzeugung von Karpfen in Teichen hat in den letzten Jahrhunderten in Sachsen in vielen Regionen zur Herausbildung einer landestypischen Kulturlandschaft geführt. Diese Kulturlandschaft ist auch langfristig nur durch Bewirtschaftung zu erhalten.

Die Karpfenteichwirtschaft Sachsens hat sich in ihrer mehr als 750-jährigen Geschichte nicht nur an politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, sondern stets auch an die in der Vergangenheit teilweise erheblichen Veränderungen des Klimas anpassen müssen. Durch zweckmäßige Änderungen der Bewirtschaftung wird das auch bei möglichen Klimaänderungen in der Zukunft gelingen.

Folgende Maßnahmen sind in der Karpfenteichwirtschaft Sachsens in naher Zukunft notwendig.

5.5.1 Wassertemperatur

Die generell günstigen Erhöhungen der Teichwassertemperatur müssen von zweckmäßig modifizierten Fütterungsstrategien begleitet werden. Die bisher üblichen Futterverteilungen nach WALTER müssen für das Verfahren der Karpfenaufzucht mit Ergänzungsfütterung auf die länger werdende Saison angepasst werden. Zeitweise Verabreichung vollwertiger Mischfuttermittel kann in der Satzkarpfenerzeugung zumindest in naturnahrungsarmen Zeiten erforderlich werden.

5.5.2 Wasserhaushalt

Dem zunehmenden sommerlichen Wassermangel kann in der Karpfenteichwirtschaft damit begegnet werden, dass verstärkt Wasser sparende Bewirtschaftungsformen Anwendung finden. So kann z. B. in wasserunsicheren Teichen zur mehrjährigen Umtriebsweide übergegangen werden. Wenn Teiche nur alle zwei Jahre abgefischt werden, fällt ein durch die Totalentleerung entstehender Wasserverlust aus. Herbstabfischungen sind verstärkt in der Weise zu koordinieren, dass das aus oberhalb liegenden Teichen ablaufende Wasser wieder unterhalb zur Füllung anderer Flächen zu nutzen ist.

Andererseits ist bei steigenden Teichwassertemperaturen und Niederschlagsdefiziten im Sommer zunehmend auf eine strenge Einhaltung der Teichkultur zu achten. Der Schilfschnitt auf wichtigen Produktionsflächen ist wieder konsequenter durchzuführen, weil die Verdunstung von Röhrichflächen etwa doppelt so hoch ist wie die der freien Wasserfläche (HERBST und KAPPEN 1993).

In Einzelfällen könnte es sinnvoll und erforderlich sein, extrem unter Wassermangel leidende Flächen zu Gunsten anderer Teiche stillzulegen oder in andere Formen der Landnutzung zu überführen.

Eine zusätzliche Speisung der Teiche aus den Flüssen sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Wegen dem zu erwartenden häufigen Trockenfallen von Flüssen in der Sommerperiode sollten bestehende Wasserrechte geprüft werden.

5.5.3 Fischkrankheiten/Parasiten

Bleiben Starkfröste im Winter auch zukünftig aus, sind neue, zweckmäßige Desinfektionsmaßnahmen zur Prävention von Fischkrankheiten und zur Vernichtung von Parasiten oder deren Entwicklungsstadien erforderlich.

Eine Nutzung Wasser sparender Bewirtschaftungsformen kann durch Übergang zur mehrjährigen Umtriebsweide und angepassten Fütterungsstrategien für Nutzfische erfolgen.

Die konsequente Einhaltung der Teichkultur durch Schilfschnitt und angepasste Desinfektionsmaßnahmen zur Prävention von Fischkrankheiten bekommt in Zukunft eine höhere Bedeutung.

5.6 Betriebswirtschaftliche Effekte, Risikomanagement, Gesamtbewertung

Die Landwirtschaft war seit jeher wetterbedingten Produktionsrisiken ausgesetzt. Diese Risiken werden auf Grund der zu erwartenden Zunahme bei der Häufigkeit des Auftretens von Extremereignissen zukünftig weiter zunehmen. Hinzu kommt, dass durch die veränderten Rahmenbedingungen auf den Agrarmärkten sowie die Spezialisierung der Unternehmen zusätzliche Risiken bestehen, die das Liquiditätsrisiko der Unternehmen erhöhen werden.

Die sächsischen Unternehmen, die je nach Produktionsausrichtung ganz differenziert betroffen sein können, müssen sich zukünftig mit Hilfe eines umfassenden Risiko- und Liquiditätsmanagements auf die Bewältigung dieser Risiken einstellen.

Oberste Priorität beim Risikomanagement kommt zukünftig insbesondere den in Kapitel 5 umfassend aufgeführten Anpassungsmöglichkeiten zu. Es handelt sich hierbei um Maßnahmen zur Risikoverminderung bzw. Risikovermeidung, die im Interesse einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten landwirtschaftlichen Produktion durch die Unternehmen beachtet und standort- und betriebsspezifisch umgesetzt werden sollten.

Zu berücksichtigen sind dabei auch Maßnahmen zur Diversifizierung als Auffächerung von Produktion und Tätigkeiten – im Sinne eines möglichen Verlustausgleiches. Der potenzielle Verlustausgleich durch Diversifizierung basiert auf der Überlegung, dass sich bei Vorliegen verschiedener Einzelrisiken positive und negative Ereignisse in ihren Wirkungen bis zu einem gewissen Grad gegenseitig kompensieren. Daraus folgt, dass ein vielseitiges Produktionsprogramm zwar weniger Risiken in sich birgt als ein stark spezialisiertes, dabei aber auch auf die Erzielung von Spezialisierungsgewinnen verzichtet werden muss. Es kann unterschieden werden zwischen:

- Produktdifferenzierung (Unterscheidung zwischen Produktdifferenzierung und Produktdiversifizierung in Anlehnung an WÖHE und DÖRING 2000 - dort für die Wirtschaft allgemein erörtert): Wenn bereits bestehende Produktionslinien auf der Ebene der Urproduktion ergänzt werden (z. B. Einführung einer neuen Getreideart in einen Getreidebaubetrieb).
- Produktdiversifizierung: Wenn neue Produktionslinien auf der Ebene der Urproduktion eingeführt werden (z. B. Einführung von Rübenanbau oder Tierhaltung in einen reinen Getreidebaubetrieb).
- Einkommensdiversifizierung: Wirtschaftliche Aktivitäten von landwirtschaftlichen Unternehmen, die über die Produktion landwirtschaftlicher Rohstoffe und deren Vermarktung an Großhändler oder Unternehmen der nächsten Verarbeitungsstufe hinausgehen, soweit dabei neben Arbeit und/oder Geld weitere Faktoren des landwirtschaftlichen Betriebes genutzt werden.

Wünschenswerte strategische Instrumente zur Sicherung der Liquidität bei Extremereignissen sind zuvor gebildete ausreichende Rücklagen in den Unternehmen, die im Bedarfsfalle zur Vermeidung von Liquiditätsengpässen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus wird es in vielen Betrieben strategisch noch stärker darauf ankommen, bereits vor dem akuten Eintreten von Extremereignissen einen zwischen Unternehmen und Partnern abgestimmten Maßnahmenplan zur Liquiditätssicherung aufzustellen. Geeignete Maßnahmen können in diesen Fällen u. a. sein:

- Auflösen von baren Finanzanlagen und Lagerbeständen,
- Streichung/Herausschieben von geplanten Investitionen,
- Verkauf von entbehrlichen Investitionsgütern,
- Inanspruchnahme von Notstandsprogrammen,
- Inanspruchnahme von Überbrückungskrediten der Hausbank,
- Verkürzung der Zahlungsfristen der Abnehmerseite bzw. stärkere Inanspruchnahme von Lieferantenkrediten.

Je nach Produktionsausrichtung können auch Investitionen und deren Finanzierung (z. B. Hagelnetze im Gartenbau) Gegenstand eines Risikomanagements zur Risikoverminderung bzw. Risikovermeidung sein.

Nach Umsetzung der zuvor genannten Maßnahmen können ggf. marktbezogene Maßnahmen des Risikomanagements zusätzlich ergriffen werden. Dazu gehören Maßnahmen der Risikoteilung, z. B. durch Abschluss langfristiger Abnahmeverträge sowie Wareterminkontrakte und schließlich auch Maßnahmen zur Risikoüberwälzung (privatwirtschaftliche Versicherungsmodelle). Solche Maßnahmen sollten standortbezogen geprüft und ggf. durch die Unternehmen - unter Berücksichtigung der Ausschöpfung aller sonstigen Maßnahmen zur Risikoverminderung - umgesetzt werden.

Staatliche mitfinanzierte Mehrgefahrenversicherungen sind ungeeignet und grundsätzlich in Frage zu stellen, da hier die Gefahr groß ist, dass Maßnahmen des betrieblichen Risikomanagements, die vorrangig anzuwenden sind, konterkariert werden. Auch ist die Transfer-effizienz subventionierter Versicherungslösungen im Gegensatz zu Direktzahlungen gering.

Die sächsischen Landwirte müssen sich daher bei ihrem Risikomanagement darauf einstellen, dass sich die staatliche Unterstützung auch weiterhin auf Ad-hoc-Hilfen zur Bewältigung von Schäden von nationalem Ausmaß durch Naturkatastrophen und widrige Witterungsverhältnisse beschränken wird.

5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

In der nachstehend zusammenfassenden Tabelle wurden die vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen im Rahmen einer Experteneinschätzung einer ersten qualitativen Bewertung hinsichtlich Wirksamkeit, Akzeptanz, Praktikabilität, zeitlicher Umsetzbarkeit und Kosten aus landwirtschaftlicher Sicht unterzogen. Quantitative Angaben, z. B. hinsichtlich Wirksamkeit und Kosten, sind für einen Zeitraum bis 2050 nicht möglich. Aus der qualitativen Experteneinschätzung wird deutlich, dass von vielen Anpassungsmaßnahmen eine hohe Wirksamkeit, Praktikabilität und eine kurzfristige Umsetzbarkeit erwartet wird. Hinsichtlich der Einschätzungen zur Akzeptanz und den Kosten ist auf folgendes hinzuweisen:

- Die gegenwärtig z. T. gering eingeschätzte Akzeptanz der Landwirte für einige Maßnahmen kann mit fortschreitendem Klimawandel und damit anwachsendem Problemdruck sowie weitergehenden Innovationen steigen, so dass eine diesbezügliche Bewertung in die Zukunft hinein schwierig ist.
- Innovationen, eine weitere Optimierung von Verfahren und gegebenenfalls auch künftige neue Förderschwerpunkte und -möglichkeiten können zu erheblichen Kostenminderungen beitragen. Eine Bewertung der künftigen Rentabilität einer Maßnahme ist jedoch auf Grund der vielfältigen, nicht abschätzbaren Einflussgrößen (z. B. künftige Entwicklung der Kosten, der Erzeugerpreise und der Beihilföhe) derzeit nicht möglich.

Viele der genannten Anpassungsmaßnahmen weisen aus gesamtgesellschaftlicher Sicht eine hohe Zielkongruenz zum Boden-, Gewässer-, Klima- und Naturschutz sowie dem vorbeugenden Hochwasserschutz auf, wodurch sich ihre Kosteneffizienz insgesamt verbessert. Dies betrifft z. B.:

- Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Wassernutzungseffizienz und zur Verbesserung der Nährstoffausnutzung und damit zur Minderung von Nährstoffverlusten führen, von der Sortenanpassung, der Anpassung der Fruchtfolge und Bestandsführung, der Düngung, der Bodenbearbeitung und der Humuswirtschaft bis hin zu Precision Farming,
- Maßnahmen zur Minderung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion,
- Begrünungsmaßnahmen, Windschutzhecken, Gehölzstreifen, dauerhafte Kurzumtriebsplantagen,
- Diversifizierungsmaßnahmen,
- Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes.

Andere Maßnahmen können hinsichtlich ihrer Umweltfolgewirkungen zu Konflikten mit dem Umweltschutz führen oder sind diesbezüglich noch nicht klar einschätzbar:

- Pflanzenschutz: Gegebenenfalls durch den Klimawandel zunehmenden Pflanzenschutzproblemen sollte vorrangig durch Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes (z. B. breitere Fruchtfolge) sowie technologische Weiterentwicklungen wie z. B. Precision Farming (teilschlagspezifische Herbizidanwendung etc.) begegnet werden.
- Bewässerung: Durch genaue Steuerung und Wasser sparende Verfahren sind negative Umweltauswirkungen zu vermeiden. Eine auf den nachhaltigen Schutz des Landschaftswasserhaushaltes (ökologische Mindestabflüsse) abgestimmte wasserrechtliche Genehmigung (Umsetzung WRRL) trägt dem mit Rechnung. Gefahren der Bodenversalzung sind vor allem langfristig (zweite Jahrhunderthälfte) sorgfältig zu beobachten und zu verhindern.
- Maßnahmen zur Anpassung des Wassermanagements in der Teichwirtschaft (stärkerer Schilfschnitt) sowie erforderliche Desinfektionsmaßnahmen bei ausbleibendem Frost können zu Konflikten mit dem Naturschutz führen. Hier ist rechtzeitig eine Abstimmung mit den Naturschutzbehörden herbeizuführen.

Solange konkrete Kosten-Nutzen-Analysen für die einzelnen Maßnahmen noch fehlen oder auf Grund fehlender Planungsdaten für die fernere Zukunft nicht erstellt werden können, sollten zunächst folgende Maßnahmen zur Einleitung des Anpassungsprozesses Priorität haben:

- Kostenneutrale Maßnahmen oder Maßnahmen mit geringen Zusatzkosten, die praktikabel und wirksam sind.
- Maßnahmen, die auch zur Erreichung anderer wichtiger Zielstellungen wirksam beitragen (Boden-, Gewässer-, Klima-, Naturschutz, vorbeugendem Hochwasserschutz etc.) und somit eine hohe Synergiewirkung aufweisen.

Im Bereich Gartenbau sind wirksame Maßnahmen zur erforderlichen Wasserversorgung und zum Schutz gegen Klimaextreme für die künftige Existenzsicherung der Betriebe unbedingt notwendig. Diese Maßnahmen sind überwiegend kostenintensiv und werden bereits im Rahmen laufender Vorhaben der angewandten Forschung im Hinblick auf Praktikabilität, Verfahrensoptimierung und Rentabilität durch das LfULG untersucht. Auch zu anderen kostenaufwendigen Anpassungsmaßnahmen werden Kosten-Nutzen-Analysen vom LfULG bereits durchgeführt oder sind vorgesehen (z. B. effiziente Bewässerungsverfahren allgemein, Injektionsdüngung, Anbau von Hirsearten, Kurzumtriebsplantagen etc.; siehe Kap. 6.2).

5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

| Maßnahme | Umsetzung | Wirksamkeit | Akzeptanz | Praktikabilität | Umsetzbarkeit | Kosten |
|--|--|-------------|-----------|-----------------|--------------------------|---|
| Pflanzenbau (Gartenbau ist teilweise im Pflanzenbau integriert) | | | | | | |
| Sortenstrategie/ Bestandesführung | Anbau neuer trocken-toleranter und Hitze verträglicher Sorten | hoch | hoch | praktikabel | kurz- bis mittel-fristig | gering |
| | Risikominderung durch Anbau verschiedener Sortentypen mit unterschiedlichem Abreifeverhalten | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Dünnere Bestände/geringere Saatstärke im Getreide und Raps zur Verminderung der Wasserkonkurrenz auf trockenen Standorten | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| Saatzeit | Standortabhängige Anpassung von Aussaatmengen und -zeiten | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| Fruchtfolge | Anpassung des Fruchtartenspektrums zur Optimierung des Ertragspotenzials | mittel | gering | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Anbau von Wärme liebenden Arten mit hoher Wasser-Nutzungseffizienz wie Mais und Hirsearten zur Ertragsstabilisierung | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Dauerhafte Nutzungssysteme mit trockenstresstoleranten, ausdauernden Gräsern wie z. B. Miscanthus oder mit tiefwurzelnden, schnellwachsenden Baumarten | mittel | mittel | praktikabel | kurz- bis mittel-fristig | mittel |
| | Diversifizierung | hoch | mittel | praktikabel | mittel | mittel |
| Bodenbearbeitung, Erosionsschutz | Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf | hoch | mittel | praktikabel | mittel | anfangs hoch, nach Etablierung Kosteneinsparungen |
| | Direktsaatverfahren | sehr hoch | mittel | praktikabel | mittel- bis langfristig | anfangs hoch, nach Etablierung Kosteneinsparungen |
| | Minimierung der Zeitspanne ohne Boden-Bedeckung u. a. durch Fruchtfolgegestaltung sowie Zwischenfruchtanbau, Untersaaten oder Strohmulch bewirkt geringere Oberflächenverschlammung (positiver Einfluss auf Humusgehalt) | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Fruchtfolgegestaltung zur Erhöhung der Bodenstruktur-stabilität | mittel | mittel | praktikabel | mittel | gering |

Fortsetzung 5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

| Maßnahme | Umsetzung | Wirksamkeit | Akzeptanz | Praktikabilität | Umsetzbarkeit | Kosten |
|--|---|-----------------|-----------|---|-------------------------|--|
| Fortsetzung Pflanzenbau (Gartenbau ist teilweise im Pflanzenbau integriert) | | | | | | |
| Bodenbearbeitung, Erosionsschutz | Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren zur Verminderung der Wassererosionsgefährdung | mittel | mittel | praktikabel bei entsprechender Geländemorphologie und geeignetem Flächenzuschnitt | kurzfristig | gering |
| | Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen, Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biol. Aktivität sowie durch Kalkung | hoch | mittel | praktikabel | kurz- bis mittelfristig | mittel |
| | Erosionsmindernde Flurgestaltung i. V. m. dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (Erosionsschutzstreifen, Agroforst, begrünte Hangrinnen, Schlagunterteilung) | mittel bis hoch | mittel | Einzelfallprüfung (Schlagunterteilung z. B. praktikabel) | mittel- bis langfristig | gering (Schlagunterteilung) bis hoch (z. B. Anpflanzung) |
| Düngung und Pflanzenernährung | Sicherung einer optimalen Grundnährstoffversorgung durch bedarfsgerechte Düngung | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | mittel |
| | Düngebedarfsermittlung mittels N_{min} -Methode sowie mit Verfahren der Pflanzenanalyse zur Ermittlung des Ernährungszustandes des Getreides zur Anpassung der Düngung an den tatsächlichen Düngebedarf | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Teilschlagspezifische Düngung auf großen heterogenen Flächen zur Verbesserung von Ertrag, Qualität und Nährstoffeffizienz | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Anwendung moderner Applikationsverfahren wie Injektion- oder Flüssigdüngung, Unterfußdüngung oder stabilerer Dünger zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz unter trockenen Bedingungen (Langzeitwirkung) zur Stabilisierung der Ertragsbildung | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | hoch |
| | Bilanzierungsverfahren zur Sicherung der Humusproduktion | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Vorverlegung der Spätdüngung bei Vorsommertrockenheit vor allem bei Weizen | mittel | hoch | praktikabel | kurzfristig | gering |

Fortsetzung 5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

| Maßnahme | Umsetzung | Wirksamkeit | Akzeptanz | Praktikabilität | Umsetzbarkeit | Kosten |
|--|---|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------|-----------|
| Fortsetzung Pflanzenbau (Gartenbau ist teilweise im Pflanzenbau integriert) | | | | | | |
| Bewässerung | Pflanzenbedarfsorientierte zusätzliche Wasserversorgung zur Stabilisierung der Ertragsbildung besonders auf leichten Standorten | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | sehr hoch |
| | Wassersparende auf Bodenfeuchte basierende Bewässerungsverfahren- und Methoden mit hoher Wassernutzungseffizienz | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | sehr hoch |
| Pflanzenschutz | Veränderung des Pflanzenschutzmittelspektrums und/oder der Anwendungszeitpunkte | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Anwendung von Zusatzstoffen für PSM zur Verbesserung der Wirkung bei Trockenheit | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Weiterentwicklung der Applikationstechnik | hoch | mittel | praktikabel | mittel- bis langfristig | hoch |
| | Förderung des integrierten Pflanzenschutzes | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Ausbau bisheriger Monitoringverfahren | hoch | mittel | begrenzt durch personelle Kapazität | kurzfristig | mittel |
| | Sicherung einer ausreichenden Versuchs- und Untersuchungskapazität | hoch | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Anpassung bzw. Entwicklung von witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen | hoch | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| Gartenbau | | | | | | |
| Obst- und Weinbau | Bedarfsgerechte Zusatzbewässerung mit wassersparenden Bewässerungsverfahren | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | sehr hoch |
| | Hagelschutzanlagen | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | sehr hoch |
| | Regenschutzanlagen (Kirschen) | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | sehr hoch |
| | Artenauswahl | mittel | mittel | teilweise praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Anpassung Anbauparameter (Pflanzdichte, Erziehung, Schnitt, Bodenbearbeitung, Düngung) | mittel | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Anpassung Pflanzenschutzstrategien | hoch | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |

Fortsetzung 5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

| Maßnahme | Umsetzung | Wirksamkeit | Akzeptanz | Praktikabilität | Umsetzbarkeit | Kosten |
|---|--|-------------------|-----------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| Fortsetzung Gartenbau | | | | | | |
| Gemüsebau | Bedarfsgerechte Zusatzbewässerung mit Wasser sparenden Bewässerungsverfahren | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | sehr hoch |
| | Sortenauswahl | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Artenauswahl | mittel | mittel | teilweise | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Anpassung Anbauparameter (Saat- und Pflanztermine, Saat- und Pflanzdichten, Düngung, Bodenbearbeitung, Pflege) | mittel | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Anpassung Pflanzenschutzstrategien | hoch | hoch | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| Grünland und Feldfutterbau | | | | | | |
| Angepasste Grünlandbewirtschaftung | Narbenerhaltung und -verbesserung | mäßig bis hoch | mäßig | praktikabel | kurzfristig | gering bis mittel |
| | Optimale Nutzungstiefe | gering bis mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | keine |
| | Notwendige Düngungsmaßnahmen | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | mittel |
| | Zufütterung bzw. Vorhalten von Ausweichflächen | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Vorratswirtschaft an Grundfutterkonservaten | mittel bis hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | mittel bis hoch |
| | Verbesserung der Nährstoffversorgung | hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| | Standortgerechte Arten- und Mischungswahl | mäßig bis hoch | mäßig | praktikabel | kurzfristig | mäßig bis hoch |
| | Verbesserung der Bodenstruktur | hoch | mäßig | praktikabel | mittel- bis langfristig | mittel |
| | Erhaltung des Humusgehaltes | hoch | mäßig | hohe Praxisrelevanz | kurzfristig | mittel |
| | Anbau trockenheitsverträglicher Arten | hoch | mäßig | noch gering | mittel- bis langfristig | mittel |

Fortsetzung 5.7 Zusammenfassende Bewertung der Anpassungsmöglichkeiten

| Maßnahme | Umsetzung | Wirksamkeit | Akzeptanz | Praktikabilität | Umsetzbarkeit | Kosten |
|---|--|-----------------|-----------|-----------------|---------------|-------------------|
| Tierische Erzeugung | | | | | | |
| Tierhaltung | Neue Stallbau- und Ausrüstungskonzepte | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | gering bis hoch |
| | Wiederaufbereitung und Bevorratung von Wasser | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | hoch |
| | Verbesserung des betrieblichen Managements | mittel bis hoch | hoch | praktikabel | kurzfristig | gering bis mittel |
| | Precision Farming | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | gering bis mittel |
| | Epidemiologische Vorsorge- maßnahmen gegen Krankheiten | mittel | hoch | praktikabel | kurzfristig | mittel |
| Fütterung | Futtermittel- und verderb- spezifische Restriktionen. | mittel | mittel | praktikabel | kurzfristig | gering |
| | Neue Technologien Futter- gewinnung und -bevorratung. | hoch | mittel | praktikabel | kurzfristig | hoch |
| Tierzucht | Angepasste Zuchtstrategien | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | hoch |
| | Sicherung der Leistungs- prüfung | hoch | mittel | praktikabel | mittelfristig | hoch |
| | Erhalt genetischer Ressourcen | mittel | mittel | praktikabel | mittelfristig | hoch |
| Teichwirtschaft | | | | | | |
| Wasser- sparende Bewirt- schaftung | Übergang zur mehrjährigen Umtriebsweide | gering | mittel | mittel | mittel | gering |
| Modifizierte Fütterungs- strategien | Ergänzungsfütterung (zeit- weise Verabreichung von vollwertigen Mischfutter- mitteln) | hoch | mittel | mittel | hoch | mittel |
| Erhaltung der Teich- kultur | Konsequenter Schilfschnitt | hoch | mittel | mittel | mittel | hoch |
| Präventions- maßnahmen gegen Krankheiten | Zweckmäßige Desinfektions- maßnahmen | mittel | mittel | mittel | mittel | mittel |

6 Zusammenfassung

Basis des Berichtes stellen Modellberechnungen dar, wonach bisher bereits beobachtete Veränderungen des Klimas in Sachsen (1961 - 2000) sich auch in der Zukunft (2000 - 2050) z. T. in verstärktem Maße fortsetzen werden:

- Stark ausgeprägte Erwärmungstendenz bis 2000 um 1,35 K und weiter steigende Erwärmungsrate um 2 K bis zum Jahr 2050,
- Höchste Erwärmungsrate im Winter, gefolgt vom Sommer und den Übergangsjahreszeiten,
- Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode um 2,2 Tage je Dekade im Zeitraum 1961 - 2000 mit zu erwartender höhenabhängiger Zunahme der thermischen Vegetationsperiode von 50 Tagen im Tiefland und bis 5 Tagen in den obersten Kammlagen der Gebirge und fortschreitende Abnahme der Kälteepisoden im Winterhalbjahr,
- Abnahme der mittleren Jahresniederschläge vor allem in Regionen mit heute bereits geringen Niederschlägen (Nord- und Ostsachsen), bei hohen zeitlichen und räumlichen Schwankungen besonders ausgeprägter Abfall im Sommer, geringfügige Zunahme im Winterhalbjahr,
- Abnahme der klimatischen Wasserbilanz für Sachsen, von Westen nach Osten in zunehmendem Maße,
- Klimaprojektionen ermöglichen bisher keine zuverlässigen Aussagen zur Entwicklung von klimatischen Extremereignissen, entsprechend den zu beobachtenden Trends sind zukünftig zunehmende Extremwetterlagen zu erwarten.

Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Von der sich vollziehenden Klimaveränderung werden alle Bereiche des ländlichen Raumes und der Landwirtschaft in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst. Die seit Mitte der 1950er-Jahre zu beobachtenden positiven Ertragstrends bei den Fruchtarten einschließlich Grünland und Feldfutter werden sich in abgeschwächter Form auch in Zukunft fortsetzen. Der in den letzten Jahrzehnten sichtbar werdende Klimawandel hat offenbar noch keine ertragsmindernde Wirkung auf die Fruchtarten ausgeübt. Allerdings sank die Ertragsstabilität bereits, was sich bisher für die leichten Standorte eindeutig nachweisen ließ. Die feuchten und kühlen Mittelgebirgsregionen zeichneten sich dagegen durch vergleichsweise stabile Erträge aus.

Auf der Basis regional-differenzierter Simulationen der Ertragsentwicklung ergeben sich bis 2050 relativ geringe mittlere Ertragsänderungen. Während bei pessimistischer Betrachtung leichte Ertragseinbußen abgeschätzt wurden, können bei optimistischen Annahmen unter Berücksichtigung des Züchtungsfortschritts und des CO₂-Düngungseffektes bei Wintergetreide und Raps (außer Silomais) sogar weitere Ertragszunahmen im Mittel bis 2050 erwartet werden. Auf den feuchten und kühlen Verwitterungsstandorten im südlichen und südwestlichen Teil von Sachsen fallen die Ertragsminderungen bei pessimistischen Annahmen geringer und - bei optimistischer Betrachtung - die Ertragszunahmen stärker aus als auf den leichten, diluvialen Standorten in Nordsachsen und der Oberlausitz, die auf die zunehmende Trockenheit während der Vegetationszeit mit stärkeren Ertragseinbußen bzw. geringeren Mehrerträgen und verminderter Ertragsstabilität reagieren. Die Löss-Standorte nehmen hier eine Mittelstellung ein.

Die Winterungen werden in ihrem Ertragsvermögen durch eine längere Herbstentwicklung und das zeitigere Einsetzen des Wachstums im Frühjahr eher begünstigt, während die Sommerkulturen, insbesondere Mais, zukünftig zunehmend unter Trockenstress und hohen Temperaturen im Frühjahr und Sommer leiden dürften. Das Wasserspeichervermögen der Böden wird zu einem zunehmend ertragsbegrenzenden Faktor. Bei der Bewertung der Simulationsergebnisse ist zu beachten, dass mit dem genutzten Regionalmodell WEREX IV relativ geringe Klimaveränderungen bis 2050 projiziert werden. Außerdem sind die Klima-

projektionen und Ertragssimulationen mit erheblichen Unsicherheiten und starken modellmäßigen Vereinfachungen verbunden. Das Hauptproblem für die sächsische Landwirtschaft wird aber voraussichtlich in der Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen liegen. Sollte sich das Klima schneller und extremer ändern, so wird es zu stärkeren Ertragsbeeinflussungen vor allem auf den leichten, diluvialen Standorten kommen.

Durch Verlängerung der Vegetationsperiode wird es auch eine Erweiterung des Sorten- und Artenspektrums im Obst, Wein- und Gemüsebau geben. Allerdings kann auch hier eine zunehmende Ertragsgefährdung durch Witterungsextreme (Spätfröste, Hagel, Starkregen, Sturm) eintreten.

Die Humusgehalte des Bodens werden auf D- und Lö-Standorten leicht abnehmen. Auf den V-Standorten der Bergregionen kann der Abbau deutlicher ausgeprägt sein, wodurch es auch zu einer erhöhten Stickstofffreisetzung kommen kann. Es kann erwartet werden, dass in die Böden weniger Wasser infiltriert, mehr Oberflächenabfluss erfolgt und das pflanzenverfügbare Wasser während der Vegetationsperiode abnehmen wird. Durch den Klimawandel kommt es daher auch zu einer Zunahme der Erosionsgefährdung durch Wind und Wasser. Die Nährstoffmineralisation sowie die Nitratauswaschung im Winter auf leichten und flachgründigen Standorten können nach hohen Niederschlagsereignissen ansteigen. Bei geringem Niederschlagsaufkommen wird die Nitratkonzentration im Sickerwasser insbesondere auf den Lössstandorten ansteigen.

Im Bereich des Pflanzenschutzes kommt es zu einer Umschichtung der Artenzusammensetzung und -vielfalt in Richtung Wärme und Trockenheit liebender z. T. neuer Unkrautarten, Insekten und Pilzen sowie von vitaleren Überwinterungsraten von bestimmten Schädlingen.

Eine Zunahme des Hitzestresses der Nutztiere bedingt neue Anforderungen an den Stallbau und die Tierhaltung. Eine Zunahme an Ertragsschwankungen in der Futterproduktion sowie eine teilweise ungünstige qualitative Zusammensetzung des Futters können die Tierproduktion beeinträchtigen. In der Teichwirtschaft können auf Grund höherer Wassertemperaturen steigende Flächenerträge an Fisch erwirtschaftet werden, die jedoch durch niedrigere Sommerniederschläge (Wassermangel) und ein verstärktes Auftreten von Parasitosen gefährdet werden können.

Am ehesten könnten die Produktionsbedingungen in den Gebirgs- und Vorgebirgslagen auf Grund der zu erwartenden relativ günstigen klimatischen Vegetationsbedingungen wirtschaftlich lukrativer werden. Projiziert man die augenblicklich (2008) vorherrschenden Kosten- und Preisrelationen in die Zukunft und betrachtet nur die klimawandelbedingten Auswirkungen auf die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung, so ergeben sich geringe Einkommensrückgänge im pessimistischen Fall bis hin zu Einkommensverbesserungen bei optimistischen Unterstellungen. Für die leichten Böden des Heide- und Teichgebiets werden unter pessimistischen Bedingungen die höchsten Rückgänge und die geringsten Zuwächse im optimistischen Szenario prognostiziert.

Zusammenfassend lässt sich für den Gartenbau feststellen, dass besonders die zu erwartenden Klimaextreme erhebliche Kostenbelastungen zur Absicherung der Erzeugung verursachen und damit die Wirtschaftlichkeit der Verfahren stark belasten werden. Der Bedarf an Wasser, dem Produktionsfaktor, der in der Zukunft von existenzieller Bedeutung sein wird, wird stark ansteigen.

Anpassungsmöglichkeiten

Insgesamt liegen die größten Herausforderungen in der Pflanzenproduktion künftig in der Anpassung an zunehmende Trockenperioden in der Vegetationsperiode sowie häufigere und intensivere Starkregenereignisse. Erforderlich ist also ein umfassendes Wassermanagement, um einerseits Erträge und Produktqualitäten zu sichern und andererseits dem Umweltschutz und dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit Rechnung zu tragen. Die umfangreichsten Anpassungsmaßnahmen zur Minderung des Risikos von Ertragseinbußen durch Trocken-

perioden sind dabei auf den leichten diluvialen Standorten in Nord- und Ostachsen erforderlich. Hierzu zählt auch der Anbau hitze- und trockenoleranter Fruchtarten wie Zuckerhirse, Sudangras oder Miscanthus und die Anlage von Windschutzhecken zur Minderung von Verdunstung und Winderosion. In allen Regionen sind Maßnahmen erforderlich, um einer klimawandelbedingten Verschlechterung der Umweltsituation entgegenzuwirken. Dazu sind vor allem Maßnahmen zur Minderung von Oberflächenabfluss, Bodenerosion und Nährstoffausträgen sowie eine angepasste Humusreproduktion durchzuführen. Einen weiteren Schwerpunkt, der alle Regionen betrifft, stellen Anpassungsmaßnahmen im Pflanzenschutz dar. Die jeweiligen Maßnahmen in der Pflanzenproduktion lassen sich wie folgt grob zusammenfassen:

Durch Anpassung des Fruchtartenspektrums ist eine bessere Ausschöpfung des Ertragspotenzials möglich. Die Ertragsstabilität kann durch Anbau Wärme liebender und trockenoleranter Arten und Mischungen verbessert werden. Die gezielte Nutzung des Züchtungsfortschritts durch Anbau standortangepasster, trockenoleranter und Hitze verträglicher Sorten mit einer angepassten Bestandesführung (Aussaatstärke, -mengen, -zeiten) begünstigt die Ertragsbildung auch unter Stressbedingungen.

Eine Verringerung der Bodenerosion durch Wind und Wasser ist vor allem durch dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung (die auch die Wasserversorgung von Pflanzenbeständen verbessert) und erosionsvermindernde Flur-, Schlag- und Fruchtfolgegestaltung möglich. Die Vermeidung einer infiltrationshemmenden Bodenverdichtung kann durch Einsatz angepasster Landtechnik, verringerter Bodenbelastung und Förderung der biologischen Aktivität durch organische Düngung und Kalkung erfolgreich begegnet werden.

Die Nährstoffeffizienz kann durch folgende Maßnahmen verbessert werden: Die Anwendung verbesserter Methoden zur Düngebedarfsermittlung, die teilschlagspezifische Düngung auf heterogenen Flächen und weiterentwickelte Verfahren des Precision Farming, die Anwendung besonderer Applikationsverfahren (Injektions-, Flüssig-, Unterfußdüngung, stabilisierte oder organische Dünger) und die Nutzung von Bilanzierungsverfahren zur Sicherung der Nährstoffversorgung. Bilanzierungsverfahren dienen auch einer Optimierung der Humusreproduktion.

Weitere Möglichkeiten bestehen durch Einsatz von weiterentwickelten Methoden des integrierten und biologischen Pflanzenschutzes, witterungsbasierten Schaderreger-Prognosemodellen sowie Anwendung spezieller Pflanzenschutzmittel entsprechend dem sich wandelnden Erregerpotenzial und veränderten Anwendungszeitpunkten.

Die Schwerpunkte für eine Ausdehnung der Beregnung werden bei bestimmten Kulturarten gesehen wie Obst, Gemüse, Kartoffeln, Sonderkulturen. Ohne Bewässerung wird ein Qualitätsanbau künftig kaum möglich sein. Es ist der Einsatz von Wasser sparenden, auf Bodenfeuchte basierenden Bewässerungsverfahren mit hoher Wassernutzungseffizienz zu empfehlen.

Im Gartenbau sind umfangreiche Investitionen für den Ausbau der Beregnung und für Hagel-schutznetze im Obstbau, für Regenschutzüberdachungen im Süßkirschenanbau und für Kulturschutznetze im Gemüsebau erforderlich.

In der Tierproduktion wird der Bedarf für angepasste Stallbaukonzepte, Haltungs- und Hygieneverfahren ansteigen, die eine optimale und tierschutzgerechte Nutztierhaltung gewährleisten. Weitere Maßnahmen sind die künftige Sicherung der Futterkonservierung und -lagerung und flexible Maßnahmen zur Vermeidung von Futterversorgungslücken sowie Maßnahmen im Bereich des betrieblichen Managements und Precision Farming. In der Teichwirtschaft sind vor allem Wasser sparende Bewirtschaftungsformen wie der Übergang zur mehrjährigen Umtriebsweide und eine konsequente Einhaltung des Schilfschnitts und angepasste Desinfektionsmaßnahmen zur Prävention von Fischkrankheiten wichtig.

Die Anpassungsmaßnahmen wurden auf der Grundlage von Experteneinschätzungen einer ersten qualitativen Bewertung unterzogen. Danach ist eine Vielzahl an Maßnahmen wirksam,

praktikabel und kurz- bis mittelfristig umsetzbar. Nur relativ wenige Maßnahmen weisen eine geringe Akzeptanz und hohe Kosten auf. Eine Vielzahl der vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen zeigt außerdem eine hohe Zielkongruenz zum Boden-, Gewässer-, Klima- und Naturschutz sowie zum vorbeugenden Hochwasserschutz auf, wodurch sich ihre Kosteneffizienz verbessert.

Die Herausforderungen für die Landwirtschaft im Umgang mit den Witterungsextremen werden in den nächsten Jahrzehnten deutlich steigen. Die Unternehmen müssen sich auf stärkere Ertrags- und Preisschwankungen einstellen und mit einem professionellen Risikomanagement die wirtschaftlichen Nachteile abfedern. Trotz der bestehenden erheblichen Unsicherheiten und modellmäßigen Vereinfachungen wird auf Grund der bis 2050 durchgeführten Ertragssimulationen und Bewertungen insgesamt davon ausgegangen, dass es mit einem vorausschauenden Risikomanagement, insbesondere einer konsequenten Anwendung standortspezifischer Anpassungsstrategien auch zukünftig möglich sein sollte, in ganz Sachsen Landwirtschaft zu betreiben.

Auf der Grundlage dieser Ausarbeitung wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft eine Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel erstellt.

Die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel kann und muss in erster Linie von den Landwirten selbst vorgenommen werden. Sie bedürfen dabei jedoch einerseits der Unterstützung durch Politik und Verwaltung und andererseits durch den vor- und nachgelagerten Bereich (Pflanzenzüchtung, Landtechnik chemische Industrie, Banken, Versicherungen, etc.). Politik und Verwaltung kommt die Aufgabe zu, günstige Rahmenbedingungen zu schaffen, damit von den Landwirten sowie den anderen Akteuren die richtigen Entscheidungen getroffen werden können. Der Freistaat Sachsen ist vor allem gefordert, im politisch-rechtlichen Bereich sowie in den Bereich der Forschung, der Bildung, der Information und der Öffentlichkeitsarbeit, der Landes- und Regionalplanung sowie der gezielten Förderung die erforderlichen Weichenstellungen für die Klimafolgenanpassung zu stellen.

7 Literatur

- Albrecht, M. u. I. Pflieger (2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 19 S.
- Berg, B. (2005): Integriertes Risikomanagement: Notwendigkeit und Konzepte für die Landwirtschaft. In: Tagungsbericht zum Fachkolloquium anlässlich des 80. Geburtstages von Prof. em. Dr. Dr. G. Steffen, 24.9.2004, Bonn, S. 3
- Bericht der Bund-Länder-AG zum Risiko- und Krisenmanagement in der deutschen Landwirtschaft (2008): Stand 24.6.2008, S. 6, 20
- Berner, U. u. H. Streif (2004): Klimafakten. Der Rückblick - Ein Schlüssel für die Zukunft. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 259 S.
- Calanca, P. (2006): Der Klimawandel hat Konsequenzen für die Landwirtschaft. Fachtagung Freising, 16.3.2006, www.occ.ch
- Calanca, P. et al. (2005): Klimawandel und landwirtschaftliche Produktion. AGRAR Forschung 12, 9, S. 392 - 397
- Christen, O. (2007): Herausforderung Klimawandel, Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Mitteleuropa – Lösungsansätze. Öffentliche Sitzung des DLG-Ausschusses für Pflanzenzüchtung und Saatgut im Rahmen der DLG-Wintertagung 2007
- Doleschel, P. (2005): Die möglichen Folgen des Klimawandels für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. LfL Bayern, IPZ, Freising
- EIA (Energy Information Administration - statistical agency of the U.S. Department of Energy) (2008): www.eia.doe.gov
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (2006): World agriculture: towards 2030/2050, Rom
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (2008): The genetic improvement of forage grasses and legumes to enhance adaptation of grasslands to climate change. Paper prepared for FAO
- Frede, H.-G. (2006): Landwirtschaftliche Bewässerung - Einfluss auf den Wasser- und Stoffhaushalt. Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Universität Gießen, Wasser Berlin 2006, 06. April 2006
- Freier, B. (2004): Pflanzenschutz. Welche Risiken liegen vor uns, und wie bekommen wir sie in den Griff? In: Isermeyer, F. (Hrsg.): Ackerbau 2025. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 274, S. 99 - 102.
- Fricke, E. (2005): Optimierte Nährstoffausnutzung durch Bewässerung. Landwirtschaftskammer Hannover, FB Pflanzenbau, SG Beregnung, Agritechnica-Forum 11.11. 2005
- Fricke, E. (2006): Energiekosten der Feldberegnung – was kostet Beregnung zur Zeit? Landwirtschaftskammer Niedersachsen, FB Pflanzenbau, Mitgliederversammlung VVF 7.2.2006
- Fuhrer, J. (1997): Klimaänderung und Grünland: eine Modellstudie über die Auswirkungen einer Klimaänderung auf das Dauergrünland in der Schweiz. vdf Hochschul-Verlag an der ETH, Zürich, 311 S.
- Füllner, G. (1990): Der Temperaturverlauf 1989 und die Auswirkungen der Witterung auf die Karpfenteichwirtschaft. Z. Binnenfischerei DDR 37, 4, S. 113 - 118
- Füllner, G. (2008): Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Karpfenteichwirtschaft. Fischer & Teichwirt 59, 1, S. 8 - 11
- Füllner, G., M. Pfeifer u. N. Langner (2007): Karpfenteichwirtschaft. Bewirtschaftung von Karpfenteichen. In: Gute fachliche Praxis, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 129 S.
- Gerke, T. (2007): Wie ändern sich die Risiken für meinen Betrieb? Vortrag anlässlich DLG-Pflanzenbautagung 2007 in Bernburg, Vereinigte Hagel
- Gerke, T. (2008): Vereinigte Hagel, Persönliche Mitteilung vom 17.7.2008
- Hänsel, S., W. Küchler u. J. Matschulat (2005): Regionaler Klimawandel Sachsen. Extreme Niederschlagsereignisse und Trockenperioden 1934 – 2000. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 17, 3, S. 159 - 165
- Herbst, M. u. L. Kappen (1993): Die Rolle des Schilfs im standörtlichen Wasserhaushalt eines norddeutschen Sees. Phytocoenologia 23, S. 51 - 64
- Hug, H. (2006): Die Angsttrompeter. Signum Verlag, München, 360 S.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute) (2007): The world food situation. Washington
- IVA (Industrieverband Agrar) (2003): Mehr Unkräuter auf den Äckern. Profil 1

- Klöcking, B. (Hrsg.) (2008): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO, 28 S., http://pscn.arcegmo.de/Material/PSCN_2008.pdf
- Klöcking, B u. F. Ferber (2008): Bodenatlas Sachsen – Ertragsauswirkungen des Klimawandels für verschiedene Böden. Endbericht Büro für Angewandte Hydrologie, Berlin-München
- KOM (2008): Vorschlag für eine Verordnung des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe, 306/4, S. 56 - 58
- Kraatz, M. (2007): Kartoffeln - Pilzkrankheiten. Bauernzeitung 1, Sonderbeilage, S. 45 - 47
- Lütke Entrup, N. et al. (2006): Bewertung von neuen Systemen der Bodenbewirtschaftung in erweiterten Fruchtfolgen mit Körnerriaps und Körnerleguminosen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest.
- Lüscher, A., J. Fuhrer u. P. C. D. Newton (2005): Global atmospheric change and its effect on managed grassland systems. In: D. A. McGilloway (Hrsg.): Grassland: A Global Resource. Academic Publishers, Wageningen, S. 251 – 264.
- Lüscher, A., G. R. Hendrey u. J. Nösberger (1998): Long-term responsiveness to free air CO₂ enrichment of functional types, species and genotypes of plants from fertile permanent grassland. *Oecologia* 113, S: 37 – 45.
- Meinlschmidt, E. u. G. Schröder (2008): Neue Unkräuter in Mais und deren Bekämpfungsmöglichkeiten. DLZ
- Mirschel, W., K.-O. Wenkel, R. Wieland u. B. Köstner (2008): Regionaldifferenzierte Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Erträge ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen im Freistaat Sachsen. FuE-Bericht , LfULG, Dresden
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2008): OECD Environmental Outlook to 2030 (Summary), Paris
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2008): OECD- FAO-Agricultural Outlook 2008 - 2017 (Highlights), Paris
- Patterson, D.T, J. K. Westbrook, R. J. V. Joyce, P. D. Lingren und J. Rogasik (1999): Weeds, insects, and diseases. *Climatic Change* 43, S. 711 - 727
- Pries, R. (2006): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge in Hessen. Fachtagung Klimawandel und Klimafolgen, Wiesbaden 16.05.2006
- Rosenzweig, C. u. D. Hillel (1998): Effects on Weeds, Insects, and Diseases. In: Rosenzweig, C. u. D. Hillel (Hrsg.): Climate Change and the Global Harvest. Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture. Oxford University Press, Oxford, S. 101 - 122
- Schaller, M. u. H. J. Weigel (2008): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 316*, S. 124 - 125
- Schmidhuber, J. (2007): Wachstum der Weltbevölkerung - zukünftiger Bedarf an Nahrung und Energie. DLG Kolloquium 2007
- Smith, J. et al. (2005): Projected changes in mineral soil carbon of european croplands and grasslands, 1990 - 2080. *Global Change Biology* 11, S. 2141 - 2151
- SMUL (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse
- Thörmann, H.-H. u. H. Sourell (2007): Kostenvergleich von vier Berechnungsverfahren. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig, DLG-Fachtagung Bewässerung 2007, Jena
- Wechsung, F., F. W. Gerstengarbe, P. Lasch u. A. Lüttger (2008): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. Studie des PIK, Potsdam, 93 S.
- Weigel, H. J. (2007): Klimawandel: Fluch oder Segen für die Landwirtschaft? www.aoe.fal.de
- Weigel, H. J., R. Manderscheid, A. Pacholski, S. Burkart u. G. Jansen (2005): Mehr CO₂ in der Atmosphäre: Prima Klima für die Landwirtschaft?. ForschungsReport – Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 1, S. 14 - 17
- Witzel, D. (2008): Feldberechnung - Rentabilitätsschwelle ist schnell erreicht. Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz, Kassel
- Wöhe, G. u. U. Döring (2000): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Vahlen, München, S. 522
- Wohlrab, B., H. Ernstberger, A. Meuser u. V. Sokollek (1992): Landschaftswasserhaushalt. Paul Parey, Hamburg

Impressum

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>
- Autoren:** Mitarbeiter des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
unter Mitwirkung von:
Dr. Wilfried Mirschel, Prof. Dr. Karl-Otto Wenkel, Dr. Ralf Wieland,
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg
und
Dr. Barbara Köstner,
TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
- Redaktion:** Dr. habil. Erhard Albert
LfULG, Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: +49 (0341) 9174 182
Telefax: +49 (0341) 9174 186
E-Mail: erhard.albert@smul.sachsen.de
- Redaktionsschluss:** Februar 2009
- Bestelladresse:** siehe Redaktion

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.